

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة الهضبة البازلتية شمال شرق الأردن من خلال الكهوف الطبيعية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

محمد اشعير محمد الصويطي*

ملخص

هدفت الدراسة إلى استخدام تقنيات التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من خلال الكهوف الطبيعية الموجودة في الهضبة البازلتية في البادية الشمالية الشرقية في الأردن، وذلك عبر أنفاق اللافا، التي تم دراستها من خلال مسح ميداني مفصل ودقيق تم من خلاله تحديد هذه الكهوف (أحجامها، جيولوجيتها، وإمكانات مساهمتها في التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية). كما تم تحديد اثنين من الكهوف الرئيسة التي تحقق المتطلبات العملية، والفنية لتحقيق هذه الغاية، وهي كهف الفهدة، وكهف بئر الحمام كحالة دراسية. وتبين من خلال الدراسة أن استيعاب هذه الكهوف يقدر بـ(86) ألف م³ من المياه، إضافة إلى قدرتها العالية على تمرير المياه من خلالها إلى الخزانات الجوفية؛ نظراً لوجود الطبقات البازلتية التي تحتوي الشقوق والفراغات والصدوع وذات تراكيب تؤمن قابلية جيدة لنفاذ المياه من خلالها. ويتم ذلك باستخدام القنوات الاصطناعية، والحفائر الترابية لتأمين كميات تتناسب وحجم الكهف، ولمنع المواد الرسوبية من الوصول إلى الكهف، والتأثير على قدرة الطبقات الصخرية (البازلت) على تنفيذ هذه المياه إلى الأحواض الجوفية. ولتحقيق هذه الغاية تم دراسة منطقة التصريف لكل كهف بشكل منفصل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، حيث حددت كميات المياه المتدفقة، التي يمكن الاستفادة منها لهذه الغاية وقدرت بحوالي (200) ألف م³ سنة لمنطقة كهف الفهدة و(500) ألف م³ سنة لمنطقة كهف بئر الحمام. وخلصت الدراسة إلى أن كميات المياه المهذورة كبيرة جداً، ويمكن الاستفادة منها كلياً، أو جزئياً بأساليب التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من خلال الكهوف الطبيعية.

الكلمات الدالة: المياه الجوفية، تغذية المياه، الكهوف الطبيعية، الأردن.

المقدمة

ذلك الألفية المائية المستخدمة من قبل الأنباط في مدينة البتراء.

كما تُعد المياه الجوفية في الأردن من أهم المصادر المائية المتوفرة؛ نظراً لانتشارها في مناطق عديدة من المملكة، وقربها من السطح بعمق (أقل من 500م). ويتم استخدام هذه المياه لغايات الشرب والزراعة. وتُقسم المياه الجوفية إلى نوعين: مياه جوفية متجددة، وغير متجددة. ويقدر المخزون من هذه المياه بحوالي (12000) مليون م³، يردها سنوياً حوالي (275) مليون م³ كمياه متجددة تصل إلى الخزانات الجوفية المتجددة. وتقدر نسبة الاستهلاك من الأحواض الجوفية بـ(159%) من معدلات التغذية، وقد تسبب ذلك في ازدياد نسبة الملوحة في بعض الآبار الجوفية، وانخفاض مستوى سطح المياه الجوفية بشكل عام، مما بات يهدد بعض الخزانات الجوفية بالنضوب (وزارة المياه والري، 2013).

وتتماز الصخور التي تتواجد فيها المياه الجوفية بتوفر الشقوق، والمسامات التي تؤمن نفاذيه عالية مثل الرسوبيات الحديثة المنتشرة على جوانب الأودية ومجاري السيول، والطفوح

يُعد الماء من أهم المصادر الطبيعية على الأرض؛ لأنه أساس الحياة، وسبب ديمومتها. وقد يتسبب نقص المياه في حالة عدم استقرار اجتماعي واقتصادي ونزاعات وصراعات على المستويات كافة ولا سيما الدولية منها، عندما تكون مصادره محدودة. وقد أدرك الإنسان منذ زمن بعيد أهمية الماء لبقائه فعمل على استغلاله وإدارته والمحافظة عليه. وقد أكد ذلك علماء الآثار من خلال اكتشافاتهم الأثرية المختلفة، وخاصة في مناطق آسيا وتحديداً الشرق الأوسط، التي أظهرت أن الحضارات القديمة قامت على ضفاف الأنهار كنهري النيل ودجلة والفرات، حيث تتواجد المياه السطحية بوفرة. أما المناطق التي تقتصر على المياه السطحية فلجأ الإنسان إلى استغلال المياه الجوفية فيها، أو تجميع مياه الأمطار، وخير مثال على

* مديرة التربية والتعليم والثقافة العسكرية، دائرة التعليم الجامعي، الأردن. تاريخ استلام البحث 2016/04/10، وتاريخ قبوله 2016/05/21

حيث حصة الفرد من المياه (خوالدة، 2015). وتزداد حدة مشكلة شح المياه في الأردن بتظافر مجموعة من العوامل، فتتذبذب كمية الأمطار من عام لآخر وتغير موعد هطولها، وتزايد كميات التبخر بازدياد درجات الحرارة من جهة، وتزايد عدد السكان في الأردن بشكل كبير نتيجة؛ للهجرات السكانية المتعاقبة التي شهدها الأردن. ولا تزال ظروف الهجرة السورية قائمة، حيث توطن معظم المهاجرين في مخيمات الزعتري والأزرقي، مما سيزيد من استنزاف المياه الجوفية في منطقة البادية. ويأتي حل مشكلة شح المياه باتجاهين: زيادة العرض المائي بإقامة السدود، ومشاريع الحصاد المائي وتنقية المياه وتحليلتها من جهة، وبترشيد استهلاك المياه من جهة أخرى (عبر وبرهم، 2005؛ خوالدة، 2015). ومن هنا تبرز أهمية الدراسة في مساهمتها في دراسة امكانيات تغذية المياه الجوفية عبر الكهوف الطبيعية في منطقة الهضبة البازلتية بشمال شرق الأردن. مما يسهم في زيادة كمية المياه المتاحة بتخزين المياه عبر أساليب غير مكلفة، وتقليل كمية المياه المهدورة سنوياً عبر التبخر.

وتسعى الدراسة للإجابة عن التساؤلات التالية:

1. ما الكهوف الموجودة في منطقة الدراسة؟ وما خصائصها؟
2. هل يمكن استغلال هذه الكهوف الطبيعية في تغذية مخزون المياه الجوفية؟
3. كيف يمكن تقدير كمية المياه التي يمكن تغذية المخزون المائي الجوفي بها عبر هذه الكهوف؟
4. كيف يمكن زيادة فعالية هذه الكهوف في تغذية المياه الجوفية؟

أهداف البحث

تهدف الدراسة إلى إيجاد أفضل الحلول لإعادة إنعاش مياه ممكنة من الهطولات السنوية، وبشكل مباشر إلى الأحواض الجوفية من خلال الكهوف الطبيعية المنتشرة في منطقة الهضبة البازلتية شمال شرق الأردن. ولتحقيق هذا الهدف لابد من تحديد ما يلي:

1. معرفة الكهوف الرئيسية الموجودة في منطقة الدراسة، ومعرفة الأحجام التقريبية لها، ومدى قربها من الأودية والمجاري المائية.
2. دراسة الخصائص الجيولوجية لهذه الكهوف، وإمكانية تسرب المياه من خلالها إلى الأحواض الجوفية.
3. تقدير الكميات التقريبية للمياه التي يمكن إيصالها إلى هذه الكهوف سنوياً.
4. التعرف إلى التصميم الفني الأمثل للقنوات المائية، الذي

البازلتية في منطقة البادية الشمالية الشرقية (الهضبة البازلتية)، وكذلك الصخور الرسوبية الكلسية المتشققة، التي تنتشر بشكل كبير في مختلف مناطق الأردن. كما تتواجد هذه المياه في الطبقات الرملية، كما تمتاز بنفاذية عالية نسبياً.

تُعد الكهوف الطبيعية الناتجة عن أنفاق اللافا (Lava Tunnels) التي تقع في مناطق منخفضة وقريبة من أودية، أو مجاري مائية رئيسة في منطقة الدراسة مناسبة لتخزين المياه؛ لتأمين تغذية لخزانات المياه الجوفية، وذلك من خلال تحويل هذه الأودية أو المجاري المائية أو جزء منها إلى هذه الكهوف باستخدام السدود الترابية والقنوات الاصطناعية.

