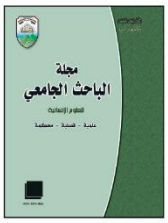
جامعة إب
مجلة الباحث الجامعي
ISSN: 2079-5068 ISSN (online): 2663-3930



تحليل الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية للخزانات السطحية والجوفية في الحوض المائي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدروجيولوجية

عادل حمود لطف ناجي*، علي محمد أحمد غلاب
قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة إب، اليمن
***Email:** joodtabark2021@gmail.com

الكلمات المفتاحية:
التتابع الطباقي للآبار، مخططات المضاهاة الصخرية، المخططات الهيدروجيولوجية، الجيولوجيا الصخرية والتركيبية، الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية،

الملخص:

يسعى هذا البحث إلى تحليل الخصائص الجيولوجية (الليثولوجية والتركيبية)، والأبعاد المكانية والسمكية، والخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية لكل من: مخططات المضاهاة الصخرية، والمخطط الهيدرولوجي لقطاعات حفر الآبار في مدينة إب، وكذلك للمخطط الهيدروجيولوجي للخزانات، وقد اعتمد على المنهج الوصفي؛ لوصف تلك الخصائص والمخططات وتفسيراتها، وتوصلت الدراسة إلى أن هناك تأثيرًا واضحًا لنوعية الطبقات الصخرية من حيث خصائصها الليثولوجية، المؤثرة بدورها على الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للصخور، المتعلقة بحركة وانتقال المياه، وإنتاجية الآبار، فضلًا عن أن الخزان المائي الجوفي لمدينة إب مكون من: الخزان الرسوبي غير المتماسك، والخزان الجوفي البازلتي بنوعيه المتشقق والمصمت؛ إذ سجل أكبر سمك للخزان البازلتي المتشقق (110) أمتار في الجنوب الشرقي لمدينة إب، وخواصه الهيدرولوجية جيدة، وإنتاجيته عالية، وهيدروجيولوجيًا يُعد خزانًا قادرًا على تخزين وإعطاء المياه، ولوحظ أكبر سمك للخزان البازلتي المصمت (323) مترًا، في شمال الشمال الغربي لمدينة إب، وأقل سمك له (147) مترًا، في الجنوب الشرقي للمدينة، وخواصه الهيدرولوجية ضعيفة؛ وهيدروجيولوجيًا يُعد خزانًا ذا إنتاجية ضعيفة؛ لصخوره المصمتة، المعدومة النفاذية؛ لأنها غير قادرة على تخزين وإعطاء المياه، باستثناء المناطق التي تحتوي على شقوق متصلة أو صدوع؛ التي جعلت إنتاجيته عالية.

تحليل الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية للخزانات السطحية والجوفية في الحوض المائي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدروجيولوجية

Analysis of Geological and Hydrological Characteristics of Surface and Groundwater Reservoirs in the Water Basin of Ibb City and their Hydrogeological Implications

Adel Hamoud Lutf Naji* , Ali Mohammed Ahmed Ghallab
Department of Geography and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Ibb University, Yemen
Email: joodtabark2021@gmail.com

Keywords:

Stratigraphic Sequence of Wells, Correlation Lithological scheme, Hydrological scheme, Lithology and Structures, Hydrological and Hydraulic Characteristics.

Abstract:

This study sought to analyze the geological characteristics (lithological and structures), spatial and thickness dimensions, hydrological and hydraulic properties for each one of the following: rock correlation schemes, and hydrological scheme for sectors of drilling wells in Ibb City, as well as the hydrogeological scheme for reservoirs. The study was based on the descriptive approach to describe those characteristics, schemes and interpretations. The study concluded that there was a clear influence for the type of rocky strata in terms of its lithological characteristics on the hydrological and hydrological characteristics of rocks that related to the movement and transfer of water, and the productivity of wells. Furthermore, it was found that the groundwater reservoir of Ibb City was composed of: the incompact sedimentary reservoir, and the basalt groundwater reservoir (cracked and solid). The greater thickness of the cracked basalt reservoir was 110 meters in the south-east of Ibb City, and its hydrological properties were good with high productivity. From hydro-geological point of view, this reservoir was able to store and give water. It was noticed that the biggest thickness of the solid basalt reservoir was (323) meters in the far north-west of Ibb City, and lowest thickness of this reservoir was (147) meters in the south-east of the city with weak hydrological properties. From hydro-geological point of view, this reservoir had a weak productivity due to its solid permeability rocks which were unable to store and give water, except areas that contained connected cracks or faults; which made its high productivity.

المقدمة:

تُعد مدينة إب العاصمة الإدارية لمحافظة إب الواقعة وسط اليمن، واشتهرت مدينة إب بوفرة الأراضي الزراعية الخصبة حتى العام (1990م)، وتُعد تلك الأراضي الزراعية الخصبة الأحواض المائية للمدينة، وتم حفر عدد كبير من آبار المياه الجوفية الحكومية والأهلية في تلك الأراضي الزراعية؛ لتزويد السكان بمياه الشرب، وتشمل تلك الأحواض المائية كلًا من: حوض مياه وادي سائلة ميتم في الجنوب الشرقي للمدينة، وحوض مياه وادي سائلة جبلة–ميتم في الجنوب الجنوب الشرقي لمدينة إب، ومع بداية عام (2004م) شهدت مدينة إب توسعًا عمرانيًا وسكانيًا متزايدًا ومستمرًا باتجاه تلك الأحواض المائية؛ وهو ما أدى إلى حدوث توسع إداري في المدينة؛ ليصبح ما كان يُعد قرى وضواحي للمدينة جزءًا من النطاق والتقسيم الإداري الجديد لمدينة إب؛ إذ تضم مدينة إب كلًّا من: مديرية المشنة، ومديرية الظهار، وحاليًا أصبح اتجاه الزحف العمراني باتجاه الأحواض الجديدة؛ أي: حوض مياه وادي سائلة قحزة–السبل غرب مدينة إب، وحوض مياه وادي السحول شمال المدينة، وأصبحت الأحواض الجديدة ضمن نطاق انتشار شبكات توزيع مياه الشرب التابعة للمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي فرع مدينة إب، فضلًا عن ظهور مشكلة تلوث مياه بعض الآبار السطحية بمياه الصرف الصحي، خاصة الآبار الواقعة وسط مدينة إب (صلبة السيدة أروى)، إلى جانب انخفاض مناسيب الآبار المتواجدة في الجنوب الشرقي لمدينة إب في حوض وادي سائلة ميتم، وهبوط إنتاجيتها، علاوة على تزايد ظاهرة الحفر العشوائي للآبار الأهلية، وأخيرًا عدم توافر مخططات هيدروجيولوجية حديثة للخزانات السطحية والجوفية في مدينة إب.

تجدر الإشارة إلى أن للخصائص الجيولوجية أثرًا في كميات مياه الآبار الجوفية (سعد والساعدي، 2019، ص 383)، فضلًا عن أن معظم المعلومات الهيدروجيولوجية الخاصة بالخزانات الجوفية يتم الحصول عليها من بيانات وسجلات الآبار التي يتم حفرها في أراضي الخزان الجوفي، هذه السجلات تُسمى بالتقارير الخاصة التي تحوي على مجموعة من البيانات منها: موقع الآبار، عمق الآبار، وصف بسيط للطبقات الصخرية التي تخترقها تلك الآبار، واختبارات الضخ (Chesnaux et al., 2011)، وتلك البيانات ذات أهمية؛ إذ تفيد في معرفة الخصائص الجيولوجية، والهيدروجيولوجية للطبقات الصخرية الحاملة للمياه، التي لها علاقة وثيقة بعمليات تغذية، وتخزين، وحركة المياه في الخزانات الجوفية.

وقد اعتمدت هذه الدراسة على السجلات المتوافرة لبعض آبار المياه الجوفية في مدينة إب؛ إذ تم إعداد وتجهيز مخطط للعمود الاستراتيجرافي الصخري (العمود الليثولوجي) النموذجي الذي يمثل جميع قطاعات حفر آبار المياه الجوفية المتوافرة، إلى جانب تصميم مخططات للأعمدة الليثولوجية لقطاعات حفر الآبار قيد الدراسة؛

لتحديد الخصائص الليثولوجية (التوصيف الصخري لقطاع حفر البئر)؛ لفهم الاختلافات في خصائص الطبقات الصخرية المتتالية، وتكوينها، فضلًا عن معرفة مدى تأثير تلك الخصائص الليثولوجية على النفاذية، والناقلية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية؛ تم استخلاص تأثيراتها على تدفق المياه الجوفية في تلك الآبار، إلى جانب الوقوف على الأسباب التي تلعب دورًا بارزًا في طاقتها الإنتاجية. ومما سبق يمكن استخلاص الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للطبقات الصخرية، التي لها تأثير مباشر على إنتاجية الآبار.

مشكلة الدراسة:

تتمثل في عدم توافر دراسات مختصة ومفصلة حول الخصائص الجيولوجية (الليثولوجية والتركيبية) للحوض المائي لمدينة إب، التي لها تأثير كبير في الخواص الهيدرولوجية والهيدروليكية للطبقات الحاملة للمياه، وأيضًا على الخواص الهيدروجيولوجية للخزانات السطحية والجوفية في مدينة إب، فضلًا عن عدم وجود مخطط نموذجي للتتابعات الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في مدينة إب، وكذلك مخططات هيدروجيولوجية للخزانات السطحية والجوفية للمدينة. وبناءً على ما سبق؛ يمكن صياغة مشكلة هذه الدراسة بالتساؤلات الآتية:

1-ما الخصائص الليثولوجية للعمود الصخري النموذجي لآبار منطقة الدراسة؟.

2-ما الخصائص الجيولوجية والتركيبية، والهيدرولوجية والهيدروليكية لمخططات المضاهاة الصخرية للآبار، والمخططات الهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه السطحية والجوفية، التي لها علاقة وثيقة بعمليات تغذية وتخزين وحركة المياه الجوفية في تلك الطبقات الصخرية الحاملة للمياه؟.

3-ما الأبعاد المكانية والسمكية، والخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزانات السطحية والجوفية؟ وما أهم مدلولاتها الهيدروجيولوجية؟.

أهمية الدراسة:

تنبع أهمية هذه الدراسة من الآتي:

1-مساهمتها في تنمية وإدارة المياه الجوفية بمدينة إب؛ في ضوء تحليل وتفسير كل من: الخصائص (الليثولوجية، والهيدرولوجية، والهيدروليكية، والهيدروجيولوجية) للصخور وللطبقات الحاملة للمياه الجوفية، ومن خلال بناء قاعدة البيانات الهيدروجيولوجية للخزان الجوفي الكلي (الخزان الرسوبي السطحي، والخزان الجوفي الكلي) في مدينة إب، عبر تصميم المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزانات السطحية والجوفية للمدينة؛ ومنها استخلاص المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية؛ لمعرفة وتحديد قدرات وإمكانات الخزانات السطحية والجوفية في مدينة إب.

2-دراسة الخصائص الجيولوجية والتراكيب الجيولوجية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية موضوع الدراسة؛ لمعرفة مدى تأثيرها على النفاذية، والناقلية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، التي لها تأثير مباشر على إنتاجية الآبار؛ ثم

استخلاص تأثيراتها على تدفق المياه الجوفية في تلك الآبار، فضلًا عن الوقوف على الأسباب التي تلعب دورًا بارزًا في طاقتها الإنتاجية، إلى جانب إظهار التباين الحاصل في الآبار المدروسة من حيث خصائص الأبعاد المكانية السمكية للطبقات الصخرية؛ الناتجة عن الوضع الجيولوجي والتركيبي لمدينة إب، خاصة التراكيب الجيولوجية المتمثلة بالفوالق الاعتيادية، والفواصل.

3-وتكمن أهمية تحليل المخططات الهيدروجيولوجية لسجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة وتفسيرها؛ في معرفة الخصائص الجيولوجية، والهيدرولوجية، والهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه، التي لها علاقة وثيقة بعمليات التغذية، والتخزين، والحركة للمياه الجوفية في تلك الطبقات الحاملة للمياه.

أهداف الدراسة:

تهدف دراسة الخصائص الجيولوجية (الليثولوجية والتركيبية)، والخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية، والخصائص الهيدروجيولوجية للحوض المائي لمدينة إب، إلى تحقيق ما يأتي:

1-التعرف إلى أهم الخصائص الليثولوجية للعمود الصخري النموذجي لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

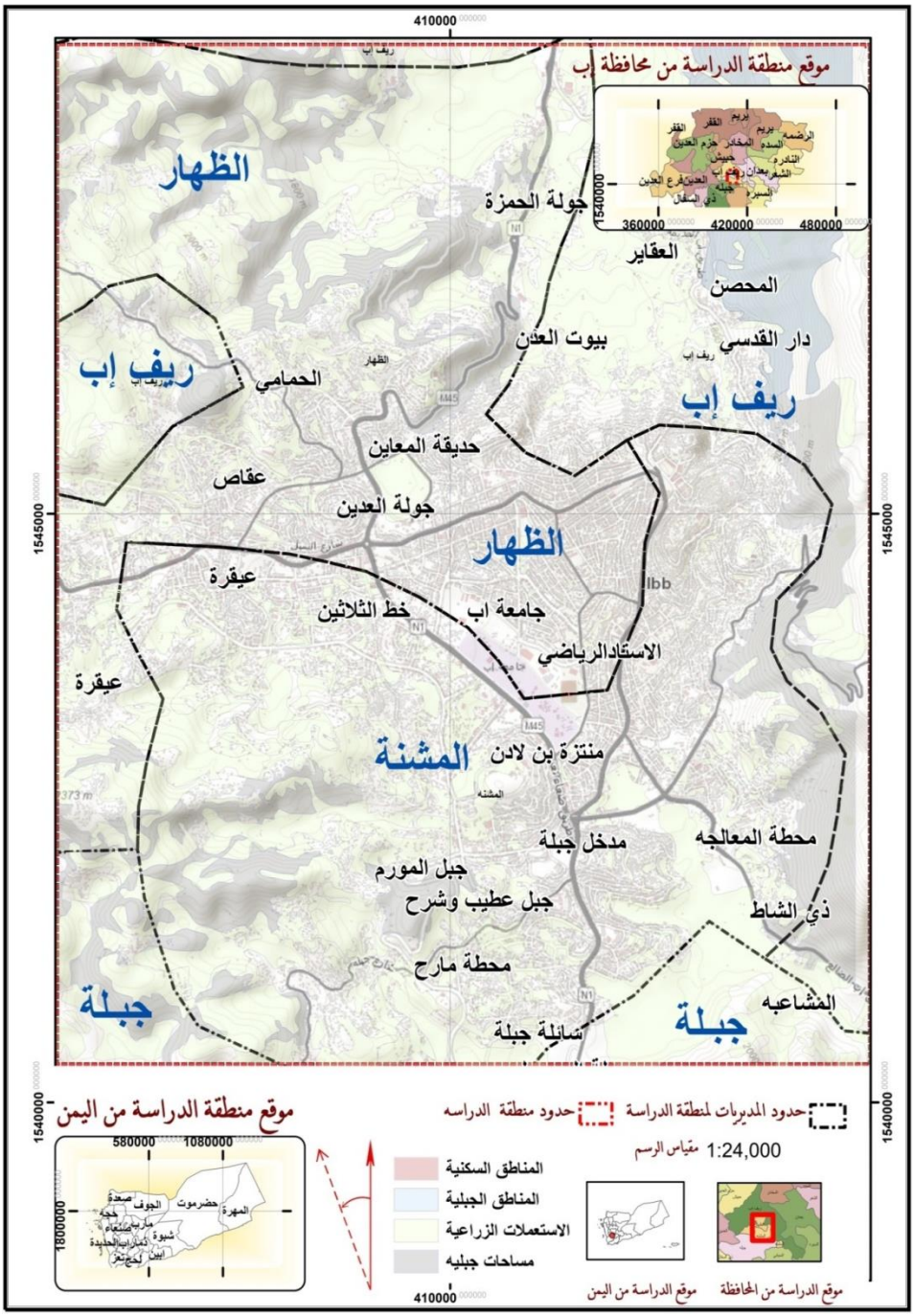
2-تحليل وتفسير الخصائص الجيولوجية والتركيبية، والهيدرولوجية، والهيدروليكية، والهيدروجيولوجية، وكذلك تحديد أنواع الخزانات السطحية والجوفية في منطقة الدراسة، واستخلاص أهم مدلولاتها الهيدروجيولوجية، ودور التراكيب الجيولوجية المتمثلة بالشقوق والفواصل والفوالق، في حركة وتنقل المياه في تلك الخزانات.

3-التحليل والتفسير للأبعاد المكانية والسمكية، والخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزانات السطحية والجوفية، واستخلاص أهم مدلولاتها الهيدروجيولوجية.

4-تصميم المخطط الهيدروجيولوجي للخزان النموذجي لمنطقة الدراسة.