مشكلة الدراسة وأهميتها وتساؤلاتها

تُعد الأحواض المائية الجوفية في الهضبة البازلتية من أكبر الأحواض وأنقائها، التي تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية المتجددة، فتستخدم لغايات الشرب والزراعة والصناعة. وقد حفرت العديد من الآبار ومدّت أنابيب ضخمة لنقل هذه المياه إلى المدن الرئيسية (عمان، أريد)، وتتلخص مشكلة الدراسة في ازدياد معدلات الضخ، وبشكل جائر فاق بكثير كميات التغذية السنوية مما خلق نوعاً من عدم التوازن أدى إلى استنزاف هذه الأحواض، وهبوط منسوب المياه فيها، وازدياد نسبة الأملاح. إن استمرار معدلات الضخ من الأحواض الجوفية في منطقة الدراسة بهذا المستوى دون تطوير وسائل التغذية الطبيعية، أو إيجاد وسائل اصطناعية لزيادة معدلات التغذية، سيؤدي إلى هبوط منسوب سطح المياه الجوفية (25-30م)، وازدياد نسبة الملوحة إلى (1100 ملغم/لتر) بحلول عام 2020 (القاضي، 2003)، وهذا قد يؤدي إلى كارثة بيئية واجتماعية وربما سياسية أيضاً.

إن هذه الدراسة محاولة لإيجاد أفضل الحلول لإعادة إنعاش هذه الأحواض المائية من خلال التغذية الاصطناعية، لكمية الهطولات المطرية على هذه الهضبة تُعد مقبولة، (500 ملم في منطقة السويداء، و200 ملم الجزء الجنوبي من الهضبة). ويمكن استخدام خاصية الجريان تحت السطحي التي تمتاز بها الطبقات البازلتية، ووجود عدد كبير من الفراغات والكهوف خلال الطبقات البازلتية، التي يمكن الاستفادة منها في التغذية الاصطناعية المباشرة للحوض. إضافة إلى ما تقدم، تمنع هذه الكهوف التبخر من المياه المجمعة، وذلك خلافاً لمشاريع الحصاد المائي التي تعاني من مشكلة تبخر المياه المجمعة مما يتسبب في فقدان كميات كبيرة وبالتالي لا يستفاد منها.

وتكمن أهمية الدراسة في وجود عجز مائي حقيقي في الأردن؛ إذ يتبوأ الأردن المرتبة الثانية كأفقر دولة مائياً من

البادية الأردنية بشكل خاص، وركزت معظم هذه الدراسات على الموضوع من جوانب متعددة، وقد كانت أغلبها تركز على التغذية الاصطناعية بأسلوب إنشاء الحفائر، أو السدود الترابية. ولاحظ الباحث عدم وجود أي دراسة تعتمد أسلوب التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية باستخدام الكهوف الطبيعية في هذه المنطقة. ومن أهم الدراسات التي تم الإطلاع عليها، التي تناولت موضوع المياه، أو بحثت في ظاهرة الكهوف الطبيعية في الهضبة البازلتية/البادية الشمالية الشرقية ما يلي:

سعت دراسة ظاهر وآخرون (Daher et al., 2011) بعنوان Karst and artificial recharge: Theoretical and practical problems A preliminary approach to artificial recharge assessment إلى بناء منهجية حديثة لتقييم عمليات التغذية للمياه الجوفية في الكارست (Karst)، وتحديد المشاكل التي تواجه عمليات التغذية للمياه في طبقات الكارست. وهدفت دراسة شيفر وآخرون (Sheffer et al., 2011) تقييم الترشيح المياه من خلال (epikarst) من خلال مراقبة تدفق المياه في كهف وإجراء الري والتتبع للتجارب الاصطناعية، في كهف سيف في وادي سوسي Sussi في إسرائيل في الفترة من 2005 حتى عام 2007.

وتناولت دراسة السعدي وعبدالله (Alssa'd & Abdulla, 2010) بعنوان: "Artificial Groundwater Recharge to a Semi-arid Basin: Case study Mujib Aquifer-Jordan" التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في حوض الموجب كحوض شبة جاف. وبينت الدراسة أن الاعتماد الكبير على المياه الجوفية يحتاج لإدارة مائية تأخذ بعين الاعتبار عمليات الضح للمياه وتغذيتها، وتخطيط معدلات الضح، ومواجهة قضايا تغير نوعية المياه الجوفية. وقد تبين من الدراسة أن الخيار الأمثل للإدارة المائية التي تضمن الحفاظ على نفس منسوب المياه الجوفية في الحوض هو في خفض معدلات الضح من المياه الجوفية بنسبة 20% وحقق كمية مياه في الحوض بمقدار 26 مليون متر مكعب من المياه سنوياً.

تناول الخرابشة (1995) في دراسته بعنوان "التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في حوض الأزرق" الخصائص الطبيعية والمناخية لمنطقة حوض الأزرق، وتحديد كميات الهطول السنوية على المنطقة. كما حدد مجاري الأودية الرئيسية في الحوض، وتوصل إلى أن إنشاء السدود على هذه الأودية يُعد وسيلة ناجحة جداً لتأمين كميات من مياه الفيضان إلى الحوض الجوفي. وبينت أن هناك مشكلة تتمثل في تجمع المواد الطينية والغرين في قاع السدود مما يؤثر على نفاذية الطبقة العليا، وهذا يؤدي إلى عدم رشح المياه إلى الطبقات

يساعد في إيصال المجاري المائية والأودية إلى فوهات هذه الكهوف حاملة أقل كمية ممكنة من الرسوبيات.

منهجية الدراسة وإجراءاتها

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال المسح الميداني الشامل للكهوف في منطقة الدراسة وتحليل خصائصها، ودراسة الأودية المائية في المنطقة. ويمكن تلخيص إجراءات الدراسة في الخطوات التالية:

1. جمع كافة المعلومات عن منطقة الدراسة من خلال الإطلاع على الدراسات السابقة، ونتائج البحوث العلمية التي توصل إليها مشروع تطوير البادية. كما تم في هذه المرحلة مراجعة كافة أنواع الخرائط (الجيولوجية، الطبوغرافية، التربة، الأحواض الجوفية، مواقع الآبار). واطلع الباحث على الدراسات الخاصة بالجيولوجيا التركيبية للهضبة البازلتية، وعلى الصور الجوية وصور الأقمار الاصطناعية لمنطقة الدراسة.

2. الكشف الحسي الميداني على منطقة الدراسة للوصول إلى كافة المظاهر الجيولوجية السطحية، وخاصة الأودية، والكهوف الطبيعية وأخذ العينات (صخرية، تربة)، من مجاري الأودية وأرضيات الكهوف التي يمكن الوصول إليها. كما تم في هذه المرحلة الإطلاع على سجلات الحفر لبعض الآبار في مناطق مختلفة. وقام الباحث في هذه المرحلة بالدخول إلى الكهوف لتحديد أبعادها وتقدير أحجامها، ودراسة خصائصها الجيولوجية والتركيبية والطبيعية. وتم استخدام بعض الآليات والأيدي العاملة لتحقيق ذلك باستخدام جهاز تحديد الموقع العالمي (GPS) لتحديد كافة المواقع.

3. تحليل ودراسة العينات الرسوبية مخبرياً للحصول على معلومات أكثر دقة وتفصيلاً تساعد في الوصول إلى نتائج واقعية وقابلة للتطبيق.

4. محاولة الوصول إلى تصاميم عملية سطحية للتحكم في اتجاهات جريان بعض الأودية وبتجاه الكهوف الطبيعية، وذلك باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ لتأمين وصول أكبر كمية من مياه الفيضانات إلى هذه الكهوف.