حدود منطقة الدراسة:

أجريت هذه الدراسة على ما توافر من سجلات التتابع الطباقي لبعض قطاعات حفر آبار المياه الجوفية في مدينة إب، وبهذا فحدود الدراسة هي مدينة إب التي تحيط بها سلسلة من الجبال المرتفعة البركانية؛ إذ يحدها من الشمال وادي السحول (جولة الحمزة) ومن الشرق جبل بعدان ومن الجنوب سلسة من الجبال العالية التي تتبع مديرية جبلة، ويحدها من الشمال الغربي سلسلة جبلية، تمتد من بداية منطقة طريق المجمعة إلى منطقة مشورة، وتمتد منطقة الدراسة التي تضم الآبار المدروسة، بين دائرتي عرض (154500)، (158000) شمالًا، وبين خطي طول (404000)، (415000) شرقًا.



الشكل (1): موقع منطقة الدراسة بالنسبة لليمن ولمديريات محافظة إب وأبرز معالمها.

المصدر: الباحثان، باستخدام برنامج (Arc GIS 10.8.1).

منهجية الدراسة:

طبيعة الدراسة الحالية تتطلب استخدم المنهج الوصفي؛ لوصف الخصائص الليثولوجية للعمود الصخري لآبار المياه الجوفية المتوافر بياناتها وسجلاتها، وكذلك الخصائص الجيولوجية التركيبية، والهيدروجيولوجية للمخططات الهيدروجيولوجية لخزانات المياه السطحية والجوفية لسجلات مضاهاة الطبقات الحاملة للمياه الجوفية، والمخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزان الكلي

في منطقة الدراسة، فضلًا عن استخدام المنهج التحليلي الكارتوجرافي في تحليل وتفسير الأبعاد المكانية والسمكية، والخصائص الهيدرولوجية، والهيدروجيولوجية للمخططات الهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه، اعتمادًا على جمع البيانات والمعلومات لآبار المياه الجوفية المتوافرة سجلات قطاعات حفرها لدى المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بمحافظة إب، إلى جانب الاستفادة من التقنيات الحديثة وتوظيفها في إطار متكامل لتحقيق الهدف الرئيس من هذه الدراسة، المتمثلة بتقنية برنامج (Surfer 16.6)؛ للوصول إلى النتائج المرجوة من هذه الدراسة.

عينة الدراسة الميدانية:

لدراسة وتحليل كل من الخصائص: الليثولوجية، والتراكيب الجيولوجية، والهيدرولوجية، والهيدروليكية، والهيدروجيولوجية؛ كان لابد من الاستعانة بما توافر من البيانات والمعلومات، والأعمدة الليثولوجية لسجلات قطاعات حفر (7) آبار: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر الأشغال رقم (33)، وبئر الشعاب رقم (17)، وبئر السجن رقم (12)، وبئر المسلخ رقم (22)، وأخيرًا بئر المعشار رقم (11).

الطريقة المستخدمة في الدراسة:

جدولة البيانات المتعلقة بالتوصيف الصخري الخاص بالعمود الليثولوجي في قطاعات حفر آبار المياه الجوفية قيد الدراسة، والمتوافرة بياناتها لدى المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بمحافظة إب، وترتيبها في جداول برنامج الإكسيل (Excel Sheet)، ومن ثم تصدير تلك البيانات إلى برنامج (Surfer 16.6)؛ للتصميم والرسم لمخطط العمود الطباقي النموذجي لآبار منطقة الدراسة، وكذلك الخارطة الجيولوجية والتركيبية لمنطقة الدراسة، فضلًا عن تصميم ورسم مخططات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر (7) آبار في منطقة الدراسة، إلى جانب تصميم المخططات الهيدروجيولوجي للطبقات الحاملة للمياه، وأخيرًا تصميم المخطط الهيدروجيولوجي للخزان المائي النموذجي لمنطقة الدراسة.

الدراسات المحلية السابقة:

تتمثل الدراسات السابقة في الآتي:

1-دراسة (ناجي وآخرين، 2024): **أثر تقنية كرف حصاد مياه الأمطار والسيول الموسمية في تنمية مياه آبار وادي ميتم في مدينة إب**، هدف هذا البحث إلى استخلاص كل من: أبرز المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجية لآبار المياه الجوفية، التي تؤكد أهمية التغذية الاصطناعية عبر تقنية الكرفانات المائية في وادي ميتم رقم (2 1 &)، فضلًا عن استخلاص أهم مؤشرات التغذية الاصطناعية، وتم تقسيم البحث إلى: تباين أعماق آبار المياه الجوفية، خصائص الكرفانات المائية، قياسات التغذية الاصطناعية، تحليل الخصائص الهيدرولوجية لآبار المياه الجوفية، وأخيرًا أهم الإشكاليات التي تُعاني منها مشاريع التغذية الاصطناعية، مستعملًا المنهج الوصفي، والمنهج التحليلي، وبالاستفادة من التقنية الحديثة لبرنامج

(Surfer 16.6)؛ إذ تم التوصل إلى عدد من النتائج أهمها: انخفاض منسوب المياه المتحرك في الآبار قبل إنشاء مشاريع التغذية الاصطناعية خلال العامين (2019م، 2020م)؛ إذ تراوح المتوسط السنوي المنخفض لمنسوب المياه ما بين (100–200) متر، (82–136) مترًا على التوالي، وبعد إنشاء مشاريع التغذية ارتفع المتوسط السنوي لمنسوب المياه إلى (34–58) مترًا عام 2021م، وإلى (34–52) مترًا عام 2022م؛ وهو ما يشير إلى حدوث تحسن كبير في قيم مناسيب المياه بعد إنشاء مشاريع التغذية الاصطناعية.

2–دراسة (الشامي، 2023): **التغذية الاصطناعية للخزان الجوفي لمدينة إب (دراسة تطبيقية للتغذية الجوفية بتقنيات الكرفانات المائية)**، في هذه الدراسة استخدمت بعض آبار المياه الجوفية، التابعة للمؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي–إب، الموجودة في القرب من مشاريع برك التغذية الاصطناعية (الكرفانات المائية)، التي تتوفر فيها سجلات مناسب المياه الجوفية والطاقة الإنتاجية للآبار قبل وبعد إنشاء مشاريع التغذية الاصطناعية بتقنية الكرفانات المائية؛ لبيان مدى اختلاف مناسيب مياه الآبار خلال شهور السنة للفترة ما بين (2022–2019م)، فضلًا عن تقييم تغذية المياه الجوفية اصطناعيًا بتقنية الكرفانات المائية بمنطقة الدراسة، وأظهرت هذه الدراسة تحقق ارتفاع وتحسن ملموس بقيم الطاقة الإنتاجية المرصودة خلال العام 2021م، والعام 2022م؛ أي: بعد إنشاء مشاريع التغذية الاصطناعية في منطقة البحث؛ إذ بلغت قيم الطاقة الإنتاجية ما بين (10–13 لتر/ثانية)، في حين تراوحت قيم الطاقة الإنتاجية المرصودة خلال العام 2019م، والعام 2020م (قبل إنشاء مشاريع التغذية الاصطناعية) ما بين (4–10.5 لتر/ثانية).

3–دراسة (الورافي، 2023): **دراسة هيدرولوجية المياه الجوفية في الحوض المائي لمدينة إب باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، تناولت دراسة الطبيعة الجيولوجية، والطبوغرافية، والتضاريسية، والجيومورفولوجية لمنطقة الدراسة المتمثلة في الحوض المائي الرئيس لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، وعلى الوديان الرئيسة للحوض المائي لمدينة إب البالغ عددها (3) أودية رئيسة تشق طريقها في جزء كبير من المناطق العمرانية لمدينة إب، فضلًا عن كونها مناطق زراعية، ومناطق سكنية، ومناطق لعدد من آبار المياه الجوفية التي تعتمد عليها مدينة إب، ولكونها تمر في داخل المدينة ذات الكثافة السكانية الكبيرة، فضلًا عن تطرق الدراسة إلى المخاطر التي يتعرض لها الحوض المائي لمدينة إب التي من أهمها: الاعتداءات والمخالفات على الحوض المائي عن طريق البناء العشوائي في الأراضي المتبقية للتغذية الجوفية، أو الحفر العشوائي لآبار المياه الجوفية أو من خلال الاستنزاف الجائر للمياه الجوفية خاصة من الآبار الخاصة، فضلًا عن ما تشهده المدينة من أزمة نقص المياه؛ وبناءً

على ما تم ذكره آنفًا؛ فقد تم في تلك الدراسة استخدام تقنية (GIS)، في إنشاء قاعدة بيانات رقمية للخصائص الهيدرومورفومترية (الجيومترية، التضاريسية، شبكة التصريف، والخصائص الهيدرولوجية الجريانية) للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له، بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج (Arc GIS 10.8).

4-دراسة (ناجي والورافي، 2022): **التحليل المورفومتري لحوض التصريف السطحي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدرولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، قدمت هذه الدراسة نموذجًا تطبيقيًا لاستخدام تقنية (GIS)، في إنشاء قاعدة بيانات رقمية للخصائص الهيدرومورفومترية للحوض المائي لمدينة إب وللأحواض الفرعية التابعة له والمتمثلة في: الخصائص الجيومترية، والتضاريسية، وخصائص الشبكة التصريفية، فضلًا عن الخصائص الهيدرولوجية الجريانية، بالاعتماد على (DEM) وبرنامج (Arc GIS 10.8)؛ إذ تم التوصل إلى عدد من النتائج التي تعد ذات مؤشرات ومدلولات هيدرولوجية؛ منها: إن أحواض منطقة الدراسة أحواضٌ صغيرة في الامتداد المساحي، وميل الأحواض إلى الاستطالة، ونتيجة لزيادة الطول الكلي للحوض المائي مقارنة بعرضه مع زيادة مساحة الأحواض الفرعية نحو المنبع وضيقها عند المصب، وقد سجلت معظم قيم المتغيرات المورفومترية لشبكة التصريف في منطقة الدراسة قيم منخفضة ومتفقة مع بعضها من حيث التدني والمدلولات الهيدرولوجية، ومن أهم المؤشرات والمدلولات الهيدرولوجية زيادة مسافة ومساحة الجريان المائي من المنبع إلى المصب، ووصول المياه على شكل دفعات متدفقة ومتتالية، متقاربة في الحجم، وبزمن متعاقب، وطول مدة التصريف، وزيادة الفواقد المائية، وانخفاض كمية الجريان السطحي للمياه وتدنيها، علاوة على ارتفاع قيم معدل بقاء المجرى، وانخفاض شدة التصريف ورقم الترشيح للحوض المائي لمدينة إب، التي تُشير جميعها إلى بطء سرعة الجريان السطحي للمياه، وتتمثل أهم نتائج تحليل الخصائص الهيدرولوجية الجريانية لأحواض منطقة الدراسة في انخفاض معامل الفيضان، وصغر زمن الاستجابة لوصول الجريان السطحي للمياه من المنبع إلى المصب الرئيس للحوض؛ ومن ثم بطء سرعة الجريان السطحي.

5-دراسة (ناجي والورافي، 2022): **تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية اصطناعيًا في الحوض المائي لمدينة إب-اليمن باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، تُعنى هذه الدراسة بتحديد المواقع الملائمة لأماكن تجميع مياه الأمطار والسيول في مدينة إب، فضلًا 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، واستنادًا لذلك توصلت الدراسة إلى تحديد (3) مواقع مثلى لأماكن تجميع مياه الجريان السطحي لتغذية المياه الجوفية.

الدراسات الإقليمية السابقة:

1-دراسة (الحداد والسائح، 2021): **أثر الخصائص الليثولوجية على نضوب عدد من آبار المياه الجوفية بمنطقة ترهونة**، هدفت هذه الدراسة إلى تحديد الخصائص الليثولوجية (التوصيف الصخري لقطاع الحفر) والجيوهيدرولوجية للطبقة الحاملة للمياه التي حفرت بها الآبار الناضبة، ومعرفة تأثيراتها على تدفق المياه الجوفية بتلك الآبار، والوقوف على أهم الأسباب التي أدت إلى تناقص إنتاجيتها، ومن ثم نضوبها. اعتمدت هذه الدراسة على بيانات سجلات الآبار المحفوظة في ملفات ورقية، احتوت على بيانات التوصيف الصخري لقطاع الحفر، حيث أدخلت البيانات إلى برنامج (Strater 5)؛ لعمل العمود الأسراتيجرافي لقطاع الحفر بكل بئر، ولإجراء عملية المضاهاة للطبقات الصخرية؛ لتحديد نوعيتها، مع التعرف إلى مدى تأثيرها على تناقص إنتاجية الآبار ونضوبها، من خلال تحديد بعض خصائصها الجيوهيدرولوجية. ومن خلال النتائج التي توصلت إليها الدراسة اعتمادًا على بيانات التوصيف الصخري لقطاع الحفر تبين أنَّ الآبار الناضبة احتوت على طبقات صخرية ذات نوعية قليلة النفاذية، والناقلية، مثل طبقات الصخور النارية البازلتية، أو الرماد البركاني في البعض منها، أو وجود طبقات سميكة من المارل والطين والسلت في بعضها الآخر؛ فضلًا عن افتقارها إلى طبقات الحجر الرملي ذي النفاذية والناقلية العاليتين، من جانب آخر دلت النتائج على أنَّ الآبار الناضبة ذات طبقة حاملة للمياه (خزان جوفي) أقل سمكًا من نظيراتها الموجودة في الآبار المنتجة.

2-دراسة (سعد والساعدي، 2019): **الخصائص الهيدرولوجية والنوعية لآبار المياه الجوفية شرق محافظة ميسان (دراسة كارتوغرافية-إحصائية)**، هدفت إلى دراسة آبار المياه الجوفية الواقعة على الشريط الحدودي بين العراق وإيران؛ إذ أسهمت عوامل طبيعية متعددة في توافر هذه الآبار بكثرة في هذه المناطق منها: البناء الجيولوجي، والتضاريس، وانحداراتها، فضلًا عن أحوال المناخ، والتربة، وكان للعوامل المذكورة دور مهم في تباين تحديد الخصائص الهيدرولوجية لهذه الآبار من جانب وتباين خصائصها الفيزيائية والكيميائية من جانب آخر، ومن أهم نتائج هذه الدراسة أن للخصائص الطبيعية (الجيولوجية

والمناخية) أثرًا في كميات مياه الآبار الجوفية في مناطق شرق محافظة ميسان العراق.

1.التوزيع المكاني لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة:

الشكل (2) يبين خارطة التوزيع المكاني لآبار المياه الجوفية قيد الدراسة، التي تتوافر فيها بيانات ومعلومات وسجلات الطباقية الصخرية لقطاعات حفر تلك الآبار، وعددها (7) آبار؛ إذ تتوزع تلك الآبار في منطقة الدراسة على النحو الآتي:

1-بئران يمتدان من شمال الشمال الغربي (NNW) إلى الشمال الشرقي (NE) لمدينة إب، وهما: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الشعاب رقم (17).

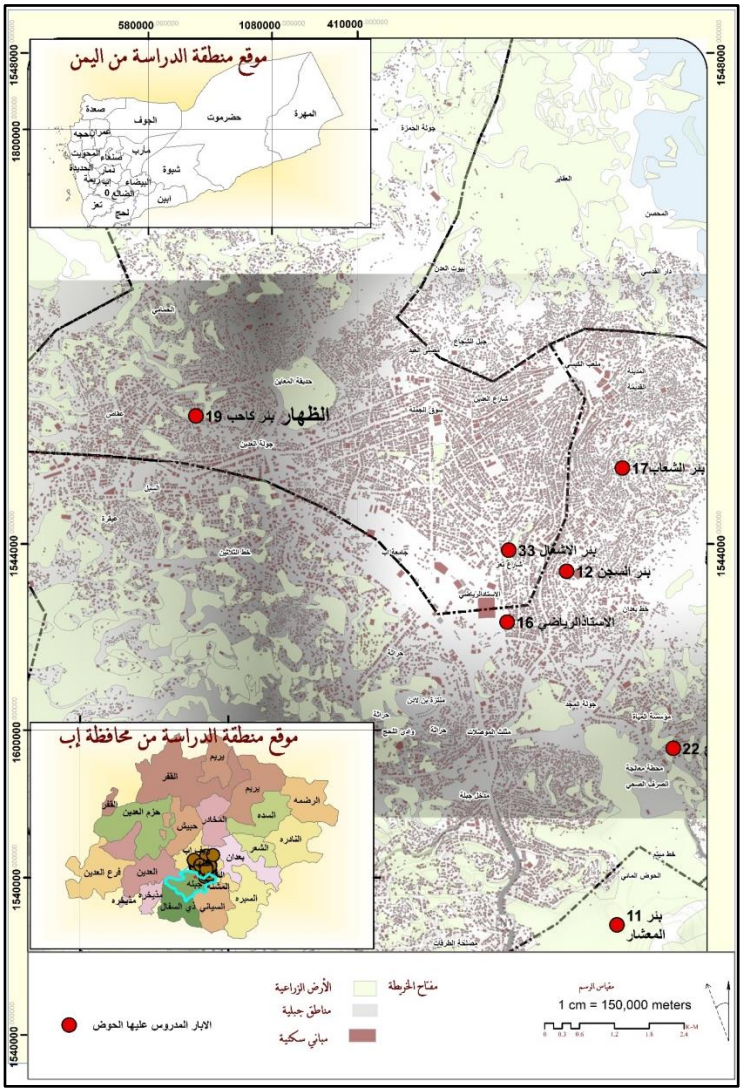
2-ثلاثة آبار تمتد من الشمال الشرقي (NE) لمدينة إب إلى الجنوب الشرقي (SE) للمدينة، وهي: بئر السجن رقم (12)، وبئر المسلخ رقم (22)، وبئر المعشار رقم (11).