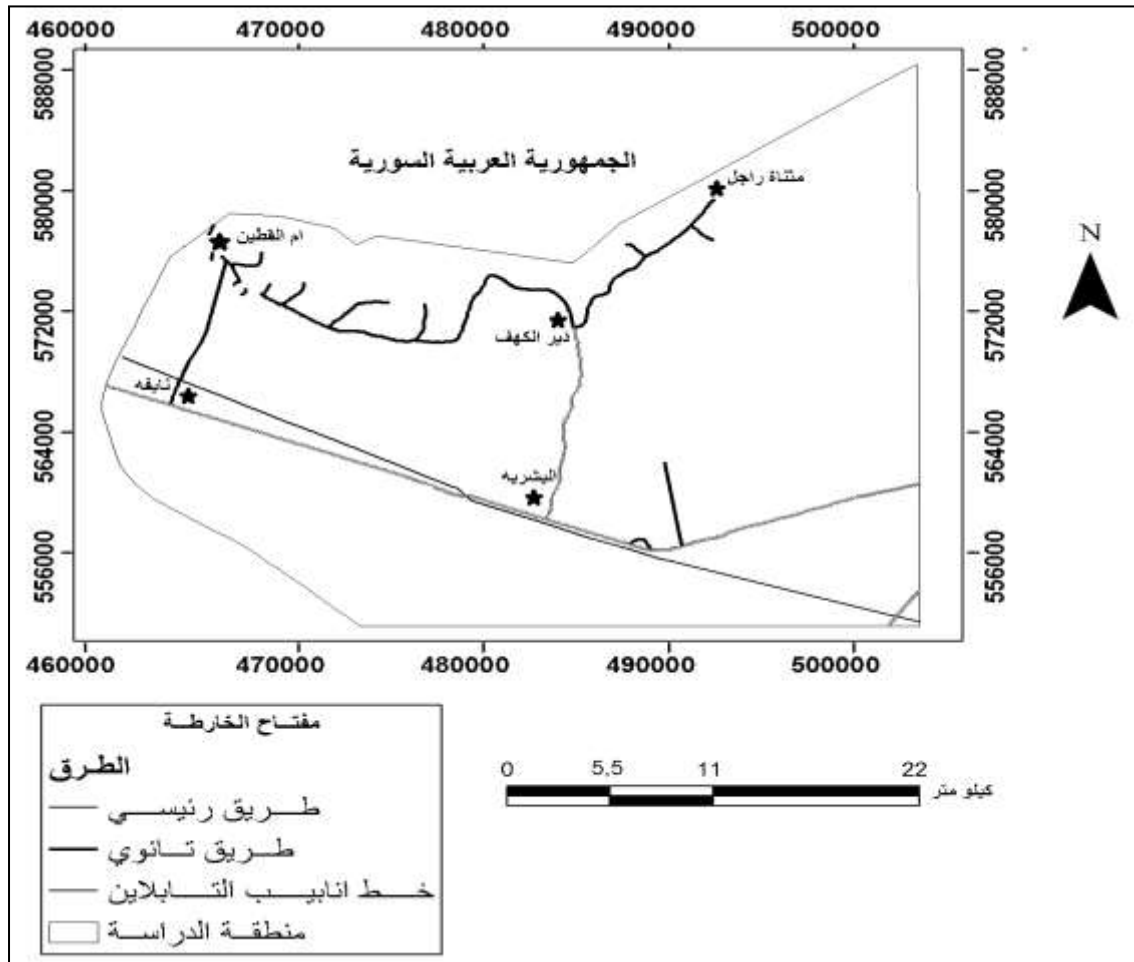
5. تحديد النتائج النهائية ومناقشتها وترجمتها إلى بيانات رقمية ونماذج، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والبرمجيات الحاسوبية المختلفة؛ لتمثيل النتائج ومقارنتها والخروج بالتوصيات التي يمكن تطبيقها عملياً.

الدراسات السابقة

أجريت العديد من الدراسات على موضوع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في الأردن بشكل عام وفي منطقة

الأردن. وتركزت في الاكتشافات لهذه الكهوف، ومواقعها، وبعض خصائصها الجيولوجية. وقد ركزت على الكهوف الموجودة في المنطقة الشمالية الشرقية من الأردن (الهضبة البازلتية). وهدفت دراسة فريحات (2006) إلى إجراء تقييم بيئي وجيلوجي لكهف الفهدة البركاني المكتشف في شمال شرق الأردن، وإمكانية حفظه كمحمية طبيعية واعدة. وتناول الباحث في هذه الدراسة التفاصيل كافة المتعلقة بالكهف المكتشف (الفهدة)، حيث قام بالدخول إلى كافة أجزاء الكهف، وتقسيمة إلى عدة أجزاء، ودراسة كل جزء بشكل منفصل. كما تناول الباحث البيئة الطبيعية للكهف، والآثار الموجودة داخله. وسعت دراسة العوفي (2006) بعنوان كشف جيوفيزيائي لأحد أنفاق اللافا في منطقة أم القطين شمال شرق الأردن، إلى تقديم معلومات تفصيلية عن أحد أنفاق اللافا (كهف الهوة). وخلص إلى تحديد طول الكهف وأبعاده والخصائص الجيولوجية لمكوناته.

السفلى. وأوصى الباحث بتنظيف قيعان السدود من هذه المواد بالوسائل الميكانيكية (تنظيف) كلما تراكمت بشكل كبير. وركزت دراسة العظامات (2002) على نوعية المياه الجوفية في حوض الأزرق. وتناولت الدراسة الأساليب الحديثة كافة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد لدراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة حوض الأزرق، واستخدام معاملات لقياس قابلية المياه الجوفية للتلوث. وهدفت دراسة القاضي (2003) إلى تقييم موارد المياه الجوفية وإدارتها في شمال شرق الأردن. وركزت على عمل نمذجة رياضية للمياه الجوفية بثلاثة أبعاد من حيث النوع والكم. كما اهتمت بهيدروجيولوجية وهيدروجيوكيميائية الخزان الجوفي العلوي في منطقة الدراسة. واستطاع الباحث في دراسته تقدير كميات المياه السطحية الداخلة إلى الخزان الجوفي. وحدد الخصائص الهيدروجيوكيميائية ونوعية المياه في هذا الخزان. وتناولت دراسة الملاعبة وكمب (2004) كهوف اللافا في



الشكل (1)
موقع منطقة الدراسة

منطقة الدراسة

السنوية الكلية (Allison et al., 1998). وتختلف معدلات الهطول السنوية من سنة إلى أخرى ومن مكان إلى آخر ضمن منطقة الدراسة، حيث تتراوح ما بين 50 ملم في العام في الجزء الجنوبي إلى 200 ملم في الجزء الشمالي والشمالي الغربي من منطقة الدراسة (وزارة الزراعة، 2010).

وتتميز معدلات التبخر كذلك بأنها عالية جداً، حيث تصل إلى خمسين ضعف كمية الأمطار السنوية، وتتراوح ما بين 1500-2000 ملم/ سنة (AL-Ansari & Baban, 2001)، ويعود ذلك إلى معدلات درجات الحرارة المرتفعة وخصوصاً في فصل الصيف حيث تتراوح درجات الحرارة ما بين 35-38 درجة مئوية (الأرصاد الجوية، 2010).

الظروف الجيولوجية: تشكل منطقة الدراسة جزءاً من الهضبة البازلتية (Al-Malabeh, 1993)، التي تكونت نتيجة لحدوث ستة اندفاعات بركانية (B1-B6) (Boom & Sawwan, 1966). وقد وقعت جميع هذه الاندفاعات البركانية في حقبة العصر الثلاثي والرباعي (Bender, 1974). وتم تحديد العمر الزمني لآخر اندفاع بركاني (B6) بـ (13.5 - 0.5) مليون سنة (Barberi, 1979; Moffat, 1988). وتكشف في المنطقة، وبشكل رئيس الصخور البازلتية، التي تعود إلى العصر (ميوسين إلى بلايستوسين). وهذه التكوينات تحتوي على الأوليفين والبازلت المتطبق مع الطين والرماد البركاني وسماكات البازلت تتراوح من (100-750م) ويزداد سماكة كلما اتجهنا إلى الشمال. كما تظهر في المنطقة بعض البراكين المركزية مثل (اريتين، قعيس، رفاعيات)، التي تكون في غالبها سلسلة من (Pyroclastic Rocks) جيدة التطبيق، يتخللها بعض الاندفاعات البازلتية والقواطع (Dikes) من حجر الخفاف (Scoria) (Al-Malabeh, 1989). وتعد جميع الاندفاعات البركانية (B1-B6) في منطقة الدراسة متشابهة إلى حد كبير من حيث التركيب المعدني، حيث تتشكل من المعادن إضافة لوجود كميات متواضعة من السيليكا (SiO_2) في الطبقات البازلتية.

وأبرز ما يميز هذه المنطقة هو الاندفاعات البركانية التي حدثت في العصر (Pleistocene-Holocene). وتبين الدراسات الجيولوجية أن عدة اندفاعات بركانية قد حدثت في المنطقة، وأدت إلى تكون الهضبة البازلتية، والتي تتراوح ارتفاعاتها ما بين 700م عند منطقة المناسف جنوباً إلى 1200م عند منطقة الرفاعيات شمالاً قرب الحدود مع سوريا، وبشكل متدرج من الجنوب إلى الشمال. وتتراوح الميول ما بين (5-10%) في الجزء الجنوبي من الهضبة وتصل إلى (15%) في الجزء الشمالي من الهضبة (عابد، 1982). ويبين الشكل (2)

تقع منطقة الدراسة في منطقة البادية الشمالية الشرقية/ محافظة المفرق على بعد (100) كم إلى الشمال الشرقي من مدينه عمان. وتقع بين خطي عرض (31° 32' شمالاً) وخطي طول (36° 37' شرقاً) على الأطراف الجنوبية للهضبة البازلتية (Basalt Plateau). وتشكل منطقة الدراسة في موقعها السفوح الجنوبية لجبل العرب أو جبل الدروز في أقصى شمال شرق المملكة الأردنية الهاشمية. وتقدر المساحة الكلية للهضبة بحوالي (2500 كم²)، يقع جزء منها في الأراضي السورية تقدر مساحته بـ (800 كم²). أما مساحة منطقة الدراسة تحديداً فتقدر بـ (1000 كم²). وتقع الهضبة بين حوض الحماد شرقاً، وحوض الأزرق جنوباً، وحوض الزرقاء غرباً. ويبين الشكل (1) حدود وموقع منطقة الدراسة. وتسمى هذه الهضبة أحياناً بمنطقة الحرة كونها مغطاة بطبقة من الصخور والحجارة البازلتية السمراء ويتواجد فيها بعض التجمعات السكانية المتناثرة والقرى الصغيرة. ويبلغ عدد سكان هذه المنطقة حوالي (40) ألف نسمة (وزارة الداخلية، 2012)، يعمل معظمهم في الزراعة وتربية المواشي. كما يتواجد في المنطقة عدد كبير من المشاريع الزراعية المختلفة.

الظروف الطبيعية لمنطقة الدراسة

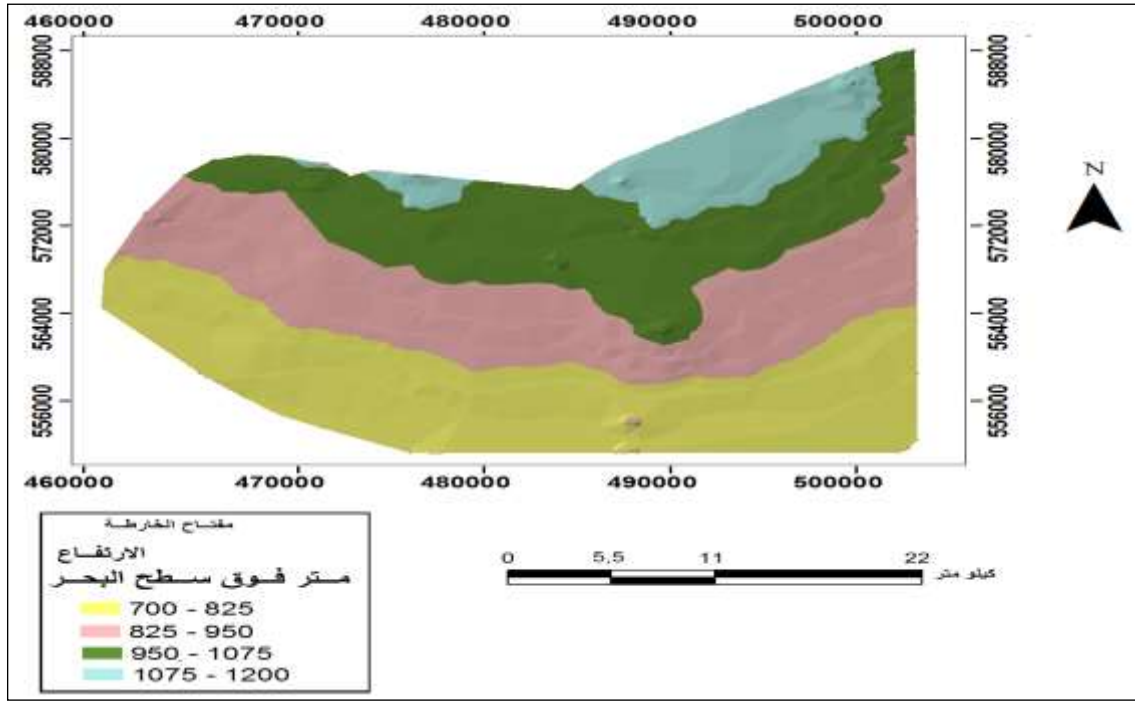
المناخ: تتباين عناصر المناخ في منطقة الدراسة؛ فبينما تسود الظروف المناخية الصحراوية في الجزء الشرقي والجنوبي، ومناخات أكثر قرباً لمناخ البحر المتوسط في الجزء الشمالي والغربي. ويبدو ذلك جلياً في معدلات هطول الأمطار، التي تبلغ في الجزء الشمالي والغربي أكثر من ثلاثة أضعاف مثيلتها في الجزء الجنوبي والشرقي. وتبدو علامات التصحر أكثر وضوحاً في الأجزاء الجنوبية والشرقية، بينما تتميز المناطق الغربية والشمالية بأنها أكثر خصوبة وقابلة للزراعة (المحاصيل الشتوية، قمح، شعير) (وزارة الزراعة، 2010). وتسقط الثلوج على هذه الأجزاء خلال فصل الشتاء، حيث تتراكم في مناطق الرفاعيات، أم القطين، صبحا (الأرصاد الجوية، 2010).

ويتميز المناخ في منطقة الدراسة بشكل عام بأنه حار صيفاً بارد شتاءً. وصنفت هذه المنطقة ضمن المناطق شبه الجافة من حيث الخصائص المناخية. وتسقط الأمطار في هذه المنطقة خلال فصل الشتاء على شكل عواصف رعدية وفي أوقات قصيرة (AL-Ansari & Baban, 2001). وتتركز معظم الهطولات خلال الفترة من شهر كانون أول إلى آذار، حيث تقدر نسب الهطول خلال هذه الفترة بـ 80% من الهطولات

إلى الجنوب، وأهمها: وادي العاقب، ووادي الغرابي، ووادي أم القطين، ووادي راجل. ومعظم هذه الأودية تنتهي في الأطراف الشمالية لمنطقة الأزرق، ثم تتجه غرباً عبر عدد من القيعان لتشكل وادي الزرقاء الذي ينتهي بسد الملك طلال ثم غور الأردن. ويبين الشكل (3) الشبكة المائية في منطقة الدراسة.

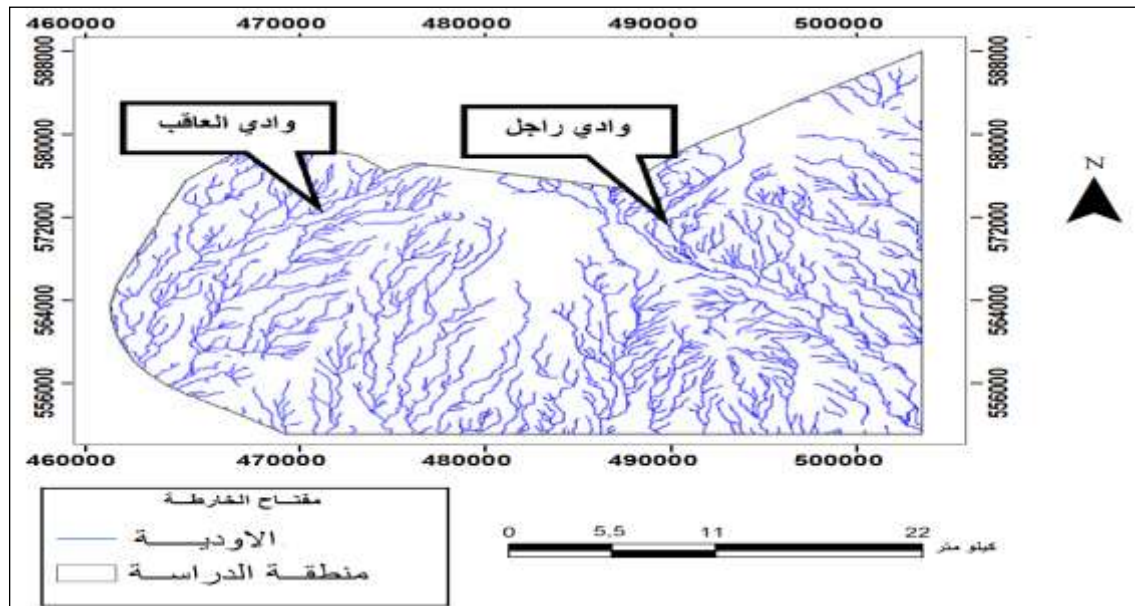
مورفولوجية منطقة الدراسة باستخدام نموذج ارتفاع الأرض الآلي (Digital Elevation Model)، والذي تم إنتاجه باستخدام برمجية (ArcGIS) بناءً على الخارطة الكنتورية لمنطقة الدراسة، والتي تم الحصول عليها من المركز الجغرافي الملكي بمقياس (50000/1).