3-بئران يقعان وسط مدينة إب (صلبة السيدة أروى)، وهما: بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر الاشغال رقم (33)، كما هو مبين في الجدول (1).

الجدول (1): إحداثيات مواقع آبار المياه الجوفية وارتفاعها في منطقة الدراسة.

رقم البئر	اسم البئر	خط الطول X	خط العرض Y	الارتفاع عن سطح
Well 11	بئر المعشار رقم (11)	412100	154089	1876
Well 12	بئر جوار السجن رقم (12)	411692	154377	1912
Well 16	بئر الاستاد الرياضي رقم (16)	411211	154336	1902
Well 17	بئر الشعاب رقم (17)	412144	154461	1950
Well 19	بئر كاحب رقم (19)	408691	154505	1950
Well 22	بئر المسلخ رقم (22)	412555	154233	1894
Well 33	بئر الأشغال رقم (33)	411224	154394	1912

المصدر: اعتمادًا على تقرير المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بمحافظة إب، عام 2022م.



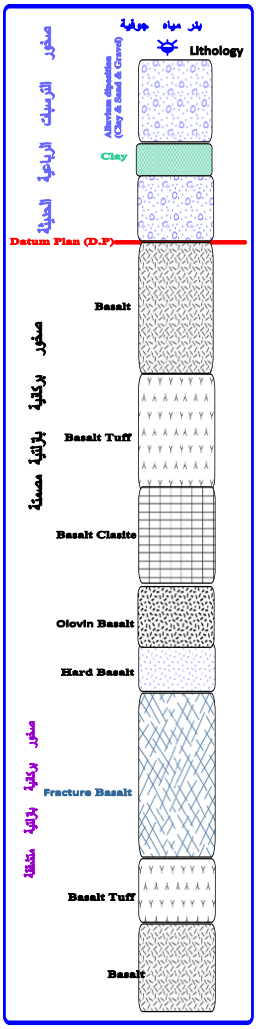
الشكل (2): خارطة التوزيع المكاني لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الجدول (1)، باستخدام برنامج (Arc GIS 10.8).

2.تصميم مخطط العمود الطباقي (الليثولوجي) النموذجي لآبار المياه الجوفية:

تهدف هذه الدراسة بشكل رئيس إلى تسليط الضوء على الخصائص الليثولوجية، والهيدرولوجية، والهيدروجيولوجية لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة؛ بغرض تقديم وصف لأهم تلك الخصائص للآبار قيد الدراسة، بالاعتماد على سجلات الأعمدة الليثولوجية (التتابعات الطباقية الصخرية) لبعض آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة، المتوافرة ضمن تقارير المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب خاصة تقرير (الشجاع، 2004، ص 14–20)، وتقرير (الشجاع، 2005، ص 15–19)؛ إذ تم في هذه الدراسة تصميم مخطط للعمود الطباقي (الليثولوجي) النموذجي لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة، باستخدام تقنية برنامج (Surfer 16.6)، كما هو مبين في الشكل (3) أدناه، ومن

خلالـه يمكـن التعـرف إلـى ظـروف نشـأة وتكـون الطبقات الصـخرية، فضـلًا عن معرفة خصائصـها الهيدرولوجيـة خاصـةً فيمـا يتعلـق بمسـاميتها، وقـدرتها علـى نقـل الميـاه الجوفيـة وإمرارهـا إلـى الآبـار، إلـى جانـب معرفـة النوعيـة والخصـائص للطبقة الحاملة للمياه، ومدى قدرتها على إنتاجية المياه.



الشكل (3): مخطط للعمود الطباقي (الليثولوجي) النموذجي لآبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على (الشجاع، 2004، ص 14-20)، (الشجاع، 2005، ص 15-19)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

2.1.تحليـل الخصـائص الجيولوجيـة والتركيبيـة لطبقـات العمـود الطبـاقي النموذجي لمنطقة الدراسة:

فـي ضـوء المعالجـة والتحليـل البيانـات التوصـيف الصـخري لنطـاق الحفر فـي كل بئـر؛ يمكن معرفة خصائص الخزان الجوفي، الذي هو عبارة عن تكوين جيولوجي، له القدرة على تخزين وإمرار الماء عبر وسطه المسامي؛ وعليه: يمكن تحديد ومعرفة قدرة كل بئر من حيث إنتاجياته، وإعطائـه للمـاء، فضـلًا عـن معرفـة خصائصـه الهيدروجيولوجية مثل: الناقلية، والمسامية، وقدرة التخـزين؛ إذ تتـأثر الخصـائص الهيدروجيولوجيـة السـابقة بخصـائص الطبقـات الصـخرية، التـي يخترقهـا البئـر نفسـه، مـن حيـث سـمك الطبقـات الحاملـة للميـاه، ونـوع التكـوين الجيولـوجي، وحجـم ونسـبة المسـامات الموجـودة بـين حبيبـات الوسـط المسامي، وغيرها من العوامل الأخرى المؤثرة على هيدروجيولوجيـة الآبـار العميقـة (الحـداد والسـائح، 2021، ص 262)، كمـا تُسـهم البنيـة الجيولوجيـة فـي توزيـع الميـاه الجوفيـة، وتحديـد خصائصـها المائية كمًا ونوعًا، وحجم خزاناتها الجوفية، وحركة الميـاه فيهـا، كمـا أن للخصـائص الطبيعيـة (الجيولوجية والمناخية) أثرًا في كميات مياه الآبار الجوفية (سعد والساعدي، 2019، ص 383).

2.1.1.الخصـائص الجيولوجيـا التركيبية لمنطقة الدراسة:

تشـير تقـارير أعمـال الحفـر والدراسـات الجيولوجية والتركيبية، والدراسات والأبحاث العلمية

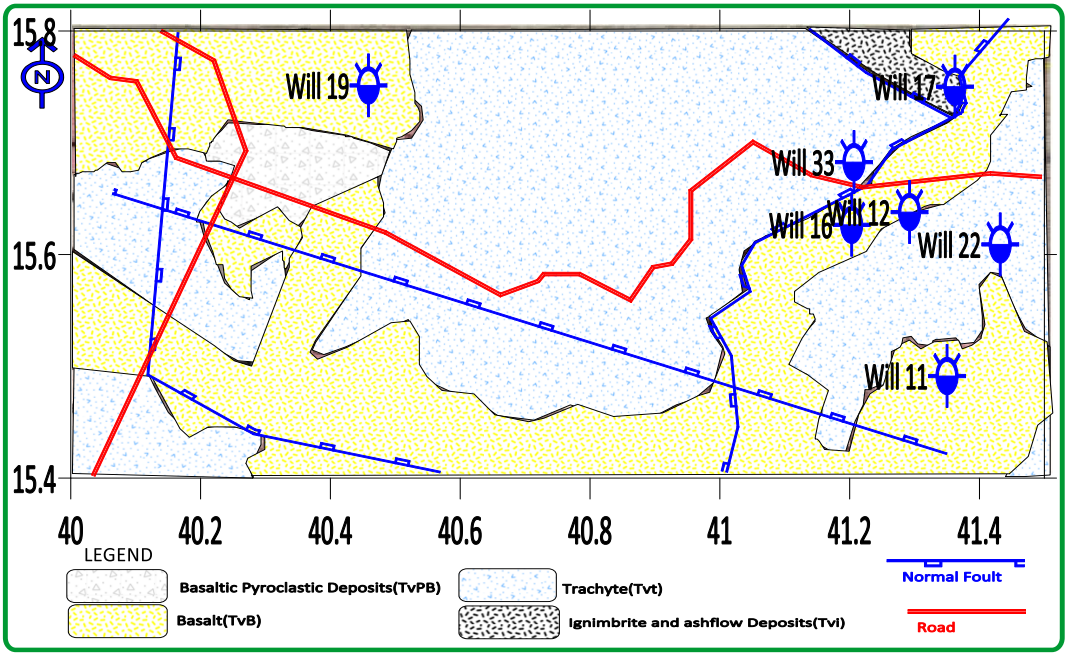
المنشورة حول الخصائص الهيدرولوجية والهيدرومورفومترية للأحواض التصريفية في مدينة إب، وبالأحواض الفرعية التابعة للحوض المائي الرئيس لمدينة إب ووديانها، فضلًا عن نتائج الأبحاث المنشورة حول الظواهر الجيومورفولوجية وأخطار المنحدرات الجبلية المحيطة بمدينة إب؛ إلى أن السلاسل الجبلية البازلتية في مدينة إب تنتشر في اتجاهيين رئيسين؛ الاتجاه الأول (NNW–SSE) باتجاه وادي السحول شمال مدينة إب، والاتجاه الآخر (WNW–ESE) باتجاه الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة وسط مدينة إب؛ نتيجة لتعرض المنطقة إلى النشاط البركاني في العصر الثلاثي؛ بسبب انفصال الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية، فضلًا عن وجود مجموعة من الفوالق الاعتيادية في مدينة إب: فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة وسط منطقة الدراسة (بالقرب من بئر الصلبة رقم (15))، حتى وادي السبل قحزة، وفالق اعتيادي آخر يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة (بالقرب من بئر كندي رقم (21))، حتى وادي الذهب الشمال الشرقي لمدينة إب وصولًا إلى شلال المشنة على منحدرات جبل بعدن المطلة على مدينة إب مارًا بالمنطقة التي يقع فيها بئر الشعاب رقم (17).

2.1.2.الخصائص الجيولوجية (الليثولوجية) لمنطقة الدراسة:

توجد في مدينة إب رسوبيات الوديان الرباعية الحديثة مكونة من: الطين، الحصى، الرمل، وهذه الترسبات تغطي الوديان الموسمية الرئيسة، وهي حتى الوقت الراهن في طور التكوين والتطور داخل بطون الوديان؛ بفعل العمليات التي تحدثها سيول الأمطار الساقطة في مدينة إب، وما ينتج عن سقوطها من عمليات تعرية ونقل وترسيب، وهي تجري في بطون الأودية المناسبة للترسيب، وتقع أسفل هذه الطبقة الرسوبية الحديثة طبقات من الصخور البركانية، ممثلة بالصخور البازلتية، التي يعود عمرها إلى العصر الثلاثي (ناجي والورافي، 2022، ص 554).

وعبر التحليل والتفسير للشكل (3) السابق، والشكل (4) أدناه؛ لوحظ: أن ليثولوجية المقطع النموذجي للمواقع، التي حفرت فيها الآبار المختارة في هذه الدراسة هي عبارة عن مجموعة من التكوينات الجيولوجية؛ تبدأ من تكوين الترسبات الرباعية الحديثة (Quaternary Alluvial)، المؤلف من الحصى، والطين، والرمل (ترسبات غير متماسكة)، التي تتواجد في معظم آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة، فضلًا عن وجود طبقات من الترسبات الطينية المتماسكة في بعض قطاعات حفر آبار منطقة الدراسة، وانعدامها في قطاعات حفر آبار أخرى، ويظهر أيضًا تكوين جيولوجي من الصخور البركانية الثلاثية (Tertiary Volcanic) بعد تكوين الترسبات الرباعية، وهي: عبارة عن مكونات صخرية بركانية مصمتة كالبازلت (Basalt)، وصخور أخرى مثل: (Basal Calcite)، (Basalt Tuff)، (Olivine Basalt)، فضلًا عن وجود

تكوين الصخور البركانية المتشققة (Basalt Fracture).



الشكل (4): خارطة جيولوجية وتركيبية لمدينة إب.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الخارطة خارطة جيولوجية تعز–إب (SHEET 13G) للهيئة الاستكشافات النفطية والمعدنية، 1990، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

2.2.تحليل الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية لطبقات العمود الطباقي النموذجي لمنطقة الدراسة:

2.2.1.الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للترسبات غير المتماسكة الرباعية:

في ضوء التحليل والتفسير للشكل (3)، والشكل (4)؛ فإن من أهم الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية لتكوين الترسبات الرباعية الحديثة (الحصى، والطين، والرمل)، أنها عالية النفاذية، وذات معامل توصيل هيدروليكي قوي، ولها القدرة على تخزين المياه الجوفية (بوصفها طبقة احتواء)، علاوةً على قدرتها العالية على نقل وإمرار المياه الجوفية (بوصفها طبقة إنتاج).

2.2.2.الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للترسبات المتماسكة الرباعية:

تتميز طبقات الترسبات الطينية بالخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية الآتية: أن الطبقة الطينية تتصف بأنها قليلة النفاذية، وذات معامل توصيل هيدروليكي ضعيف جدًا، وليس لها القدرة على تخزين المياه الجوفية، وأيضًا تُعد الطبقات الطينية كطبقات تعطيل؛ لأنها لا تسمح بمرور المياه الجوفية إلى داخل الآبار بكميات اقتصادية؛ وهذا بدوره يُشير إلى ضعف إنتاجية الآبار التي تحتوي ضمن عمودها الصخري على الترسبات

الطينية؛ وهو ما يعني أنها آبار ذات كفاءة منخفضة من حيث الإنتاجية.

2.2.3.الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للصخور البركانية الثلاثية:

يتصف التكوين جيولوجي للصخور البركانية الثلاثية المصمتة، بضعف خواصها الهيدرولوجية المساعدة على تخزين وحركة المياه الجوفية؛ لأنها تُعد صخورًا مصمتة معدومة النفاذية، وهي في أصلها غير قادرة على تخزين وإعطاء المياه الجوفية، ولا يمكن أن تكون خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية عالية؛ إلا في حالة وجود الصدوع، والفواصل، والتشققات، التي تسمح بحركة المياه الجوفية وتنقلها، بينما الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية لتكوين الصخور البركانية المتشققة؛ فقد ساعد التركيب الجيولوجي لهذه الصخور على تخزين وحركة المياه الجوفية فيها؛ ولذلك تُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية عالية مقارنة بالخزان الجوفي المكون من الصخور البركانية المصمتة.

3.تصميم مخططات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار في منطقة الدراسة:

من أجل الإعداد والتصميم للمخطط الليثولوجي والهيدروجيولوجي النموذجي لخزانات المياه الجوفية في مدينة إب، فضلًا عن استنباط واستخلاص الأبعاد (المكانية والسمكية)، والخصائص الهيدروجيولوجية لتلك الخزانات؛ كان لابد من الاعتماد على سجلات قطاعات حفر آبار المياه الجوفية المتوافرة؛ لتصميم مخططات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر تلك الآبار؛ إذ تعتمد عملية المضاهاة الصخرية على مدى تشابه الصخور من حيث اللون والتركيب المعدني، وهذه الخصائص تكون مشابهة للصخر نفسه، الذي يترسب تحت الظروف نفسها؛ إذ يتم من خلالها عمل مطابقة للطبقات الصخرية الموجودة في مواقع مختلفة ومتقاربة على سطح الأرض، ومن الصعوبات التي تواجه هذه المضاهاة هي تكرار الطبقات الصخرية، والتغير الجانبي للصخور، وللتغلب على مثل هذه الإشكالات؛ يتم عمل مضاهاة لمجموعة من الطبقات الصخرية، لها التتابع الطباقي نفسه، وفي الغالب تعطي هذه الطريقة من المضاهاة نتائج أكثر دقة، وفي أحيان أخرى يتم عمل مضاهاة باستخدام طبقة مرشدة؛ لكي تسهل عملية المقارنة في الأماكن المختلفة؛ إذ تتميز الطبقة المرشدة بالانتشار الأفقي في جميع مناطق المضاهاة؛ لأنها ذات خصائص فيزيائية مميزة، ومن الأمثلة على الطبقة المرشدة وجود طبقة من الرماد البركاني في أماكن مختلفة، كما هو حاصل في منطقة الدراسة، وفاعلية المضاهاة باستخدام الطبقة المرشدة تكون جيدة عند استعمالها في المضاهاة بين قطاعات قريبة فيما بينها.