ويتخلل الهضبة عدد من الأودية التي تجري من الشمال



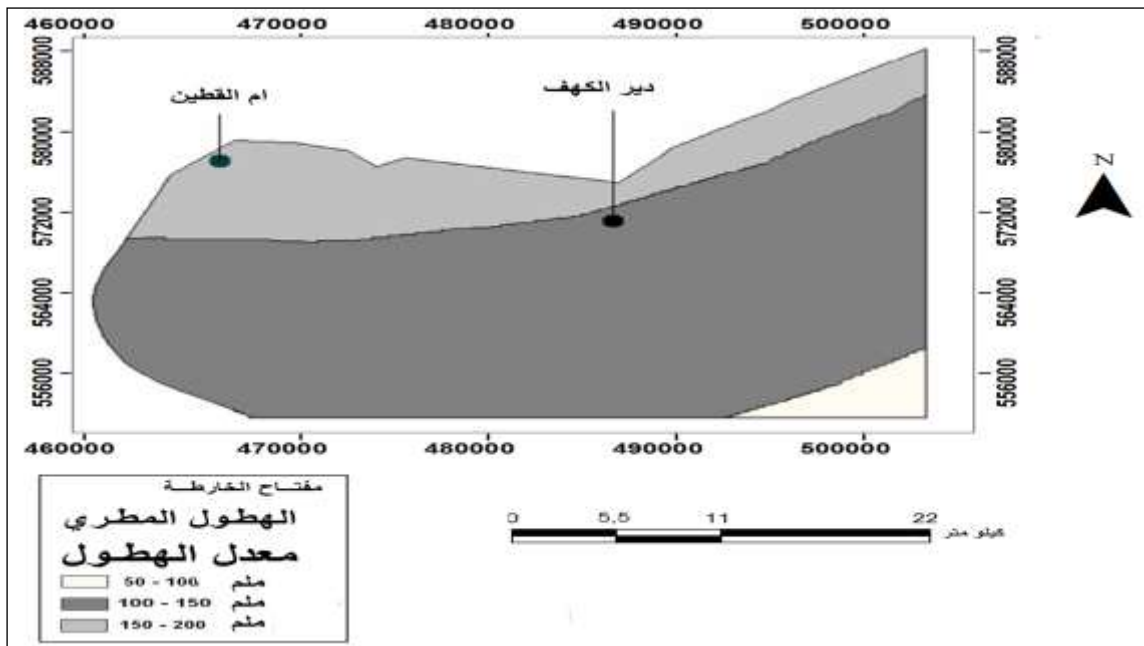
الشكل (2)

نموذج مورفولوجية منطقة الدراسة



الشكل (3)

الشبكة المائية في منطقة الدراسة، (مركز بحوث وتطوير البادية الأردنية، 2006)



الشكل (4)

معدلات الهطول في منطقة الدراسة

عمليات الفيضانات لهذه الأودية في الغالب نتيجة العواصف الرعدية التي تتسبب في هطول كميات كبيرة من الأمطار في فترة زمنية قصيرة (Waddingham, 1994). وتقدر نسبة مياه الجريان التي تحملها الأودية والقنوات بـ(2-4%) من كمية الهطول الكلية. وهذه الأودية والقنوات ذات قابلية جيدة لتنفيذ المياه، وتسريبها إلى الطبقات تحت السطحية، حيث تتسرب هذه المياه من خلال طبقات الأودية؛ لتصل إلى المنطقة غير المشبعة لتشكل مخزون مائي تحت سطحي بشكل مؤقت، لتكون أحد مصادر تغذية المياه الجوفية (Allison, 2000).

خصائص الخزانات المائية الجوفية: توجد المياه الجوفية في منطقة الدراسة في ثلاثة خزانات رئيسية: الخزان الجوفي العلوي (upper aquifer)، الذي يتكون من صخور البازلت، والرسوبيات الحديثة وتكاوين الشلاله والرجام، وهي من العصر الرباعي والثلاثي، وتقع الخزانات الجوفية المستغلة في منطقة الدراسة ضمن الـ(upper aquifer complex). وتأتي أهمية هذا الخزان من وفرة مياهه ونوعيتها الممتازة. ويتغذى هذا الخزان من منطقة جبل العرب / جبل الدروز. وتشكل اتجاهات الجريان في هذا الخزان شكل شعاع (radial) باتجاه (منخفض الأزرق)، وذلك تبعاً لمورفولوجية الهضبة البازلتية. ويبلغ معدل السماحية للبازلت بـ(0.12 م²/ثانية)، وتبلغ معدلات السماحية للخزان بحوالي (11000 م²/يوم). أما نفاذية الخزان فتتراوح ما بين (0.5-115 م/يوم)، وتقدر سماكة الجزء

لا توجد مسطحات مائية (بحيرات، أنهار) في منطقة الدراسة، باستثناء بعض القيعان والغدران التي تتجمع بها مياه الأمطار لفترة محدودة من الزمن نتيجة حدوث الفيضانات الناتجة عن الهطولات المطرية الرعدية التي تحدث خلال فصل الشتاء خلال فترات قصيرة (Short Duration) (Banan, Al- (2001). وتتباين كميات الهطول في منطقة الدراسة أيضاً؛ فبينما ترتفع في المناطق الشمالية الغربية المحاذية للحدود السورية، تتخفض كلما اتجهنا جنوباً باتجاه منطقة الأزرق. تتباين أيضاً كميات الهطول ما بين السنوات (زمانياً). ويبين الشكل (4) معدلات الهطول في منطقة الدراسة. وقد سجلت أعلى كمية هطول خلال الفترة 1970-2000 في منطقة دير الكهف الواقعة في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة، وبلغت (291.3) ملم خلال عام 1979/1980. بينما أقل كمية هطول لنفس الفترة كانت (13.5) ملم خلال عام 1998/1999. أما المعدل العام لكميات الهطول السنوية في المنطقة نفسها فكانت (144.32) ملم، (الأرصاء الجوية 2010). وتتدفق نسبة كبيرة من الهطولات في المنطقة ذاتها عبر الأودية والقنوات الموجودة في المنطقة التي تجري معظمها من الشمال إلى الجنوب، وذلك تبعاً لمورفولوجية المنطقة التي يقل ارتفاعها كلما اتجهنا جنوباً. وتحمل هذه الأودية مياه الفيضانات في فصل الشتاء إلى مناطق القيعان على مشارف منطقة الأزرق الواقعة إلى الجنوب من المنطقة. وتحدث

أن هذه الصفة متباينة في الطبقات البازلتية المختلفة إلا أنها موجودة في الغالب مع أنها تتأثر بالطبقات الأخرى التي تعلق الطبقة البازلتية، وخاصةً الترب المختلفة. كما تتأثر بالخصائص الطبوغرافية للمنطقة، وتتواجد المياه في الغالب في المنطقة الفاصلة ما بين الاندفاعات البازلتية (Newcomb, 1959)، حيث تتواجد في هذه المنطقة الفراغات والفواصل والشقوق؛ نتيجة عدم حدوث تطبيق تام ما بين الطبقات البازلتية المختلفة. ويمكن تحديد الاعتبارات التالية كدليل أساسي لتحديد قدرة وإمكانات الطبقات البازلتية على السماح بالتغذية الطبيعية والاصطناعية للخزانات الجوفية (CGWBM, 2000):

1- هيدروجيولوجية الطبقة البازلتية: والخصائص المفضلة هنا لتكون الطبقة جيدة النفاذية، هي أن تكون هذه الطبقة مهشمة تعرضت لعوامل الحت ومنتشقة وتكثر بها الفجوات (Vesicular Basalt).

2- طبوغرافية المنطقة (Water-Shed Area): حيث تُعد السفوح أكثر ملائمة لخاصية تسريب المياه خلال الطبقات البازلتية، أما قمم الهضاب، فهي أقل فاعلية لذلك.

3- مستوى تذبذب المياه: تُعد المناطق ذات المستويات العالية من تذبذب المياه، وبعد الخزانات الجوفية عن السطح، والميول الشديدة للمستويات الهيدروجيولوجية ذات جاذبية أكثر للمياه، وبالتالي معدلات تغذية أعلى.

4- الموصلية المائية (Hydraulic Conductivity): تُعد الطبقات البازلتية المكسرة التي تكثر بها الشقوق والفواصل والفراغات ذات موصلية عالية، وبالتالي قابلية أكبر على مرور الماء من خلالها. أما الطبقات البازلتية الكتلية (Massive Basalt) فهي أقل موصلية، وبالتالي أقل قدرة على تنفيذ الماء.

5- نوع الخزان الجوفي: وهي الخزانات الجوفية غير المحصورة (Unconfined Aquifers) وتُعد أكثر قدرة على استقبال المياه من الخزانات المحصورة (Confined Aquifers) في الطبقات البازلتية، التي تكثر فيها الشقوق والفراغات والفواصل. وتترسب بعض المواد المختلفة والتي تذوب لاحقاً بواسطة المياه القادمة خلال هذه الطبقات مما يساعد في زيادة معدلات التغذية.

6- معدلات التغذية: تكون معدلات التغذية عالية في الطبقات البازلتية المهشمة التي تكثر فيها الشقوق والفراغات والفواصل، حيث تصل إلى (15%) بينما تقل في الطبقات البازلتية الأخرى (Basalt Massive) إلى أقل من (4%)، (CGWBM, 2000).

تشكل أنفاق اللافا في الهضبة البازلتية (منطقة الدراسة) ممرات متشكلة نتيجة لمرور اللافا ولمسافات متباينة قد يصل

المشبع بالمياه في الخزان ما بين (50-190م). ويُعد حجر الخفاف عالي النفاذية (Permeable Scoriaceous Zones) المكون الرئيس لهذا الخزان (الخرابشة والملاعبة، 2002). أما الخزان المائي الجوفي الأوسط، فيتكون من تكاوين عمان، الرصيفة، وادي السير. ويفصلها عن الخزان العلوي تكوين الموقر، وتبعد عن السطح حوالي (600م). وتصل معدلات السماحية إلى (4800م²/يوم) وتميل الطبقات من الغرب والشرق باتجاه منخفض الأزرق. ويتكون الخزان المائي السفلي من الصخور الرملية والتي تزيد أعماقها عن (1000م) (Dottridge, 1994). وتتصل هذه الخزانات مع بعضها البعض هيدروجيولوجياً من خلال الفوالق ذات الاتجاهات المختلفة، مما يتسبب في حركة الماء المالح (Saline Water) من الأسفل إلى الأعلى باتجاه الخزانات الجوفية القريبة (Shallow Aquifers)، وذلك يحدث نتيجة للضغط الجائر من الخزان العلوي (B2/A7) (AL-Qadi, 2003). وهناك رأي آخر حول هذه الخزانات حيث صنفت إلى ثلاث خزانات: الخزان القريب (Shallow Aquifer)، والخزان الأوسط، والخزان العميق (Deep Sandstones Aquifer) (Salameh & Bannayan, 1993). ويفصل هذه الخزانات عن بعضها البعض طبقات ذات نفاذية قليلة (Low Permeability Aquitards) (Allison, 2000). وترتبط هذه الخزانات مع بعضها البعض هيدروجيولوجياً، حيث تجري المياه الجوفية في الخزان القريب (العلوي) باتجاه منطقة الأزرق. أما الخزان الأوسط فتجري مياهه الجوفية من الغرب والشمال والجنوب باتجاه منطقة الأزرق. وهناك جريان آخر من هذا الخزان باتجاه الخزان العلوي، وجريان آخر باتجاه الخزان السفلي، وأيضاً جريان باتجاه الشرق. أي أن المياه الجوفية في هذا الخزان تتحرك بكل الاتجاهات. وأخيراً الخزان السفلي والذي تتحرك مياهه من الجنوب والشرق باتجاه الغرب وأحياناً باتجاه الشمال (اتجاه وادي الأردن والبحر الميت) (Salameh & Bannayan, 1993).

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من خلال الطبقات البازلتية

تُعد الطبقات البازلتية مناسبة لمرور المياه من خلالها باتجاه الأحواض الجوفية؛ نظراً لوجود عدة عوامل تساعد على تحقيق ذلك، وأهمها الخصائص الجيولوجية والفيزيائية والكيميائية، التي تجعل من خاصية الجريان تحت السطحي للبازلت ممكنة وشائعة.

ويُعد البازلت عموماً، عندما يتعرض لعمليات التجوية (Weathering) مناسب جداً لجريان المياه تحت السطحية. ومع

الهضبة البازلتية مغطاة بالمواد المتفككة التي يسهل نقلها نتيجة الظروف الطبيعية مثل الرياح والمياه من منطقة إلى أخرى وتحديداً إلى هذه الكهوف والأنفاق، مما يؤدي إلى طمرها واختفائها إلا أن الحقيقة غير ذلك حيث استوعبت هذه الكهوف كميات كبيرة من الرسوبيات، ومازالت ماثلة وموجودة حتى الآن. مما يعطي مؤشراً على أن هذه الكهوف ذات مساحات وأحجام كبيرة جداً، وتصنف هذه الكهوف ضمن الكهوف البركانية.

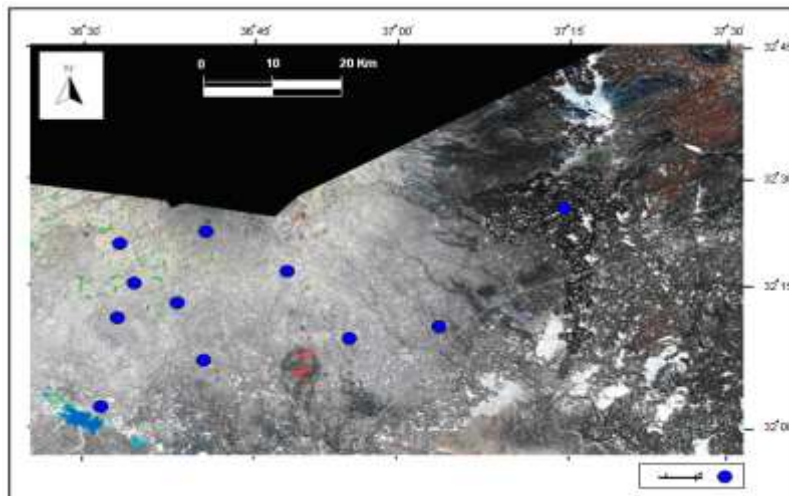
بعضها إلى مئات الأمتار من مركز الاندفاع البركاني مروراً بأراضي مختلفة وحسب درجة الميل. وجميع أنفاق اللافا الموجودة في منطقة حرات الجبان شمال شرق الأردن واقعة ضمن خمسة مراحل متعاقبة رئيسية (Successions) وهي أم القطين، المكيفة، البشرية، الحميدية، الأصفر (Al-Malabeh, 2005). وهذه الكهوف أو الأنفاق ناتجة عن الاندفاعات البركانية والتي تسببت في تكون نوعين من الكهوف وهي (Lava tunnels) و (Pressure Ridges). ورغم أن منطقة

الجدول 1

تفاصيل الكهوف الموجودة في منطقة الدراسة

الارتفاع عن سطح البحر	العمق	طول الكهف	الإحداثيات		اسم الكهف
			شرق	شمال	
(941م)	10.8م	97.1م	37° 036'	18° 32'	كهف الهوة
(916م)	4.2م	44.1م	36° 036'	17° 32'	كهف عزام
(796م)	6.7م	23.5م	07° 037'	18° 32'	كهف الفهدة
(777م)	17.2م	44.5م	49° 036'	07° 32'	كهف بئر الحمام
(886م)	12.2م	153.7م	39° 036'	15° 32'	كهف أبو الكرسي
(920م)	صفر	28.9م	35° 036'	17° 32'	كهف الدحدل
(792م)	10م	231.1م	33° 036'	13° 32'	كهف أبو راس
(874م)	4.2م	81.3م	33° 036'	17° 32'	كهف الحية
-	4م	208م	-	-	كهف العميد
(893م)	1.8م	193.6م	55° 36'	10° 32'	كهف الضبع
(911م)	3.5م	42م	34° 36'	17° 32'	كهف الريح
(888م)	-	مغلقة ردم	36° 036'	16° 32'	كهف المغير
-	-	2448.3م	-	-	المجموع

المصدر: (AL-Malabeh & Kempe, 2004)



الشكل (5)