وفي ضوء ما سبق؛ تم في هذه الدراسة استخدام طريقة المضاهاة بمجموعة من الطبقات الصخرية ذات ترتيب معين، فضلًا عن إجراء المضاهاة باستخدام طريقة المضاهاة بالطبقة المرشدة؛ لتصميم مخططات لمقاطع المضاهاة

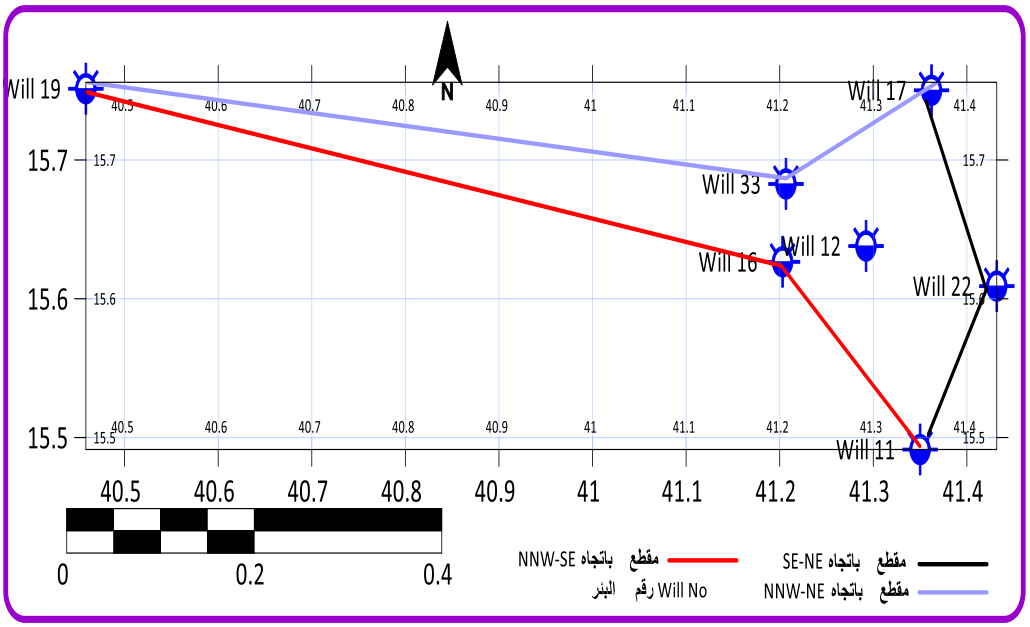
الطباقية الصخرية للمناطق التي تتواجد فيها قطاعات حفر آبار المياه الجوفية وباتجاه معين، باستخدام برنامج (Surfer 16.6)؛ لتحليل الخصائص الهيدروجيولوجية لسجلات المضاهاة الصخرية لتلك المقاطع التي توجد فيها الآبار، فضلًا عن تحديد نوعية الطبقات الصخرية الموجودة في قطاعات حفر الآبار في تلك المقاطع، واعتمادًا على نتائج تفسير سجلات مخططات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار، التي تم تصميمها وإعدادها، كما هي موضحة في الأشكال (5, 6, 7)؛ تم تصميم المخطط الليثولوجي والهيدروجيولوجي لخزانات المياه السطحية والجوفية لمنطقة الدراسة؛ لاستخلاص أهم الدلائل والمؤشرات الهيدروجيولوجية لمخطط خزانات المياه السطحية والجوفية لمنطقة الدراسة.

وفيما يأتي سوف يتم تناول الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لعدد (3) مقاطع مختلفة الاتجاه لعدد من الآبار المتوافرة سجلاتها وبياناتها، وتلك المقاطع الثلاثة موضحة في الشكل (5) الخاص بخارطة التوزيع المكاني لمواقع مقاطع المضاهاة الصخرية لقطاعات الحفر لآبار منطقة الدراسة، هي:

1-المقطع الأول: خاص بالآبار الممتدة من الشمال الشرقي (NE) إلى الجنوب الشرقي (SE) لمدينة إب.

2-المقطع الثاني: الآبار الممتدة من شمال الشمال الغربي (NNW) إلى الشمال الشرقي (NE) لمدينة إب.

3-المقطع الثالث :الآبار الممتدة من شمال الشمال الغربي (NNW) إلى الجنوب الشرقي (SE) لمدينة إب.



الشكل (5): خارطة التوزيع المكاني لمواقع مقاطع المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان، باستخدام برنامج (Surfer 16.6).

3.1.تحليل الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NE):

الشكل (6) يوضح مخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر (3) آبار، وهي: بئر الشعاب رقم (17)، بئر المسلخ رقم (22)، بئر المعشار رقم (11)، الممتد من الشمال الشرقي (NE) إلى الجنوب الشرقي (SE) لمدينة إب. وتتراوح أعماقها ما بين (300–333) مترًا (الشجاع، 2005، ص 5).

3.1.1.تحليل الخصائص الليثولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NE):

من خلال مخطط سجلات مضاهاة التتابع الصخري لقطاعات الحفر للآبار الممتدة باتجاه (SE–NE)؛ لوحظ وجود نوعين من البيئات الهيدروجيولوجية، هما: النوع أول بيئة أحواض التكوينات الرسوبية الرباعية الحديثة (طبقات من الرواسب غير متماسكة من الحصى، والرمل، والطين، وطبقات من الرواسب المتماسكة الطينية، ذات امتداد مكاني متوسط مع زيادة السمك باتجاه الجنوب الشرقي لمدينة إب؛ إذ بلغ أكبر سمك للترسبات المتماسكة وغير المتماسكة في بئر المعشار رقم (11) بحدود (76) مترًا ممثلًا ما نسبته (66.1%) من إجمالي السمك الكلي للترسبات الرباعية، بينما أقل سمك للترسبات المتماسكة وغير المتماسكة بلغ (12) مترًا؛ أي: ما نسبته (10.4%) في بئر الشعاب رقم (17)، كما هو مبين في الجدول (2) أدناه.

الجدول (2): التباين العددي والنسبي لسمك الطبقات الصخرية لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في المقطع (SE–NE) في مدينة إب.

وجهة المقارنة	بئر الشعاب رقم (17)	بئر المسلخ رقم (22)	بئر المعشار رقم (11)	السمك الكلي (م)/النسبة%
سمك الترسبات المتماسكة الطينية (م)	**0.0**	**0.0**	**10**	**10**
سمك ترسبات الحصى والرمل والطين غير المتماسكة (م)	**12**	**27**	**66**	**105**
السمك الكلي للترسبات الرباعية (م)	**12**	**27**	**76**	**115**
النسبة %	**%10.4**	**%23.5**	**%66.1**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المصمتة) (م)	**268**	**273**	**147**	**688**
النسبة %	**%39**	**%40**	**%21**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المتشققة) (م)	**20**	**0**	**110**	**130**
النسبة %	**%15.4**	**%0.0**	**%84.6**	**%100**
السمك الكلي للصخور (المصمتة+المتشققة) (م)	**288**	**273**	**257**	**818**
النسبة %	**%35.2**	**%33.4**	**%31.4**	**%100**
عمق البئر (م)	**300**	**300**	**333**	**-**

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الشكل (5).

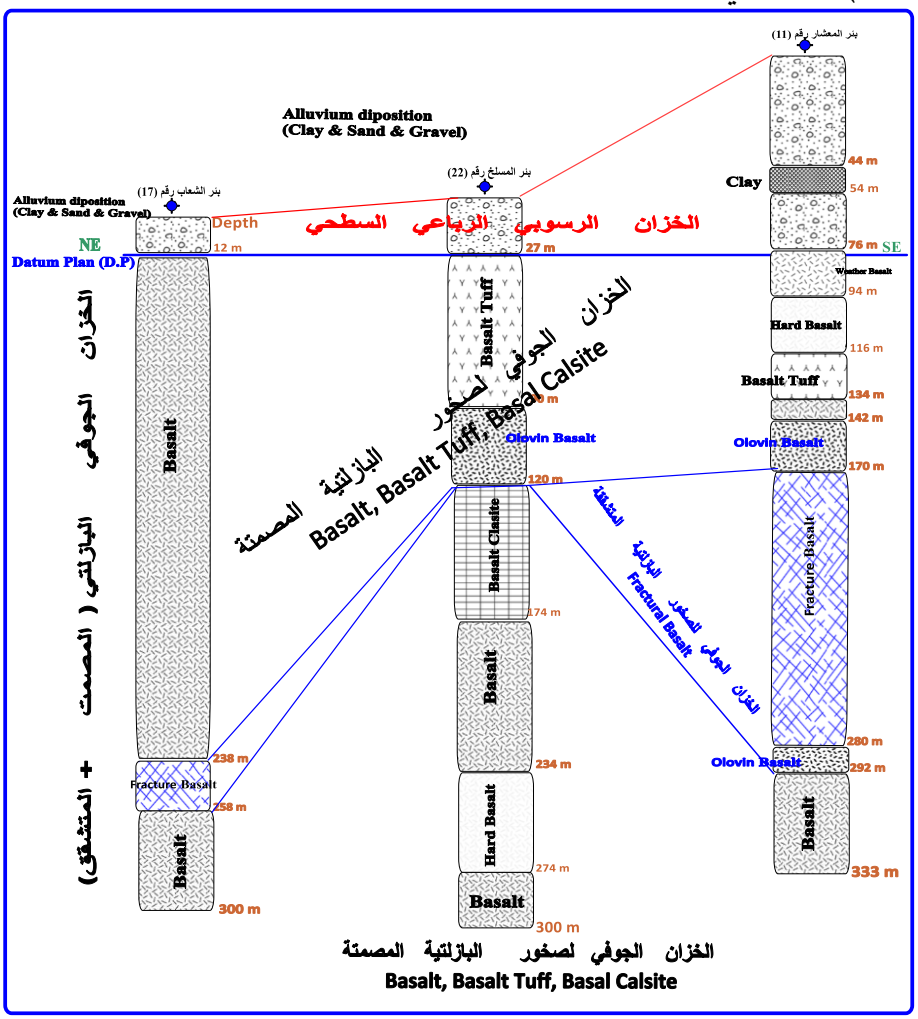
من خلال الشكل (6) أدناه؛ لوحظ ظهور الترسبات المتماسكة الطينية فقط في الجزء الجنوبي الشرقي من مدينة إب في بئر المعشار رقم (11)؛ وهو ما يشير إلى زيادة عمق حوض الترسيب في الجزء الجنوبي الشرقي لمدينة إب، وبشكل عام تُعد الترسبات غير المتماسكة الطينية مصدرًا للمياه الجوفية السطحية؛ نتيجة لما تتميز به من نفاذية عالية، فضلًا عن التأثير الكبير لهذه الرسوبيات هيدرولوجيًا على كميات الجريان المائي السطحي من خلال تعرض جزء كبير من مياه الأمطار والمياه السطحية إلى التسرب نحو التكوينات تحت السطحية (الخزان الجوفي)؛ وهو ما يؤدي إلى التغذية الجوفية للخزان المائي.

وفيما يخص النوع الثاني من البيئات الهيدرولوجية للآبار الموجودة في المقطع (SE–NE)؛ فهي بيئة الأحواض الجوفية؛ أي: إنها خزانات مائية جوفية صغيرة الامتداد؛ إذ تتوافر فيها المياه الجوفية ضمن الصخور البازلتية المصمتة والمتشققة؛ نتيجة لوجود الصدوع والفواصل والتشققات التي تسمح بحركة وتنقل المياه الجوفية، فضلًا عن وجود المياه في نطاقات التشققات الصخرية التي تختلف من منطقة إلى أخرى، وتختلف تلك الصخور من بئر إلى آخر من حيث الصلابة والتكوين المعدني، ونتيجة لتشابه تلك الطبقات الصخرية في مكوناتها الصخرية وتكرارها الجانبي؛ تم في هذا المقطع اتباع أسلوب المضاهاة بمجموعة من الطبقات ذات ترتيب معين؛ وعلى أساس ذلك فإن الشكل (6) يوضح مخطط سجلات مضاهاة تتابع عدد من طبقات الصخور النارية البازلتية المصمتة في جميع آبار المياه الجوفية في المقطع (SE–NE)؛ إذ بلغ أكبر سمك للصخور البازلتية المصمتة في بئر المسلخ رقم (22) حوالي (273) مترًا؛ وهو ما يعادل (40%) من إجمالي سمك الصخور البازلتية المصمتة في المقطع (SE–NE)، البالغ حوالي (688) مترًا، بينما تظهر الصخور البازلتية المتشققة في بئرين فقط هما: بئر الشعاب رقم (17) في الشمال الشرقي لمدينة إب، وبئر المعشار رقم (11) في الجنوب الشرقي للمدينة؛ ويعود السبب في ذلك إلى أن بئر الشعاب رقم (17)، يقع ضمن منطقة امتداد الفالق الاعتيادي الذي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي الذهب الشمال الشرقي لمدينة إب وصولًا إلى شلال المشنة على منحدرات جبل بعدان المطلة على مدينة إب مارًا بالقرب من المنطقة التي يقع فيها بئر الشعاب رقم (17).

بينما بئر المعشار رقم (11) يقع على جانب وادي سائلة جبلة المكون بفالق اعتيادي ممتد من مدينة جبلة وصولًا إلى نقطة التقاء وادي سائلة جبلة بوادي سائلة ميتم في الجنوب الشرقي لمدينة إب؛ وعليه: بلغ أكبر سمك للصخور المتشققة في بئر المعشار رقم (11) بحوالي (110) أمتار؛ وهو ما يعادل (84.6%) من إجمالي سمك الصخور البازلتية المتشققة في المقطع (SE–NE)، البالغ حوالي (130) مترًا، في حين اختفت الصخور البازلتية المتشققة في بئر المسلخ رقم

(22)؛ ويعود السبب في اختفاء الصخور البازلتية المتشققة لوقوع البئر في منطقة بعيدة عن تأثير مناطق الفوالق الاعتيادية.

وعمومًا يتضح تباين السمك الكلي للطبقات البركانية البازلت (المصمتة والمتشققة) في قطاعات حفر كل من الآبار الآتية: بئر المعشار رقم (11)، وبئر الشعاب رقم (17)، وبئر المسلخ رقم (22)، البالغ حوالي (257, 273, 288) مترًا على التوالي؛ أي: إن أكبر سمك للطبقات البازلتية (المصمتة والمتشققة) لوحظ في المنطقة الشمالية الشرقية لمدينة إب، التي يقع فيها بئر الشعاب رقم (17)؛ إذ بلغ حوالي (288) مترًا؛ وهو ما يشكل ما نسبته (35.2%) من إجمالي السمك الكلي للصخور البازلتية (المصمتة والمتشققة)، البالغ حوالي (818) مترًا؛ وعليه: فإن وجود الصخور البركانية البازلتية (المصمتة والمتشققة)، خاصة الصخور البازلتية المصمتة بسمك كبير يعمل على الحد من جودة خصائصها الهيدروجيولوجية، التي تُساعد على تخزين ونقل المياه الجوفية إلى داخل آبار المياه الجوفية.



الشكل (6): مخطط سجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار الممتدة في المقطع (SE–NE) في مدينة إب.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على (الشجاع، 2005، ص 15–20)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

3.1.2.استخلاص المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية للمقطع (SE–NE):

من خلال التحليل والتفسير لمخطط المقطع (SE–NE)، الموضح في الشكل (6) السابق؛ تم التوصل إلى أهم الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لتلك الآبار، ومنها استخلاص أهم مدلولاتها ومؤشراتها الهيدرولوجيولوجية، التي يمكن تلخيصها في الجدول (3) أدناه:

الجدول (3): المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NE) في مدينة إب.

الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (SE-NE)	المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (SE-NE)
1-زيادة سمك التكوينات الرسوبية الرباعية الحديثة (غير المتماسكة والمتماسكة) بشكل تدريجي من الجنوب الشرقي لمدينة إب باتجاه الجنوب الشرقي لمدينة إب وصولًا إلى الشمال الشرقي للمدينة.	معامل التوصيل الهيدروليكي للترسبات غير المتماسكة قوي جدًا، ولها القدرة العالية على تخزين المياه الجوفية، وعلى نقل وإمرار المياه الجوفية.
2-ظهور الترسبات الطينية في المنطقة الجنوبية الشرقية لوادي سائلة ميتم جبلة فقط؛ وهو ما يُشير إلى زيادة عمق حوض الترسيب في المناطق الجنوبية الشرقية لمدينة إب (وادي سائلة ميتم جبلة).	الترسبات المتماسكة الطينية قليلة النفاذية، لها معامل توصيل هيدروليكي ضعيف جدًا، وليس لها القدرة على تخزين المياه الجوفية، وأيضًا تُعد الطبقات الطينية طبقات تعطيل لا تسمح بمرور كميات كبيرة من المياه الجوفية إلى آبار المياه الجوفية؛ إذ تُعد تلك الآبار ضعيفة الإنتاجية.
3-تظهر الصخور البازلتية المتشققة في المناطق الشمالية الشرقية لمدينة إب، والمناطق الجنوبية الشرقية للمدينة، وتختفي في أسفل المنحدرات الجبلية لجبل بعدان كما هو حاصل في المنطقة التي يقع فيها بئر المسلخ رقم (22).	الخواص الهيدرولوجية (تخزين وحركة المياه الجوفية) جيدة للصخور البازلتية المتشققة؛ لأنها عالية النفاذية، وبذلك تُعد المناطق الشمالية الشرقية والمناطق الجنوبية الشرقية لمدينة إب خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية عالية؛ نتيجة لوجود الفوالق الاعتيادية فيها.
4-زيادة سمك الصخور البازلتية المصمتة في المناطق الشمالية الشرقية وفي المناطق الشرقية، القريبة من المنحدرات الجبلية لجبل بعدان.	ضعف خواص الهيدرولوجية للصخور البازلتية المصمتة؛ لكونها معدومة النفاذية، وهي تُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية ضعيفة.
5-بشكل عام تباين سمك الصخور البركانية البازلتية (المصمتة والمتشققة) في المقطع (SE-NE)، مع بروز سمك الصخور البازلتية المصمتة.	يعمل على الحد من جودة خصائصها الهيدروجيولوجية، التي تُساعد على تخزين ونقل المياه الجوفية إلى داخل آبار المياه الجوفية.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على نتائج الجدول (2)، والشكل (6).

3.2.تحليل الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (NNW–NE):

الشكل (7) أدناه؛ خاص بمخطط المضاهاة الصخرية لكل من قطاعات الحفر لثلاثة آبار، الممتدة من شمال الشمال الغربي (NNW) إلى الشمال الشرقي (NE) لمدينة إب، وهي: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الأشغال رقم (33)، وبئر الشعاب رقم (17)، ويتراوح أعماقها ما بين (300–353) متر (الشجاع، 2005، ص 4).