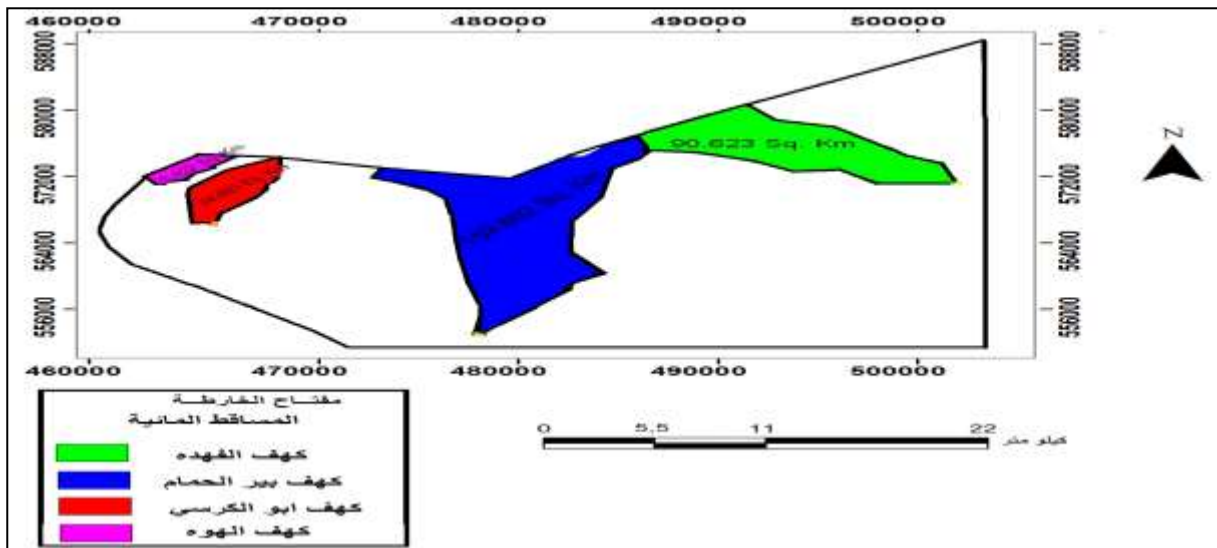
صورة فضائية تبين مواقع أهم الكهوف الطبيعية في منطقة الدراسة

- 1- وقوعها ضمن مناطق تصريف (أحواض مائية) جيدة.
 - 2- تمتاز بأحجام كبيرة نسبياً يمكن أن تتسع مئات إلى آلاف الأمتار المكعبة من الماء.
 - 3- يوجد مجاري مائية (أودية، قنوات) قريبة من هذه الكهوف.
 - 4- توجد فوارق في المناسيب (الارتفاعات) ما بين فوهات هذه الكهوف، والمجاري المائية القريبة (فوهات الكهوف اخفض من المجاري المائية المحيطة).
 - 5- وقوعها في مناطق خالية، وبعيدة عن السكان والقرى مما يسهل تنفيذ أي منشآت أو أي أعمال حفر لإيصال المجاري المائية إلى هذه الكهوف.
 - 6- هذه الكهوف عبارة عن أنفاق بازلتية تشكل التراكيب، والمكونات البازلتية أكثر من (95%) من مكوناتها. وكما هو معروف فإن البازلت يمتاز بخاصية الجريان تحت السطحي؛ نتيجة كثرة الشقوق والفوالق والفراغات الموجودة في تراكيبه المختلفة.
- وقد تمت دراسة كل كهف بشكل منفصل؛ لتحديد كمية المياه التي يمكن أن تصله، وتحديد كمية المياه التي يمكن أن يستوعبها، ويساعد على تمريرها إلى الطبقات الجوفية، وبالتالي وصولها إلى الخزانات الجوفية العلوية على أقل تقدير، وتقنيات تجميع هذه المياه وتحويلها من مساراتها في الأودية والمجاري المائية إليها، وتحديد ما يلزم من قنوات تحويلية وسدود ترابية لتحقيق ذلك.

تقنيات تجميع المياه وإيصالها إلى أنفاق اللافا

تقع معظم أنفاق اللافا القابلة لتأمين المجاري المائية إليها، التي تم دراستها، على السفوح الجنوبية لمنطقة جبل العرب/ جبل الدروز. وتتميز بموقع منخفض تعلوه منطقة تصريف سطحي (Catchment Area) واسعة. وقد تم تحديد الأحواض المائية السطحية/ مناطق التصريف السطحية لكل كهف باستخدام برمجية (ArcGIS)، حيث تم استخدام نموذج ارتفاع الأرض الآلي (Digital Elevation Model). كما تم استخدام النقاط التي تمثل مواقع الكهوف لحساب مساحات الأحواض المائية السطحية وذلك من خلال استخدام برنامج (ArcGIS). ويبين الشكل (6) الكهوف الرئيسية ومناطق التصريف القريبة منها وارتفاعها عن سطح البحر. ولمزيد من الدقة في حساب كميات الجريان المائية التي يمكن إيصالها إلى هذه الكهوف تم تحديد بعض المعطيات الرقمية الأساسية الخاصة بمنطقة الدراسة ومن أهمها: (نسبة الميول والتي تقدر بـ 5-10% في معظم أجزاء منطقة الدراسة، وتصل إلى 15% إلى الشمال من منطقة الدراسة (جبل الدروز/ جبل العرب). تعتبر الأودية والقنوات المائية من أفضل المناطق لعملية الرشح (Infiltration) حيث تقدر بـ 200 ملم بالساعة إذا كان معدل هطول المطر 20 ملم بالساعة محدثة مخزون تحت سطحي مؤقت (Sub-surface storage) في المنطقة غير المشبعة (Unsaturated Zone) (Allison, 2000).

وقد تم تحديد كهفين رئيسيين (Lava Tunnel) في منطقة الدراسة، يمكن استخدامها لغايات التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية؛ وذلك للأسباب التالية:



الشكل (6)

مناطق المساقط المائية للكهوف في منطقة الدراسة

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من خلال كهف الفهدة

لتحديد كمية المياه الممكن إيصالها إلى هذا الكهف، تم إجراء دراسة هيدرولوجية للمنطقة المحيطة بالكهف، وتم تحديد مساحة منطقة التصريف (Catchment Area) باستخدام برمجية الـ (ArcGIS). وقد تم تحديد المجاري المائية القريبة من فوهة الكهف، التي يمكن الاستفادة منها من خلال تحويل مجراها نحو الكهف، وتحديد نوع التربة في المنطقة المحيطة، وتحديد نسب الميول، وكميات الهطول السنوية ومعدلات التبخر. وقد كانت المعطيات الرقمية لهذه العوامل كما يلي:

* مساحة منطقة التصريف (الحوض المائي) لكهف الفهدة ≈ 90.5 كم².

* يعتبر وادي راجل اقرب مجرى مائي لكهف الفهدة.

* معدل التبخر السنوي لمنطقة الصفاوي (أقرب محطة أرصاد جوية لمنطقة الفهدة) 2728 ملم لعام 2005 (الأرصاد الجوية، 2006).

* تنماز المنطقة بأن تربتها مغطاة بالحجارة البازلتية، وتتكون تربتها من الحصى والرمل والسلت الطيني (المنحني 75) حسب مصلحة صيانة التربة الأمريكية (USAD, 1994)، وبشكل تقريبي حيث إن تحديد المنحني بشكل دقيق يتطلب دراسات مفصلة تبين خصائص الحوض المائي من رطوبة التربة ونوعيتها، الفاقد الأولي، نسب الميول، طول الأودية، الغطاء النباتي من حيث الكم والنوع وهذا يتطلب جهداً كبيراً ودراسة متخصصة في هذا الجانب.

* معدل الهطول المطري لمنطقة الصفاوي (F2) أقرب محطة أرصاد جوية لمنطقة الفهدة (69.7) ملم وذلك بناءً على كميات الهطول لخمس سنوات، التي كانت كما يلي (الأرصاد الجوية، 2010):

* نسبة مياه الجريان تقدر ما بين (2-4%) من نسبة الهطول الكلية، وتعد الأودية والقنوات المائية أكثر المناطق التي يتم من خلالها عملية الرشح (Infiltration) حيث تقدر بـ 200 ملم بالساعة إذا كان معدل هطول المطر 20 ملم بالساعة (Allison, 2000).

* تم اعتماد قيم التوافقية والقدرة للهطولات المطرية في منطقة كهف الفهدة حسب تحليل الهواطل المطرية لمحطات البادية الأردنية. واعتمدت محطة الصفاوي (F2)، لاعتمادها؛ لغايات المعادلات الحسابية وكانت دورات التكرار في هذه المحطة $R \leq 4$.