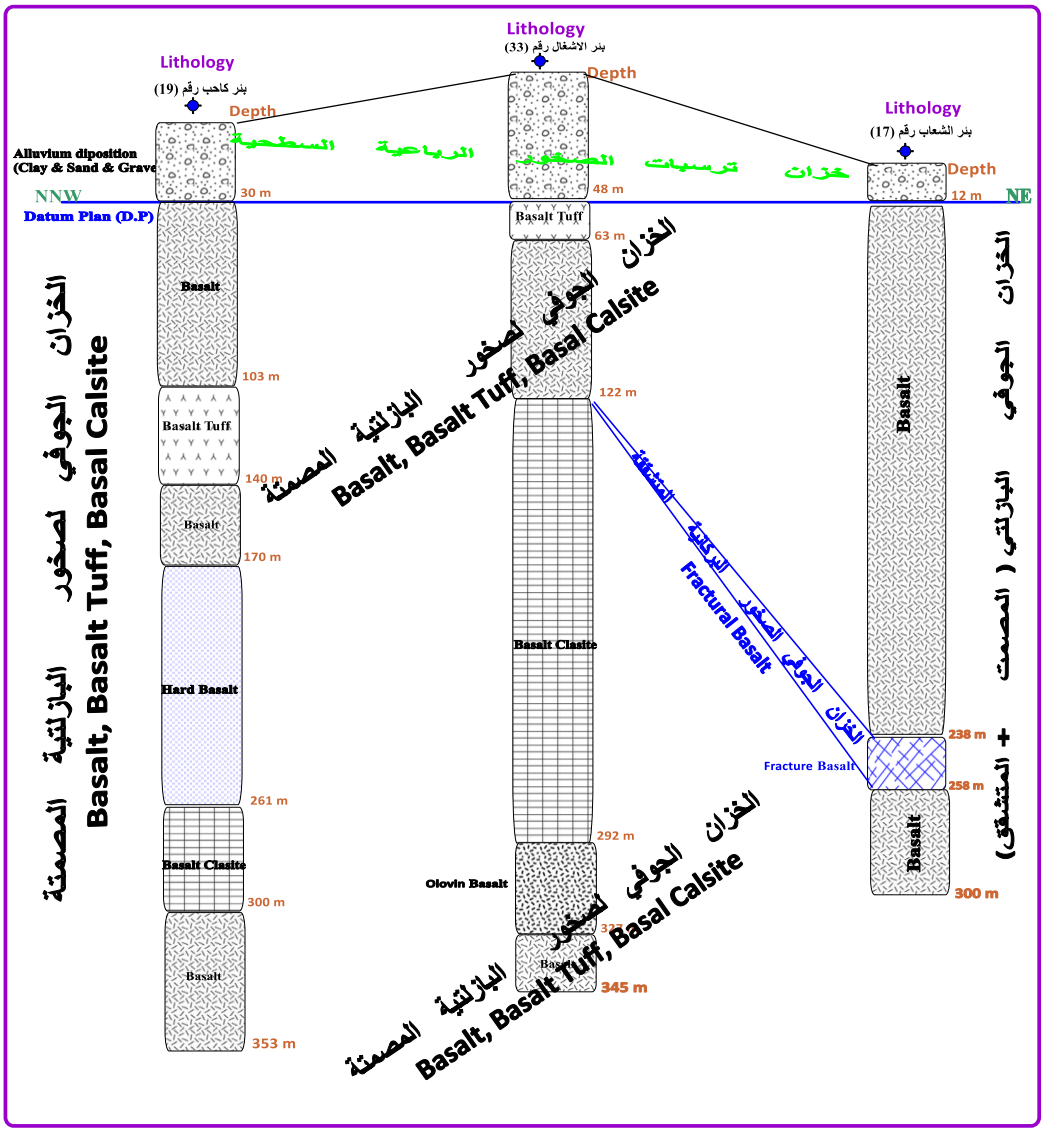
3.2.1.تحليل الخصائص الليثولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (NNW–NE):

يتضح من خلال مخطط سجلات مضاهاة التتابع الصخري لقطاعات الحفر للآبار الممتدة باتجاه (NNW–NE)، وجود نفس البيئات الهيدروجيولوجية التي توجد في المقطع الأول (SE–NE) (بيئة الأحواض المكونة من التكوينات الرسوبية الرباعية الحديثة، وبيئة الأحواض الجوفية)؛ إذ لوحظ زيادة سمك الرواسب غير المتماسكة في المنطقة الواقع فيها بئر الأشغال رقم (33) بالقرب من صلبة السيدة أروى؛ إذ بلغ أكبر سمك لتلك الرواسب فيه بحدود (48) مترًا، وهو ما يُعادل (53.4%) من إجمالي السمك الكلي للترسبات الرباعية المتماسكة في المقطع (NE–NNW)، كما هو موضح في الشكل (9–1)، والجدول (4) أدناه، فضلًا عن تباين سمك طبقات الصخور البركانية البازلتية (المصمتة والمتشققة) في كل من: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الأشغال رقم (33)، وبئر الشعاب رقم (17)؛ إذ بلغ السمك الكلي للطبقات الصخرية البازلتية فيها حوالي (300, 345, 353) مترًا على التوالي؛ أي: إن أكبر سمك لطبقات الخزان المائي الجوفي البازلتي المصمت والمتشقق لوحظ في الجهة الشمالية الشمالية الغربية (NNW) لمدينة إب، في المنطقة التي يقع فيها بئر كاحب رقم (19) بلغ سمكه حوالي (353) مترًا؛ أي: ما نسبته (35.4%) من إجمالي السمك الكلي للصخور البركانية، بينما لوحظ أقل سمك للصخور البركانية البازلتية المصمتة والمتشققة في المنطقة الشمالية الشرقية (NE) لمدينة إب؛ إذ بلغ حوالي (300) متر ما نسبته (30%)، مع اختفاء الصخور البازلتية المتشققة في بئر كاحب رقم (19)، وبئر الأشغال رقم (33).

الجدول (4): التباين العددي والنسبي لسمك الطبقات الصخرية لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في المقطع (NE–NNW) في مدينة إب.

وجهة المقارنة	بئر كاحب رقم (19)	بئر الأشغال رقم (33)	بئر الشعاب رقم (17)	السمك الكلي (م)/النسبة%
سمك الترسبات الطينية (م)	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
سمك ترسبات الحصى والرمل والطين (م)	**30**	**48**	**12**	**90**
السمك الكلي للترسبات الرباعية (م)	**30**	**48**	**12**	**90**
النسبة %	**%33.3**	**%53.4**	**%13.3**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المصمتة) (م)	**323**	**297**	**268**	**888**
النسبة %	**%36.4**	**%33.4**	**%30.2**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المتشققة) (م)	**0.0**	**0.0**	**20**	**20**
النسبة %	**%0.0**	**%0.0**	**%100**	**%100**
السمك الكلي للصخور (المصمتة+المتشققة) (م)	**353**	**345**	**300**	**998**
النسبة %	**%35.4**	**%34.6**	**%30**	**%100**
عمق البئر (م)	**353**	**345**	**300**	**-**

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الشكل (7).



الشكل (7): مخطط لسجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية الممتدة في القطاع باتجاه (NE–NNW).

المصدر: الباحثان اعتمادًا على (الشجاع، 2005، ص 15–20)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

3.2.2.استخلاص المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (NE–NNW):

من خلال التحليل والتفسير لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في المقطع (NE–NNW)، الشكل (7) السابق؛ تم التوصل إلى أهم الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لتلك الآبار، وأهم مدلولاتها الهيدرولوجيولوجية، التي يمكن تلخيصها كما هو مبين في الجدول (5) أدناه:

الجدول (5): المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار الممتدة باتجاه (NE–NNW) في مدينة إب.

الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (NE-NNW)	المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (NE-NNW)
1-زيادة سمك الرواسب غير المتماسكة في المناطق الشمالية لمدينة إب.	**معامل التوصيل الهيدروليكي للترسبات غير المتماسكة قوي جدًا، ولها القدرة العالية على تخزين المياه الجوفية، وعلى نقل وإمرار المياه الجوفية في الآبار؛ وبذلك تُعد الترسبات غير المتماسكة في المقطع (NNW-NE) ذات إنتاجيته قوية.**
2-زيادة سمك الطبقات البركانية البازلتية المصمتة بشكل تدريجي من الشمال الشرقي (NE) إلى شمال الشمال الغربي (NNW) لمدينة إب مع اختفاء الصخور البازلتية المتشققة.	**وهو ما يُشير إلى ضعف خواص الهيدرولوجية للصخور البازلتية المصمتة في الآبار الواقعة في المناطق الشمالية الشرقية، ومناطق شمال الشمال الغربي لمدينة إب؛ إلا أنها تُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية ضعيفة جدًا.**

المصدر: الباحثان اعتمادًا على نتائج الجدول (4)، والشكل (7).

3.3.تحليل الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NNW) في مدينة إب:

الشكل (8) يوضح مخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات الحفر لثلاثة آبار ممتدة من شمال الشمال الغربي (NNW) إلى الجنوب الشرقي (SE) لمدينة إب، وهي: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11)، وأعماقها (353، 274، 333) مترًا على التوالي (الشجاع، 2004، ص 5).

3.3.1.تحليل الخصائص الليثولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NNW) في مدينة إب:

يظهر مخطط المضاهاة الصخرية للآبار الممتدة في المقطع (SE–NNW) في منطقة الدراسة وجود أحواض هيدروجيولوجية: الأول حوض الترسبات الرباعية الحديثة، الذي يزداد سمكه بشكل تدريجي أبتداءً من شمال الشمال الغربي لمدينة إب من منطقة بئر كاحب رقم (19)، بسمك (30) مترًا، وهو ما يشكل (19%) من إجمالي سمك حوض الترسبات الرباعية الحديثة، يليه سمك بئر الاستاد الرياضي رقم (16) وسط مدينة إب (وادي صلبة السيدة أروى) (52) مترًا، ما نسبته (33%)، وأخيرًا ظهر أكبر سمك للترسبات الرباعية الحديثة في المنطقة الجنوبية الشرقية لمدينة إب في المنطقة التي يقع فيها بئر المعشار رقم (11)؛ إذ بلغ (76) مترًا، ما نسبته (48%)، كما هو مبين في الجدول (1–8) أدناه؛ وهو ما يشير إلى زيادة عمق حوض الترسيب بشكل تدريجي من وسط مدينة إب (وادي صلبة السيدة أروى) إلى الجنوب الشرقي لمدينة إب؛ نتيجة لظهور الترسبات الطينية بسمك كلي بحدود (34) مترًا، في كل من: بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11)، بحوالي سمك للبئرين (24) مترًا، و(10) أمتار على التوالي.

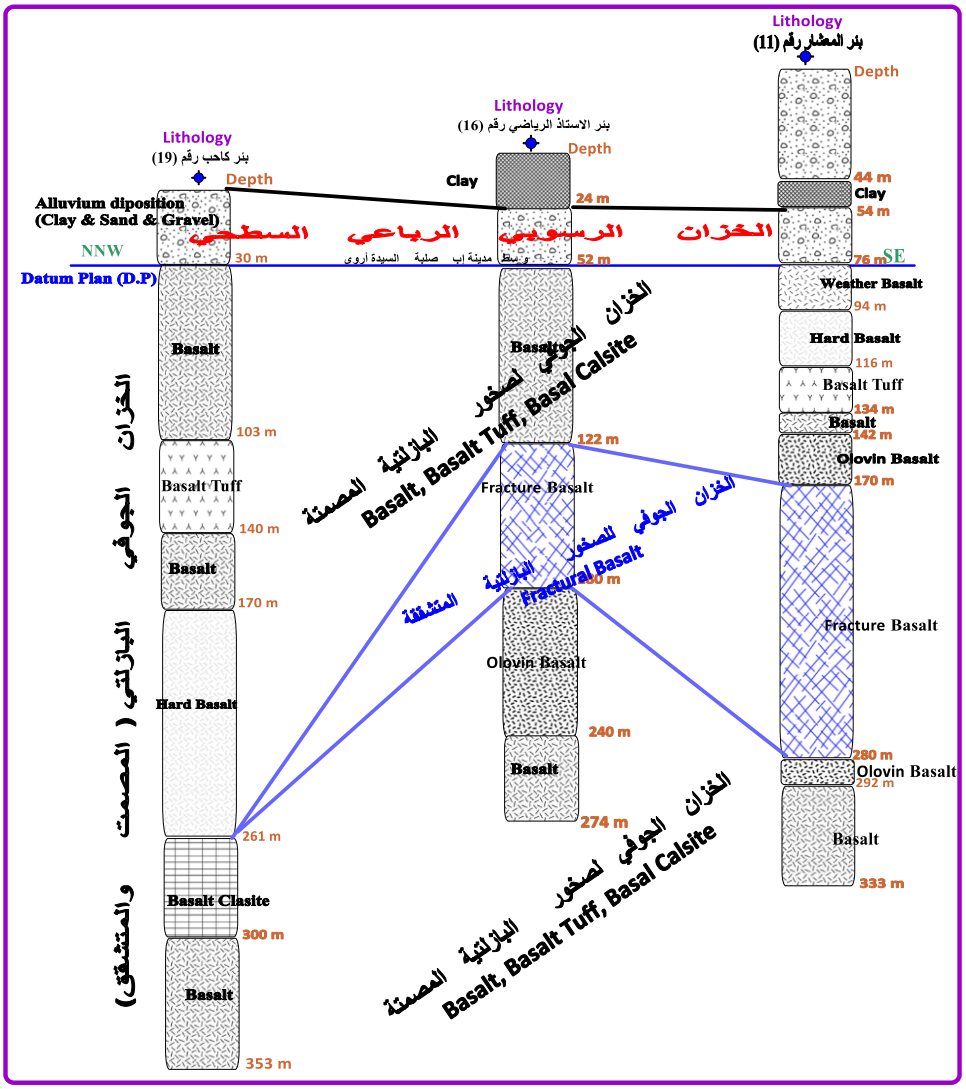
الجدول (6): التباين العددي والنسبي لسمك الطبقات الصخرية لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار الممتدة باتجاه (SE–NNW) في مدينة إب.

وجهة المقارنة	بئر كاحب رقم (19)	بئر الاستاد الرياضي رقم (16)	بئر المعشار رقم (11)	السمك الكلي (م)/النسبة%
سمك الترسبات الطينية (م)	**0.0**	**24**	**10**	**34**
سمك ترسبات الحصى والرمل والطين (م)	**30**	**28**	**66**	**124**
السمك الكلي للترسبات الرباعية (م)	**30**	**52**	**76**	**158**
النسبة %	**%19**	**%33**	**%48**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المصمتة) (م)	**323**	**164**	**147**	**634**
النسبة %	**%51**	**%26**	**%23**	**%100**
سمك الصخور البازلتية (المتشققة) (م)	**0.0**	**58**	**110**	**168**
النسبة %	**%0.0**	**%35**	**%65**	**%100**
السمك الكلي للصخور (المصمتة+المتشققة) (م)	**353**	**222**	**257**	**832**
النسبة %	**%42**	**%27**	**%31**	**%100**
عمق البئر (م)	**353**	**274**	**333**	**-**

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الشكل (8).

ومن الأحواض الهيدروجيولوجية التي تم رصدها في مضاهاة سجلات قطاعات الحفر للآبار الممتدة باتجاه (SE–NNW)، وكما هو موضح في الشكل (8) حوض الصخور البركانية الثلاثية (المصمتة والمتشققة)؛ إذ لوحظ تباين سمك وتركيب طبقات الصخور البازلتية (المصمتة والمتشققة) في كل من: بئر كاحب رقم (19)، وبئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11) بحوالي (257,222,353) مترًا على التوالي؛ أي إن أكبر سمك للطبقات البركانية البازلتية (المصمتة والمتشققة) بلغ حوالي (353) مترًا في الجهة الشمالية الغربية لمدينة إب في المنطقة التي يقع بئر كاحب رقم (19)؛ إذ يُعادل ما نسبته (42%) من إجمالي السمك الكلي للطبقات البركانية (المصمتة والمتشققة)، بينما أقل سمك للطبقات البركانية (المصمتة والمتشققة)؛ فقد لوحظ في المنطقة الوسطى لمدينة إب، التي تعرف بمنطقة صلبة السيدة أروى التي يقع بئر الاستاد الرياضي رقم (16) فيها؛ إذ بلغ حوالي (222) مترًا ما نسبته (27%)، وتجدر الإشارة إلى أن الصخور البركانية البازلتية المتشققة في المقطع (SE–NNW) تزداد بشكل تدريجي من وسط مدينة إب (منطقة صلبة السيدة أروى) إلى الجنوب الشرقي لمدينة إب للمنطقة التي يقع فيها بئر المعشار رقم (11)؛ إذ بلغ سمك الصخور البازلتية المتشققة في بئر الاستاد الرياضي رقم (16) (58) مترًا، ما نسبته (35%)، وفي بئر المعشار رقم (11) (110) أمتار، ما نسبته

(65%) من إجمالي السمك الكلي للصخور المتشققة في المقطع (SE–NNW)؛ ويُعزى سبب تكون الصخور البركانية المتشققة إلى وجود فالق اعتيادي، يمتد من الجزء السفلي لوادي صلبة السيدة وسط مدينة إب، حتى وادي سائلة السبل قحزة شمال غرب مدينة إب.



الشكل (8): مخطط لسجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار الممتدة باتجاه (SE–NNW) في مدينة إب.

المصدر: الباحثان على (الشجاع، 2005، ص 15–20)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

3.3.2. استخلاص المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية للمقطع (SE–NNW) في مدينة إب:

من خلال التحليل والتفسير لمخطط سجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية في المقطع (SE–NNW)، الموضح في الشكل (8) السابق؛ تم التوصل إلى أهم الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لتلك الآبار، وأهم مدلولاتها الهيدرولوجيولوجية، التي يمكن تلخيصها كما هو مبين في الجدول (7) أدناه:

الجدول (7): المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر الآبار الممتدة باتجاه (SE–NNW) في مدينة إب.

الخصائص الليثولوجية والهيدروجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (SE-NNW)	المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجيولوجية لمخطط المضاهاة الصخرية (SE-NNW)
1-زيادة سمك الترسبات غير المتماسكة بشكل تدريجي من مناطق شمال الشمال الغربي إلى مناطق الجنوب الشرقي لمدينة إب.	وعليه؛ فإن معامل التوصيل الهيدروليكي للترسبات غير المتماسكة قوي جدًا، ولها القدرة العالية على تخزين المياه الجوفية، وعلى نقل وإمرار المياه الجوفية في آبار المياه الجوفية الممتدة من شمال الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي لمدينة إب.
2-ظهور الترسبات المتماسكة الطينية في كل من: وسط المدينة (الاستاد الرياضي بوادي صلبة السيدة أروى)، وفي الجنوب الشرقي لمدينة إب عند بئر المعشار رقم (11)؛ وهذا بدوره يُشير إلى زيادة عمق حوض الترسيب بشكل تدريجي وسط المدينة إلى الجنوب الشرقي للمدينة.	وعليه: فأن معامل توصيل هيدروليكي لخزان الترسبات الرباعية السطحية لكل من: بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11) ضعيف جدًا، وليس لها القدرة على تخزين المياه الجوفية بكميات اقتصادية؛ ومن ثم تُعد إنتاجيتها ضعيفة.
3- زيادة سمك الطبقات البركانية البازلتية المصمتة والمتشققة من مناطق شمال الشمال الغربي إلى مناطق الجنوب الشرقي لمدينة إب.	وهو ما يُشير إلى ضعف خواص الهيدرولوجية للصخور البازلتية المصمتة في كل من: بئر كاحب رقم (19)، وفي كل من بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11)؛ ولكنها تُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية متوسطة؛ نتيجة لوجود فالق اعتيادي، الذي يمتد من الجزء السفلي لوادي صلبة السيدة حتى وادي سائلة السبل قحزة شمال غرب مدينة إب.
4-تزداد الصخور البركانية البازلتية المتشققة في المقطع (SE-NNW) بشكل تدريجي، من وسط مدينة إب (منطقة صلبة السيدة أروى) إلى الجنوب الشرقي لمدينة إب.	وعليه: فإن الخواص الهيدرولوجية لخزان الصخور البازلتية المتشققة جيدة ؛ لأنها عالية النفاذية، وبذلك تُعد المناطق الواقعة في وسط مدينة إب (منطقة صلبة السيدة أروى)، والمناطق الممتدة في الجهة الجنوبية الشرقية لمدينة إب خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية عالية؛ نتيجة لوجود الفوالق الاعتيادية فيها.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على نتائج الجدول (6)، والشكل (8).

4.أنواع وخصائص المكامن الحاملة للمياه الجوفية في مدينة إب:

إن اختلاف الطبيعة الجيولوجية والتركيبية، والوضع الطبوغرافي، وتضاريس الوديان الموسمية ضمن مدينة إب؛ أدى إلى اختلاف المكامن الحاملة للمياه الجوفية (خزانات المياه الجوفية)، فضلًا عن أن أنظمة الخزانات الجوفية في مناطق الوديان، لا تعمل كخزان جوفي منفرد غير محصور؛ بل تتصرف كأنظمة خزانات طبقية من طبقتين أو ثلاث طبقات، لكل طبقة خصائص هيدروليكية مميزة لها، وتشير تقارير المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب إلى أن الخزان الجوفي للمياه الجوفية في مدينة إب غير متجانس أو منتشر على نطاق واسع؛ بل هو عبارة عن طبقة مياه جوفية مقسمة إلى نطاقات محددة؛ بسبب التراكيب الجيولوجية في مدينة إب متأثرة بشكل رئيس بالصدوع والفوالق والقواطع الصخرية (المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب، 2021، ص 11).

4.1.أنواع خزانات المياه الجوفية في مدينة إب:

يُعد الخزان المائي الجوفي في الحوض المائي لمدينة إب المصدر الرئيس للمياه الجوفية، التي تستخدم لسد الاحتياجات المختلفة للسكان من الاستخدامات المنزلية، والزراعية، والصناعية)؛ إذ يتكون من ثلاثة خزانات جوفية هي:

أولًا: الخزان الجوفي الرسوبي السطحي الرباعي (خزان الترسبات المتماسكة وغير المتماسكة) (خزان غير محصور):

يطلق على الخزان الجوفي السطحي في مدينة إب بخزان الصخور السطحية الرباعية، المكون بالشكل الرئيس من رواسب الوديان الموسمية، التابعة للعصر الرباعي الحديث، وهي مكونة من طبقتين رسوبيتين: **أولًا** طبقة رسوبية غير متماسكة، وهي عبارة عن خليط من الحبيبات الخشنة للطين، والحصى، والرمال، التي توجد في معظم التتابعات الصخرية لقطاعات حفر الآبار قيد الدراسة، **ثانيًا** طبقة رسوبية متماسكة، وهي عبارة عن ترسبات طينية، توجد في بعض التتابعات الصخرية لقطاعات حفر الآبار بمنطقة الدراسة، وتنعدم في تتابعات قطاعات حفر آبار أخرى، ووفقًا لدراسة (الشجاع، 2005)، يتراوح منسوب المياه في الخزان الرسوبي السطحي في مدينة إب ما بين (15–30) مترًا، تبعًا لطبوغرافية المنطقة ومناطق الترسيب في الوديان، واستنادًا إلى نتائج حفر الآبار عام (2004م)؛ تبين أن إنتاجية الخزان السطحي تختلف من منطقة إلى أخرى ومن بئر إلى آخر؛ إذ تتراوح إنتاجية الماء في بعض الآبار ما بين (6–7 لتر/ثانية)، علاوةً على أن جودة ونوعية المياه جيدة؛ لانخفاض نسبة الملوحة التي تتراوح ما بين (500–600 ميكروموز/سم)، بينما يتراوح الأس الهيدرولوجي مابين (7.4–7.8) بناءً على القياسات الحقلية عام (2004م)، ويُعد الخزان الرسوبي السطحي من أفضل الخزانات المائية؛ لاحتوائه على كميات عالية من المياه (الشجاع، 2005، ص 4).

وتجدر الإشارة إلى أن المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب أوقفت سحب وشفط المياه من الخزان الرسوبي السطحي خاصة من الآبار الواقعة بالقرب من الوديان الموسمية في بعض مناطق مدينة إب، التي تصب فيها مياه الصرف الصحي؛ نتيجة لتلوثها، وفي الوقت الراهن تزود المؤسسة سكان مدينة إب بالمياه الصالحة للشرب عبر شبكات توزيع مياه الشرب التابعة لها من خلال إنتاج المياه من الخزان الجوفي البازلتي؛ وعليه: حاليًا لا يُستفاد من مياه الخزان الرسوبي السطحي في الشرب.

ثانيًا: الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية المصمتة (خزان محصور إلى شبه محصور).

ثالثًا: الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية المتشققة (خزان محصور إلى شبه محصور).

4.3.النظام الهيدروليكي في خزانات المياه الجوفية في مدينة إب:

نتيجة للترابط الهيدروليكي الحاصل بين الوديان الموسمية في مدينة إب، خاصة الترابط الهيدروليكي بين وادي سائلة السبل–قحزة غرب مدينة إب، ووادي صلبة السيدة، ووادي سائلة ميتم؛ يحدث الاتصال الهيدروليكي بين الثلاثة الخزانات الجوفية السابقة الذكر؛ إذ تعمل تلك الخزانات الجوفية في الوديان الموسمية المتواجدة في مدينة إب بنمط استمرارية هيدروليكية ومتصلة عبر ثلاثة أنظمة هيدروليكية هي (المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب، 2021، ص 10):

1–نظام هيدروليكي رأسي: توصيل المياه وتدفقها رأسيًا عبر طبقات الرسوبيات الرباعية الحديثة غير المتماسكة وطبقات الطين المتماسكة والطبقات التي تقع أسفلها طبقات البركانيات؛ بفعل ثقل وسمك الطبقة المشبعة بالمياه.

2–نظام هيدروليكي أفقي: توصيل المياه وتدفقها أفقيًا عبر كل من الترسبات الرباعية الحديثة للوديان الموسمية في مدينة إب والنفاذية الأولية والثانوية للصخور البركانية الثلاثية الناتجة من الفوالق والصدوع والفواصل والشقوق.

3–نظام هيدروليكي أفقي: توصيل المياه وتدفقها أفقيًا عبر السلاسل الجبلية المحيطة بمدينة إب المكونة من صخور البراكين الثلاثية والوديان المحفورة في صخور البازلت بشكل رئيس من خلال الفوالق والصدوع والفواصل والشقوق؛ وهذا التوصيل الأفقي يوفر تغذية إضافية لأنظمة الخزان الجوفي في الوديان الموسمية في مدينة إب.

5.تصميم المخطط الهيدروجيولوجي لخزانات الترسبات السطحية والجوفية البركانية في مدينة إب:

تم تصميم المخطط الهيدروجيولوجي للمكامن المائية السطحية والجوفية لمدينة إب، الموضح في الشكل (9) أدناه، اعتمادًا على مخططات سجلات المضاهاة الصخرية لقطاعات حفر آبار المياه الجوفية الموضحة في كل من الأشكال (7, 8, 6)، السابقة، فضلًا عن النتائج المستخلصة من تحليلها وتفسيرها، وتحديد أنواع المكامن المائية، وأبعادها السمكية والمكانية، وأيضًا تحديد الخصائص (الهيدرولوجية والهيدروليكية) لتلك المكامن.

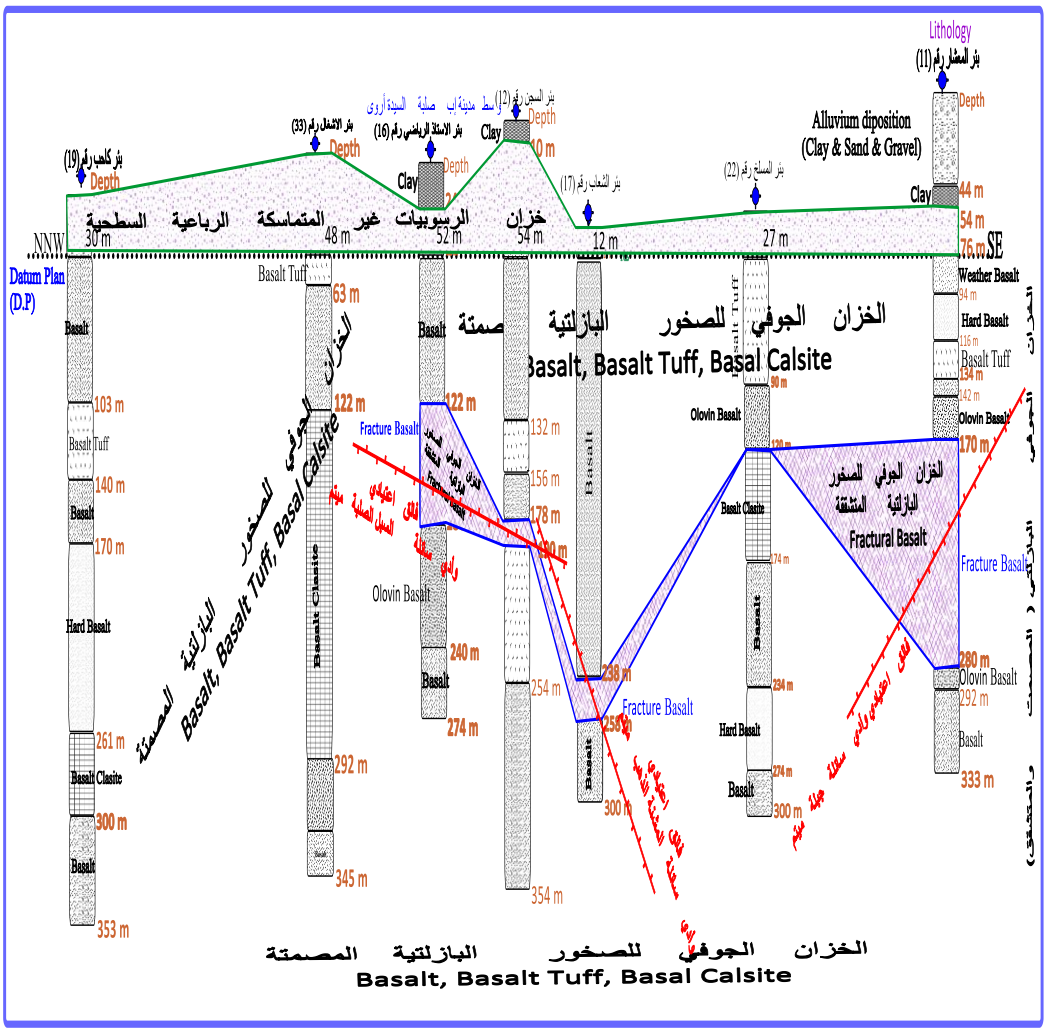
وفي ضوء الشكل (9) أدناه؛ تم تحليل وتفسير خصائص الخزانات المائية السطحية والجوفية للخزان الرئيس والكلي لمدينة إب، المكون من الخزانات الآتية:

أولًا: الخزان الجوفي الرسوبي السطحي الرباعي (خزان الترسبات غير المتماسكة) (خزان غير محصور):

ثانيًا: الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية البازلتية المصمتة (خزان محصور إلى شبه محصور).

ثالثًـــا: الخــزان المــائي الجــوفي للصــخور شبه محصور).

البركانيـة البازلتيـة المتشـققة (خـزان محصـور إلـى



الشكل (9): المخطط الهيدروجيولوجي لخزانات الترسبات السطحية وللخزانات الجوفية البركانية البازلتية (المصمتة والمتشققة) في مدينة إب.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الجداول (2 & 4 & 6) والأشكال (6 & 7 & 8)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

5.1.1.تحليـل أبعـاد الخـزان الرسـوبي السطحي الرباعي غير المتماسك في مدينـة إب:

5.1.تحليـــل الأبعـــاد والخصـــائص الهيدرولوجيـــة والهيدروليكيـــة للخـــزان الرسوبي السطحي الرباعي غير المتماسك في مدينة إب:

من خلال الشكل (9) السابق، تم استخلاص الأبعاد السمكية والمكانية للخزان المائي الرسوبي

السطحي (خزان الترسبات غير المتماسكة) في مدينة إب، الموضحة في الجدول (8).

الجدول (8): التباين العددي والنسبي لسمك الخزان الرسوبي غير المتماسك الرباعي في قطاعات حفر آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

البئر	سمك خزان الترسبات غير المتماسكة الرباعية الحديثة (م)	النسبة%
بئر كاحب رقم (19)	30	%14.2
بئر الاستاد الرياض رقم (16)	28	%13.3
بئر الأشغال رقم (33)	48	%22.7
بئر السجن رقم (12)	44	%20.9
بئر المعشار رقم (11)	22	%10.4
بئر الشعاب رقم (17)	12	%5.7
بئر المسلخ رقم (22)	27	%12.8
السمك الكلي للخزان (م)	211	%100

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الجداول (2 & 4 & 6)، وعلى الشكل (9).

وعبر التحليل والتفسير للجدول (8) السابق؛ لوحظ التباين العددي والنسبي لسمك الخزان الجوفي الرسوبي (خزان الترسبات غير المتماسكة)؛ إذ يتراوح ما بين (12–48) مترًا في منطقة الدراسة، تبعًا لطبوغرافية المنطقة، ومناطق الترسيب في الأودية؛ إذ لوحظ أن أكبر سمك للخزان الجوفي الرسوبي كان في بئر الأشغال رقم (33)؛ إذ بلغ حوالي (48) مترًا، مشكل ما نسبته (22.7%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الرسوبي (خزان الترسبات غير المتماسكة) في منطقة الدراسة، البالغ حوالي (211) مترًا، بينما بلغ أقل سمك للخزان الرسوبي حوالي (12) مترًا، ما نسبته (5.7%)، في بئر الشعاب رقم (17) الواقع في الشمال الشرقي لمدينة إب.

5.1.2.تحليل الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزان الرسوبي السطحي الرباعي غير المتماسك في مدينة إب:

وعبر التحليل والتفسير للجدول (8)، والشكل (9) السابقين؛ تم استخلاص أهم الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزان المائي الرسوبي السطحي في مدينة إب، وهي:

1–تُعد التكوينات الرسوبية الرباعية غير المتماسكة (الحصى، الرمل، الطين) الخزان المائي الجوفي الرسوبي السطحي لمدينة إب؛ أي: إنها ذات معامل توصيل هيدروليكي كبير؛ وبذلك لها القدرة العالية على تخزين المياه الجوفية فيها؛ وهيدرولوجيًا تُعد طبقة الترسبات غير المتماسكة بوصفها كطبقة احتواء، فضلًا عن قدرتها الكافية على نقل وإمرار المياه الجوفية؛ وبذلك تُعد الطبقة

الرسوبية غير المتماسكة طبقة إنتاج،؛ نتيجة لنفاذيتها ومساميتها العاليتين.

2-هيدرولوجيًا؛ تُعد التكوينات الرسوبية الرباعية المتماسكة، (الترسبات الطينية) ذات معامل توصيل هيدروليكي ضعيف؛ لأن لها قدرة ضعيفة على تخزين المياه الجوفية فيها؛ وبذلك تُعد طبقة احتواء، ولكن ليس لها القدرة الكافية على نقل وإمرار المياه الجوفية؛ ولهذا لا تُعد طبقة الرسوبيات الطينية المتماسكة طبقة إنتاج.

5.1.3.المـــــدلولات والمؤشـــــرات الهيدروجيولوجية للخزان الرسوبي السطحي الرباعي في مدينة إب:

في ضوء التحليل والتفسير للشكل (9) السابق؛ تم استخلاص أهم المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية الخزان المائي الرسوبي السطحي في مدينة إب، وهي:

1-هيدروجيولوجيًا؛ زيادة سمك الخزان المائي الرسوبي السطحي بشكل تدريجي من وسط مدينة إب (صلبة السيدة أروى)، خاصة في قطاع حفر بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، إلى المناطق الشرقية كما هو في قطاع حفر بئر السجن رقم (12)، وأيضًا مناطق الجنوب الشرقي لمدينة إب، وهو ما يُشير إلى زيادة عمق حوض الترسيب بشكل تدريجي من وسط مدينة إب (صلبة السيدة أروى) إلى المناطق الجنوبية الشرقية لمدينة إب، خاصة في قطاع حفر بئر المعشار رقم (11) (وادي سائلة جبلة ميتم).

2-هيدروجيولوجيًا؛ ظهور الترسبات الطينية في وادي صلبة السيدة أروى وسط مدينة إب، وكذلك في مناطق الجنوب الشرقي للمدينة، وانعدامها في المناطق الشرقية والشمالية الغربية لمدينة إب، يُعزى ذلك إلى حركة مياه الأمطار والسيول الموسمية من سفوح منحدرات جبل بعدان في الشرق، وأيضًا من السلسلة الجبلية في الجزء الشمال الغربي لمدينة إب باتجاه وسط المدينة، ومن ثم باتجاه الجنوب الشرقي للمدينة.

3-هيدروجيولوجيًا؛ تُعد آبار المياه الجوفية في مدينة إب، التي تحتوي في قطاعات حفرها على الترسبات الرباعية الحديثة (الرواسب غير المتماسكة من الحصى، والرمل، والطين)، تكون ذات كفاية عالية من حيث الإنتاجية.

5.2.تحليل أبعاد وخصائص الخزان الجوفي البركاني البازلتي الكلي في مدينة إب:

من خلال الشكل (9) السابق؛ تبين أن الخزان المائي الجوفي البازلتي الكلي مكون من خزانين مائيين هما: الخزان الأول الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية (صخور بازلتية مصمتة)، بينما الخزان الثاني الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية المتشققة، ومن أمثال المناطق التي تتواجد فيها النوعان من الخزانات الجوفية (المصمتة والمتشققة) منطقة وسط مدينة إب، كما هو حاصل في بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر المعشار رقم (11) في الجنوب الشرقي للمدينة (وادي سائلة جبلة ميتم)، في حين أن

بعض قطاعات حفر الآبار أظهرت أن الخزان المائي الجوفي الكلي مكون من خزان جوفي واحد فقط هو الخزان المائي الجوفي لصخور المتداخلات البركانية (صخور بازلتية مصمتة)، كما هو حاصل في قطاع حفر بئر كاحب رقم (19) شمال شمال غرب مدينة إب، وقطاع حفر بئر الأشغال رقم (33) شمال شرق مدينة إب.

5.2.1.أبعاد الطبقات المائية للخزان الجوفي البازلتي الكلي في مدينة إب:

يتكون الخزان الجوفي البازلتي الكلي في مدينة إب من الطبقات المائية الآتية:

1-الطبقات المائية في الصخور البركانية المتشققة، تُشكل خزانًا مائيًا جوفيًا صغير الحجم والامتداد، ومن خلال تحليل وتفسير الجدول (9) أدناه؛ لوحظ تباين سمك الخزان الجوفي البركاني البازلتي المتشقق في آبار المياه الجوفية في مدينة إب وفقًا لمخططات سجلات المضاهاة الصخرية التي تم مناقشتها وتحليها سابقًا؛ إذ تراوح سمكه ما بين (0.0-110) مترًا في جميع الآبار المدروسة، وتراوح سمكه ما بين (12-110) أمتار فقط في الآبار التي تتواجد فيها الصخور البازلتية المتشققة، ولا يتواجد هذا الخزان البازلتي المتشقق في مناطق شمال الشمال الغربي لمدينة إب، كما هو حاصل التتابع الصخري لقطاع حفر بئر كاحب رقم (19)، وكذلك لا يوجد هذا الخزان البازلتي المتشقق في المناطق التي تقع أسفل منحدرات جبل بعدان كما هو حاصل في موقع بئر المسلخ رقم (22)؛ أي: المناطق التي لا توجد فيها الفوالق الاعتيادية، بينما بلغ أكبر سمك للخزان البازلتي المتشقق في الجنوب الشرقي لمدينة إب خاصة في قطاع حفر بئر المعشار رقم (11)؛ إذ بلغ سمكه حوالي (110) أمتار؛ وهو ما يُعادل (55%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي للصخور البازلتية المتشققة في منطقة الدراسة.

2-الطبقات المائية في الصخور البركانية البازلتية المصمتة، تُشكل خزانًا مائيًا جوفيًا كبيرًا وواسع الامتداد في مدينة إب، ولوحظ تباين سمك الخزان البازلتي المصمت في قطاعات حفر آبار المياه الجوفية المدروسة؛ إذ تراوح سمكه ما بين (147-323) مترًا، وبلغ أكبر سمك للخزان الجوفي البازلتي المصمت في المناطق الشمالية الشمالية الغربية لمدينة إب خاصة في قطاع حفر بئر كاحب رقم (19)؛ إذ بلغ حوالي (323) مترًا، ما نسبته (18.8%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي المصمت في منطقة الدراسة، كما هو مبين في الجدول (9)، بينما بلغ أقل سمك لهذا الخزان في مناطق الجنوب الشرقي لمدينة إب القريبة من بئر المعشار رقم (11)؛ إذ بلغ سمك الخزان المصمت (147) مترًا، ما نسبته (8.6%).

الجدول (9): تباين العددي والنسبي لسمك الخزان الجوفي الكلي (البازلتي المصمت والمتشقق) في قطاعات حفر آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

البئر	الخزان المائي الجوفي لصخور البازلتية المصمتة Basalt, Basalt) (Tuff, Basal Calsite		الخزان المائي الجوفي للصخور البازلتية المتشققة (Fractural Basalt)		السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي (المتشقق والمصمت) (م)	النسبة %
	السمك (م)	النسبة %	السمك (م)	النسبة %		
بئر كاحب رقم (19)	323	%18.8	0.0	%0.0	323	%16.9
بئر الاستاد الرياض رقم (16)	164	%9.4	58	%29	222	%11.6
بئر الأشغال رقم (33)	297	%17.3	0.0	%0.0	297	%15.5
بئر السجن رقم (12)	288	%16.8	12	%6	300	%15.6
بئر المعشار رقم (11)	147	%8.6	110	%55	257	%13.4
بئر الشعاب رقم (17)	226	%13.2	20	%10	246	%12.8
بئر المسلخ رقم (22)	273	%15.9	0.0	%0.0	273	%14.2
السمك الكلي	1718	%100	200	%100	1918	%100

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الشكل (9).

5.2.2.الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزان الجوفي البازلتي الكلي في مدينة إب:

عبر التحليل والتفسير للجدول (9)، والشكل (9) السابقان؛ تم استخلاص أهم الخصائص الهيدرولوجية والهيدروليكية للخزان المائي الجوفي الكلي في مدينة إب، وهي:

1-هيدرولوجيًا؛ تُشكل الطبقات المائية في الصخور البركانية المتشققة خزانًا مائيًا جوفيًا صغير الحجم والامتداد، ويتميز بقوة خواصه الهيدرولوجية (تخزين وحركة المياه الجوفية)، وأنه ذو إنتاجية عالية؛ نتيجة لوجود الصخور البازلتية المتشققة.

2-هيدرولوجيًا؛ تُشكل الطبقات المائية في الصخور البركانية البازلتية المصمتة (صخور التداخلات البركانية)، خزانًا مائيًا جوفيًا كبيرًا وواسع الامتداد، ويتميز بضعف خواصه الهيدرولوجية (تخزين وحركة المياه الجوفية)؛ ولكنه يُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية عالية؛ فقط في مناطق آبار المياه الجوفية، التي تحتوي قطاعات حفرها على الصخور البركانية المتشققة؛ المتكونة نتيجة لوجود الفوالق الاعتيادية، بينما يُعد خزانًا جوفيًا ذا إنتاجية ضعيفة؛ في مناطق آبار المياه الجوفية، التي يتكون تتابعها الصخري فقط من الصخور البازلتية المصمتة؛ أي: في المناطق، التي لا توجد فيها الفوالق الاعتيادية، كما هو حاصل في المناطق الشمالية الشمالية الغربية لمدينة إب في قطاع حفر بئر كاحب رقم (19).

5.2.3.استخلاص المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية للخزان الجوفي البركاني الثلاثي الكلي (المصمت والمتشقق) في مدينة إب:

تم استخلاص أهم المدلولات والمؤشرات الهيدروجيولوجية للخزانات الجوفية البركانية

الثلاثية (المصمتة والمتشققة) في مدينة إب الموضحة في الشكل (9):

1-هيدروجيولوجيًا؛ يُعد الخزان الجوفي البركاني البازلتي المصمت، ضعيفًا، أو محدود الإنتاجية؛ بسبب ضعف خواصه الهيدرولوجية، التي تُساعد على تخزين وحركة المياه الجوفية، وفي حالة وجود شقوق متصلة وصدوع بين الخزان الجوفي للصخور البركانية البازلتية المصمتة والخزان الرسوبي الرباعي غير المتماسك؛ فإن الخزان الجوفي البركاني البازلتي المصمت يُعد ذا إنتاجية عالية، وخواصه الهيدرولوجية جيدة؛ تُساعد على تخزين وحركة المياه الجوفية في ذلك الخزان.

2-هيدروجيولوجيًا؛ يُعد الخزان الجوفي البركاني البازلتي المتشقق، خزانًا قادرًا على تخزين وإعطاء المياه الجوفية، وهو أفضل من الخزان الجوفي للصخور البازلتية المصمتة؛ لأنه ذا إنتاجية عالية، وخواصه الهيدرولوجية جيدة؛ تُساعد على تخزين وحركة المياه الجوفية في الخزان البازلتي المتشقق.

6.تصميم المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزان الكلي (الرسوبي والبازلتي المصمت والمتشقق) لمنطقة الدراسة:

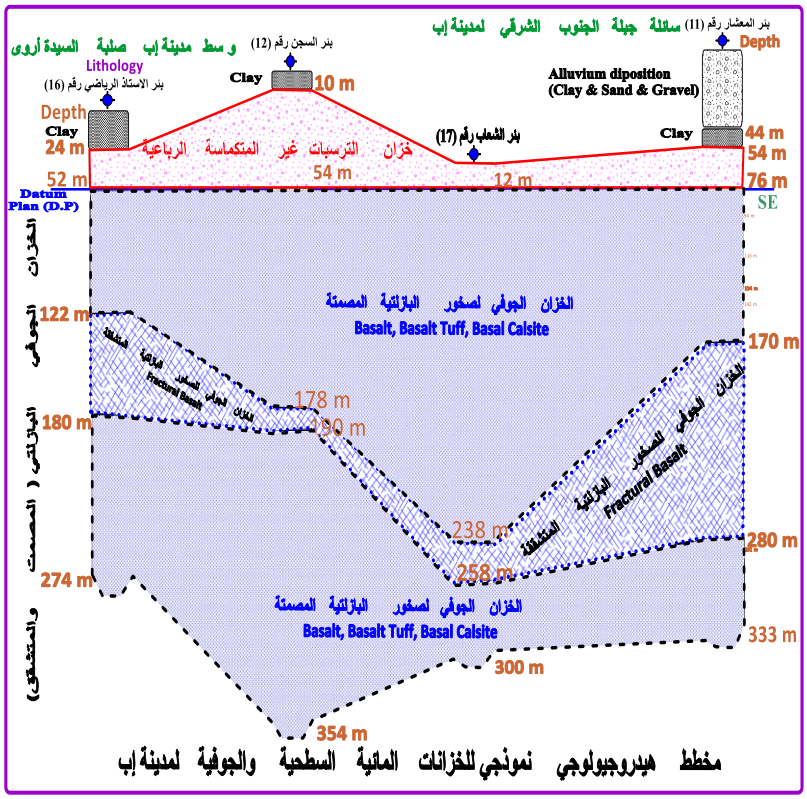
تم تصميم المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزان المائي الكلي (الرسوبي والبازلتي المصمت والمتشقق) لمنطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكل (10) أدناه؛ اعتمادًا على قطاعات حفر آبار المياه الجوفية قيد الدراسة، الموضحة في الأشكال السابقة (6, 7, 8, 9)، التي تشمل كلًا من قطاعات حفر الآبار الآتية: بئر الاستاد الرياضي رقم (16)، وبئر السجن رقم (12)، وبئر الشعاب رقم (17)، وأخيرًا بئر المعشار رقم (11)، وتظهر فيها التتابعات الطباقية للتكوينات الجيولوجية الصخرية، وكذلك التتابع والتسلسل المكاني للخزانات المائية الآتية:

-تظهر أولًا تكوينات الترسبات غير المتماسكة الرباعية الحديثة (الخزان المائي الرسوبي السطحي غير المتماسك).

-ثانيًا تظهر تكوينات الصخور البركانية البازلتية الثلاثية المصمتة (الخزان الجوفي البازلتي المصمت).

-ثالثًا تظهر تكوينات الصخور البركانية البازلتية الثلاثية المتشققة (الخزان الجوفي البازلتي المتشقق).

-وأخيرًا تكوينات الصخور البركانية البازلتية الثلاثية المصمتة (الخزان الجوفي البازلتي المصمت).



الشكل (10): المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزانات المائية السطحية والجوفية لمنطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الأشكال (6, 7, 8)، وباستخدام برنامج (Surfer 16.6).

6.1.أبعاد الخزان الكلي (الرسوبي والبازلتي المصمت والمتشقق) النموذجي لمنطقة الدراسة:

من خلال الشكل (10) السابق؛ تم إعداد الجدول (10) أدناه:

الجدول (10): التباين العددي والنسبي لسمك الخزانات المائية في المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي لمنطقة الدراسة.

البئر	سمك خزان الترسبات غير المتماسكة الرباعية (م)		الخزان المائي الجوفي لصخور البازلتية المصمتة Basalt, Basalt Tuff,) (Basal Calsite		الخزان المائي الجوفي للصخور البازلتية المتشققة (Fractural Basalt)		السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي (المتشقق والمصمت) (م)	النسبة %
	السمك (م)	النسبة	السمك (م)	النسبة %	السمك (م)	النسبة %		
بئر الاستاد الرياض رقم (16)	28	%30	164	%27	58	%32	222	%28
بئر السجن رقم (12)	44	%47	288	%48	12	%7	300	%39
بئر المعشار رقم (11)	22	%23	147	%25	110	%61	257	%33
السمك الكلي	94	%100	599	%100	180	%100	779	%100

المصدر: الباحثان اعتمادًا على الشكل (10).

وفي ضوء التحليل والتفسير للجدول (10) السابق؛ لوحظ ما يأتي:

1-أن أكبر سمك خزان الترسبات السطحية الرباعية غير المتماسكة في المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي لمنطقة الدراسة، يوجد في المناطق الشرقية القريبة من موقع بئر السجن رقم (12)؛ إذ بلغ سمكه حوالي (44) مترًا؛ أي: ما نسبته (47%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الرسوبي السطحي الرباعي في منطقة الدراسة البالغ حوالي (94) مترًا، بينما لوحظ أقل سمك لهذا الخزان في المناطق الجنوبية الشرقية لمدينة إب، كما هو حاصل في قطاع حفر بئر المعشار رقم (12)؛ إذ بلغ سمك خزان الترسبات السطحية الرباعية غير المتماسكة حوالي (22) مترًا، ما نسبته (23%).

2-سمك الخزان المائي الجوفي البركاني البازلتي الكلي في منطقة الدراسة بنوعية الخزان الجوفي للصخور البركانية المتشققة، والخزان الجوفي للصخور البركانية المصمتة، يتراوح ما بين (222-300) مترًا؛ إذ بلغ أكبر سمك هذا الخزان الجوفي في قطاع حفر بئر السجن رقم (12)، بحوالي (300) متر؛ أي: ما نسبته (39%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي الكلي (المصمت والمتشقق) النموذجي في منطقة الدراسة البالغ حوالي (779) مترًا، بينما لوحظ أقل سمك لهذا الخزان في المناطق الوسطى من مدينة إب (صلبة السيدة أروى) وبالأخص في قطاع حفر بئر الاستاد الرياضي رقم (16)؛ إذ بلغ سمك الخزان حوالي (222) مترًا، وهو ما يُعادل ما نسبته (28%).

3-يظهر الزيادة في سمك الخزان الجوفي للصخور البازلتية المتشققة في قطاع حفر بئر الاستاد الرياضي رقم (16) (وسط مدينة إب صلبة السيدة أروى)، وكذلك في المناطق الجنوبية الشرقية لمدينة إب، وبالأخص في قطاع حفر بئر المعشار رقم (11) (وادي سائلة جبلة-ميتم)؛ إذ بلغ أكبر سمك للخزان الجوفي البازلتي المتشقق حوالي (110) أمتار؛ وهو ما يُعادل ما نسبته (61%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي المتشقق في المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي، البالغ (180) مترًا.

5.2.المدلولات والمؤشرات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية للخزان الكلي (الرسوبي والبازلتي المصمت والمتشقق) النموذجي في منطقة الدراسة:

من خلال المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي لمنطقة الدراسة الموضح في الشكل (10) السابق؛ تم استخلاص أهم المدلولات الهيدروجيولوجية للخزان المائي الكلي (الرسوبي والبازلتي المصمت والمتشقق) النموذجي في منطقة الدراسة، وتتمثل فيما يأتي:

هيدروجيولوجيًا؛ تُعد المناطق الواقعة ضمن المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي خاصة (منطقة وادي صلبة السيدة أروى وسط مدينة إب، ومنطقة وادي الذهب شرق المدينة، ووادي سائلة جبلة-ميتم في الجنوب الشرقي لمدينة إب) مناطق

نموذجية من حيث احتوائها على أربعة خزانات مائية جوفية متتابعة؛ بدءًا من السطح بالخزان الرسوبي السطحي، يليه الخزان الجوفي البازلتي المصمت، ويأتي بعده الخزان الجوفي البازلتي المتشقق، وأخيرًا يأتي الخزان الجوفي البازلتي المصمت، وفي ضوء ما سبق؛ تُعد آبار المياه الجوفية الموجودة في تلك المناطق التي لها نفس المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزانات المائية، عادةً ما تكون قوية، أو ذات إنتاجية عالية؛ بسبب خواصها الهيدرولوجية الجيدة، التي تُساعد على تخزين وحركة المياه الجوفية فيها، فضلًا عن وجود الفوالق الاعتيادية في تلك المناطق، وكذلك وجود شقوق متصلة وصدوع بين تلك الخزانات المائية.

النتائج:

توصلت هذه الدراسة إلى النتائج الآتية:

1-تنتشر في مدينة إب بما فيها منطقة الدراسة مجموعة من الفوالق الاعتيادية: فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة وسط منطقة الدراسة (بالقرب من بئر الاستاد الرياضي رقم (16)) حتى وادي السبل قحزة، وفالق اعتيادي آخر يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي الذهب في الشمال الشرقي لمدينة إب ويمتد إلى شلال المشنة على سفوح منحدرات جبل بعدان المطلة على مدينة إب مارًا بالمنطقة التي يقع فيها بئر الشعاب رقم (17).

2-أن الخزان الجوفي للمياه الجوفية في مدينة إب غير متجانس أو منتشر على نطاق واسع؛ بل هو عبارة عن طبقة مياه جوفية مقسمة إلى نطاقات محددة؛ بسبب التراكيب الجيولوجية في مدينة إب متأثرة بشكل رئيس بالصدوع والفوالق والقواطع الصخرية؛ إذ يتكون من ثلاثة خزانات جوفية هي: **أولًا** الخزان الجوفي الرسوبي السطحي الرباعي (خزان غير محصور)، **ثانيًا** الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية البازلتية المصمتة (خزان محصور إلى شبه محصور)، **ثالثًا** الخزان المائي الجوفي للصخور البركانية المتشققة (خزان محصور إلى شبه محصور)، ونتيجة للترابط الهيدروليكي الحاصل بين الوديان الموسمية المتواجدة في مدينة إب، خاصة الترابط الهيدروليكي بين وادي سائلة السبل-قحزة غرب مدينة إب، ووادي صلبة السيدة وسط المدينة، ووادي سائلة جبلة-ميتم في الجنوب الشرقي؛ يحدث الاتصال الهيدروليكي بين الثلاثة الخزانات الجوفية السابقة؛ إذ تعمل تلك الخزانات الجوفية في تلك الوديان الموسمية، بنمط استمرارية هيدروليكية، ومتصلة عبر ثلاثة أنظمة هيدروليكية هي: نظام هيدروليكي رأسي عبر التتابعات الصخرية، وأفقي عبر الرسوبيات الرباعية، وأفقي عبر السلاسل الجبلية.

3-تباين سمك الخزان الجوفي الرسوبي الرباعي (خزان الترسبات غير المتماسكة)؛ إذ تراوح ما بين (12-48) مترًا في منطقة الدراسة، وأكبر سمك للخزان الجوفي الرسوبي لوحظ في بئر

الأشغال رقم (33)؛ إذ بلغ حوالي (48) مترًا، مشكلًا ما نسبته (22.7%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الرسوبي، البالغ حوالي (211) مترًا، بينما بلغ أقل سمك لهذا الخزان الرسوبي حوالي (12) مترًا، ما نسبته (5.7%)، في بئر الشعاب رقم (17) الواقع في الشمال الشرقي لمدينة إب؛ وفي ضوء ما سبق نستنتج أن أكبر سمك للخزان المائي الرسوبي غير المتماسك يظهر في منطقة وادي سائلة الذهب شرق مدينة إب، خاصة في قطاع حفر بئر السجن رقم (12).

4-زيادة سمك الخزان المائي الرسوبي السطحي في المنطقة الوسطى لمدينة إب (وادي صلبة السيدة أروى)، وهيدروجيولوجيًا؛ يُشير ذلك إلى زيادة عمق حوض الترسيب في منطقة صلبة السيدة أروى.

5-تُعد طبقة الترسبات غير المتماسكة بوصفها طبقة احتواء؛ لقدرتها الكافية على نقل المياه الجوفية وتمريرها؛ وبذلك تُعد طبقة إنتاج؛ نتيجة لنفاذيتها ومساميتها العاليتين، وعليه: هيدرولوجيًا؛ تُعد التكوينات الرسوبية الرباعية غير المتماسكة الخزان المائي الجوفي الرسوبي السطحي لمدينة إب؛ لأن معامل توصيلها الهيدروليكي كبير، فضلًا عن قدرتها العالية على تخزين المياه الجوفية، ومن الناحية الهيدروجيولوجية؛ فإنها ذات كفاية عالية من حيث الإنتاجية.

6-أن المخطط الهيدروجيولوجي لآبار منطقة الدراسة يتكون فيه الخزان المائي الجوفي البركاني الكلي من خزانين جوفيين هما: الخزان الجوفي للصخور البركانية البازلتية المصمتة، وكذلك الخزان الجوفي للصخور البركانية البازلتية المتشققة، ويوجد هذان الخزانان (المصمت والمتشقق) في المناطق الشمالية الشرقية لمدينة إب الواقعة على جانبي سائلة وادي الذهب-ميتم، وفي منطقة صلبة السيدة أروى وسط مدينة إب (خاصة المناطق الواقعة على جانبي سائلة وادي الصلبة-السبل-قحزة)، وأخيرًا مناطق وادي سائلة جبلة-ميتم في الجنوب الشرقي للمدينة؛ أي يوجد الخزانان (المصمت والمتشقق) في المناطق التي تتواجد فيها الفوالق الاعتيادية (مناطق الوديان الموسمية).

7-أن المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي لمنطقة الدراسة يظهر إجمالي سمك الخزان الرسوبي السطحي (خزان الترسبات غير المتماسكة) بحوالي (94) مترًا؛ إذ لوحظ أن أكبر سمك لهذ الخزان النموذجي في المناطق الشرقية القريبة من موقع بئر السجن رقم (12)، بحوالي (44) مترًا؛ أي: ما نسبته (47%) من إجمالي السمك الكلي لهذا الخزان في منطقة الدراسة، بينما أقل سمك لهذا الخزان النموذجي في قطاع حفر بئر المعشار رقم (12) جنوب شرق مدينة إب؛ إذ بلغ سمكه (22) مترًا، وهو ما يُعادل ما نسبته (23%).

8- أن المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزان الجوفي البازلتي الكلي بنوعيه (المصمت والمتشقق) في منطقة الدراسة، يتراوح إجمالي

سمكه ما بين (222–300) متر؛ إذ بلغ أكبر سمك لهذا الخزان في قطاع حفر بئر السجن رقم (12)، بحوالي (300) متر؛ أي: ما نسبته (39%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي الكلي النموذجي في منطقة الدراسة، البالغ حوالي (779) مترًا، بينما يظهر أقل سمك لهذا الخزان الجوفي الكلي النموذجي في قطاع حفر بئر الاستاد الرياضي رقم (16)؛ إذ بلغ حوالي (222) مترًا، وهو يُعادل ما نسبته (28%).

9–أن المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي للخزان الجوفي البازلتي المتشقق في منطقة الدراسة، بلغ سمكه حوالي (180) مترًا؛ إذ ظهرت الزيادة في سمك هذا الخزان في المناطق الوسطى لمدينة إب خاصة في صلبة السيدة أروى (بئر الاستاد الرياضي رقم (16))، وكذلك في مناطق وادي سائلة جبلة–ميتم في الجنوب الشرقي لمدينة إب، (بئر المعشار رقم (11))؛ إذ بلغ أكبر سمك للخزان الجوفي البازلتي المتشقق النموذجي حوالي (110) أمتار؛ وهو ما يُعادل (61%) من إجمالي السمك الكلي للخزان الجوفي البازلتي المتشقق في المخطط الهيدروجيولوجي النموذجي.

10–هيدروجيولوجيًا؛ تُعد المناطق الآتية: منطقة وادي صلبة السيدة أروى وسط مدينة إب، ومنطقة وادي الذهب شرق المدينة، ومنطقة وادي سائلة جبلة ميتم في الجنوب الشرقي لمدينة إب مناطق نموذجية هيدروجيولوجيًا من حيث احتوائها على أربعة خزانات مائية جوفية متتابعة بدءًا بالخزان الرسوبي غير المتماسك السطحي القريب من سطح الأرض، ويأتي بعده مباشرة الخزان الجوفي البازلتي المصمت، يليه الخزان الجوفي البازلتي المتشقق، وأخيرًا يأتي الخزان الجوفي البازلتي المصمت، وعادةً ما تكون تلك المناطق النموذجية هيدروجيولوجيًا قوية؛ أي ذات إنتاجية عالية؛ بسبب خواصها الهيدرولوجية الجيدة، التي تُساعد على تخزين المياه الجوفية والحركة فيها، فضلًا عن وجود الفوالق الاعتيادية في تلك المناطق، وكذلك وجود الشقوق المتصلة بالفوالق بين الأربعة الخزانات المتتابعة.

التوصيات:

من أهم ما توصي به هذه الدراسة ما يأتي:

1–عدم حفر آبار المياه الجوفية لتزويد مدينة إب بمياه الشرب في المناطق البعيدة عن تأثير وجود الفوالق الاعتيادية خاصة في المناطق الآتية: المناطق الشمالية لمدينة إب خاصة المناطق الواقعة فوق بئر الأشغال رقم (33) وصولًا إلى جولة خليج سرت، وكذلك في جميع المناطق الواقعة في السلسلة الجبلية الممتدة في الجهة الشمالية الشمالية الغربية لمدينة إب، وأخيرًا في المناطق الواقعة أسفل المنحدرات الجبلية لجبل بعدان على امتداد المنطقة الواقعة ما بين شلال المشنة والمنطقة الجمري، التي توجد فيها بئر المسلخ رقم (22).

2–إجراء دراسة جيولوجية (ليثولوجية وتركيبية)، وهيدروجيولوجية لجميع قطاعات الحفر لآبار المياه الجوفية الحكومية والأهلية في مدينة إب؛ لمعرفة القدرات والإمكانات للخزانات المائية

السطحية والجوفية؛ التي تُساعد في تنمية وإدارة المياه الجوفية في مدينة إب، اعتمادًا على التقنيات الحديثة لرسم مخططات المضاهاة الصخرية لآبار المياه الجوفية الحكومية والأهلية، فضلًا عن رسم المخططات الهيدروجيولوجية النموذجية للخزانات المائية السطحية والجوفية في مدينة إب.

المصادر والمراجع:

1. الحداد، عبدالعاطي أحمد والسائح، أحمد محمد، (2021): **أثر الخصائص الليثولوجية على نضوب عدد من آبار المياه الجوفية بمنطقة ترهونة،** *أعمال المؤتمر الجغرافي السادس عشر*، دراسات جغرافية في البيئات الليبية- واقع وتحديات، ليبيا، ص 250-271.
2. الشامي، عبدالغني، (2023): **التغذية الاصطناعية للخزان الجوفي لمدينة إب (دراسة تطبيقية للتغذية الجوفية بتقنيات الكرفانات المائية)،** *رسالة ماجستير (غير منشورة)*، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة إب، إب، اليمن.
3. الشجاع، خالد، (2004): **تقرير عن الآبار الإسعافية لمدينة إب ضمن البرنامج الاستثماري لعام 2004م،** *(تقرير غير منشور)*، الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب تعز-إب، وزارة المياه والبيئة، اليمن.
4. الشجاع، خالد، (2005): **التقرير الفني عن الآبار الإسعافية لمدينة إب ضمن البرنامج الاستثماري لعام 2005م،** *(تقرير غير منشور)*، الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب تعز-إب، وزارة المياه والبيئة، اليمن.
5. المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بمحافظة إب، (2021): **خطة المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي محافظة إب من عام (2022م) إلى عام (2025م)،** *(تقرير غير منشور)*، إب، اليمن.
6. المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي في محافظة إب، (2022): **التقرير الفني عن الآبار ومناسيبها وطاقتها الإنتاجية في مدينة إب،** *(تقرير غير منشور)*، إب، اليمن.
7. الورافي، محمد عبده، (2023): **دراسة هيدرولوجية المياه الجوفية في الحوض المائي لمدينة إب باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية،** *رسالة ماجستير (غير منشورة)*، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة إب، إب، اليمن.
8. سعد، كاظم الشنته والساعدي، محمد وحيد حسن، (2019): **الخصائص الهيدرولوجية والنوعية لآبار المياه الجوفية شرق محافظة ميسان (دراسة كارتوغرافية-إحصائية،** *المجلة*

كلية التربية، جامعة واسط، محافظة ميسان، العراق، العدد (33) (شباط 2019) طرابلس، ليبيا، ص 351-390.

9. هيئة الاستكشافات النفطية والثروات المعدنية، وزارة النفط والمعادن، (1990): **مشروع الموارد الطبيعية خارطة جيولوجية تعز-إب (SHEET 13G)**، صنعاء، اليمن.

10. ناجي، عادل حمود والورافي، محمد عبده، (2022): **تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية اصطناعيًا في الحوض المائي لمدينة إب-اليمن باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، *مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية*، جامعة تعز، كلية التربية فرع التربة، تعز، اليمن، العدد (24)، ص 538-571.

11. ناجي، عادل حمود والورافي، محمد عبده، (2022): **التحليل المورفومتري لحوض التصريف السطحي لمدينة إب ومدلولاتها الهيدرولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**، *المجلة الافريقية للدراسات المتقدمة (AAAS) في العلوم الإنسانية والاجتماعية*، المجلد الأول، العدد (3) (أغسطس-أكتوبر) 2022، طرابلس، ليبيا، ص 288-318.

12. ناجي، عادل حمود لطف، وغلاب، علي محمد أحمد، الشامي، عبدالسلام عبدالغني، (2024): **أثر تقنية كرف حصاد مياه الأمطار والسيول الموسمية في تنمية مياه آبار وادي ميتم في مدينة إب**، *مجلة الآداب جامعة ذمار، ذمار، اليمن*، 12(1): 190- 148،

https://doi.org/10.35696/arts.v12i1.1838).

13. Ali, S. and Khan, N. (2013): ***Evaluation of Morphometric Parameters Remote Sensing and GIS Based approach***, Open Journal of Modern Hydrology, Department of Geology, Aligarh Muslim University, India, 3: 20-27.

14. Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Fillastre, U., Hay, M., Rouleau, A., Daigneault, R., Moisan, A., &Germaneau, D. (2011): ***Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems***: Application to the Saguenay-Lac-St.-Jean region, Canada, *Computers and Geosciences*, 37(11), 1870-1882, https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.04.013