بناءً على المعطيات الواردة يمكن حساب كمية الفيضان، وبأساليب عدة وبناءً على نظريات ومعادلات رياضية مختلفة منها:

كمية الفيضان = (الأمطار - الفاقد الأولي)² / (الأمطار $\times 0.8$ × الفاقد الثانوي) (الخرابشة والملاعب، 2002).
ولحساب قمة الفيضان بوحدة المتر مكعب/ ثانية تم استخدام معادلة ديكن (Dickens's Formula) (الأنصاري، 2005) والتي تنص على:

قمة الفيضان = معامل ثابت (معدله 11.5 يزيد في المناطق الجبلية ويقل في السهلية) \times (مساحة الحوض)^{4/3}.
وبتطبيق هذه المعادلة على منطقة كهف الفهدة لحساب قمة الفيضان:

$$\text{قمة الفيضان} = 11.5 \times (90.5)^{4/3} = 337.4 \text{ م}^3 / \text{ثانية}$$

وتتوزع هذه الكمية ما بين التبخر والتغذية الطبيعية للمياه الجوفية حيث يذهب ما معدله 85-92% (تبخّر) وما معدله 1% تغذية طبيعية للمياه الجوفية حسب، (Bouwer, 1996) على أساس أن المنطقة من المناطق الجافة.

وقد تم حساب كمية الجريان السطحي في الحوض المائي لكهف الفهدة اعتماداً على أن نسبة الجريان تعادل 2-4% وكانت النتائج كما يلي:

كمية الهطول السنوية = 69.7 ملم

مساحة الحوض (Catchment Area) = 90.5 كم² وتعادل 90500000 م²

حجم الهطول الكلي = 90500000 م² \times (69.7) ملم/1000 = 6307850 م³ (Allison, 2000)

نسبة الجريان = (100/2) \times 6307850 م³ - (100/4) \times 6307850 م³

وبذلك تقدر كمية مياه الجريان بـ 126157 م³/سنة إلى 252314 م³/سنة

ونستنتج مما سبق أن هناك كميات جيدة من مياه الفيضان، التي يمكن الاستفادة منها بجلبها من خلال الأودية والمجاري المائية إلى فوهة كهف الفهدة، الذي يتسع لأكثر من 20 ألف م³، إضافة لمعدلات الرشح العالية للكهف باتجاه الطبقات الجوفية من خلال الشقوق والصدوع والفراغات التي تنماز بها الطبقات البازلتية التي يتكون منها الكهف؛ أي أن كمية المياه التي يمكن أن يستوعبها قد تصل إلى أضعاف هذا الرقم، وهو ما يشكل بارقة أمل تمكننا من الاستفادة من مياه الفيضان التي تذهب هدراً من خلال معدلات التبخر العالية التي تتعرض لها بعد وصولها إلى القيعان على أطراف منطقة الأزرق الشمالية (ملاحات الأزرق الشمالي، وقاع البقيعية)، التي تصل معدلات التبخر بها إلى ما يقارب 99%؛ بسبب تراكم الطبقات الطينية على قاع هذه المناطق مما يمنع أي عمليات رشح

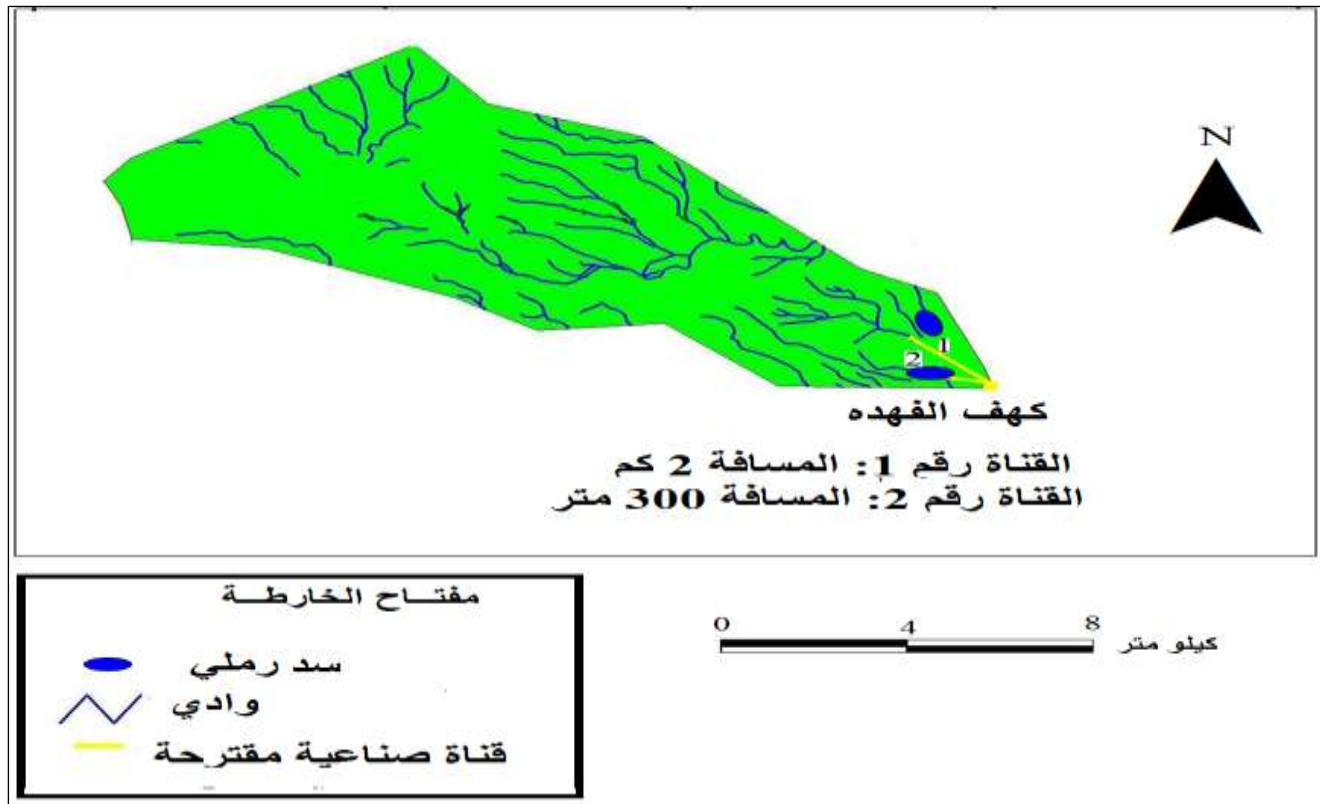
التي تعمل على تقليل نسب النفاذية في الصخور البازلتية في الكهف. ويستفاد من هذه الحفيرة لغايات سقاية الماشية للبدو القاطنين في تلك المنطقة خلال فترات الربيع والصيف ويبلغ طول القناة المشار إليها بـ 2 كم، كما ويمكن إنشاء قناة أخرى من احد أفرع الوادي وبطول 300م وبنفس الأسلوب، وذلك بعمل حفيره ترابية بحجم (3) آلاف متر مكعب مما يساعد في جلب كميات لا بأس بها من المياه لتحقيق هدفين رئيسيين؛ الأول تغذية المياه الجوفية، والآخر تخزين المياه في الكهف حيث معدلات التبخر قليلة جداً مما يساعد على المحافظة على هذه المياه لأطول فترة ممكنة. ويوضح الشكل (7) يبين موقع كهف الفهدة والحوض المائي (Catchment area) والمجاري المائية القريبة من الكهف والقنوات المقترحة.

باتجاه الأحواض الجوفية. وقد تم دراسة كافة الأودية والمجاري المائية في منطقة كهف الفهدة؛ لتحديد انصب الأماكن لجر مياه وادي راجل، وهو الأقرب لمنطقة الفهدة إلى فوهة الكهف، حيث تم العثور على قناة مائية من العصور القديمة تصل وادي راجل بفوهة الكهف، وتجلب جزءاً يسيراً من مياه الوادي إلى الكهف. ويبدو أن ذلك كان لتأمين المياه لغايات الشرب والاستخدامات البسيطة للقاطنين في منطقة الكهف. ويمكن تطوير هذه القناة بعمل سد ترابي على الوادي بحجم (10) آلاف متر مكعب لمضاعفة كميات المياه التي يمكن إيصالها إلى الكهف (تم تحديد حجم السد الترابي بناءً على عرض المجرى المائي وفرق المنسوب ما بين هذا المجرى وفوهة الكهف). ومن فوائد هذا السد حجز الرسوبيات (المواد الطينية) ومنعها من الوصول إلى الكهف،

الجدول (2)

معدل الهطول المطري في منطقة الصفاوي

2009	2008	2007	2006	2005	العام
50.8	49	94.2	103	64.7	كمية الأمطار /ملم



الشكل (7)

نمذجة هيدرولوجية لمنطقة تصريف كهف الفهدة

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من خلال كهف بئر الحمام

تم دراسة هذا الكهف (وكما هو الحال في كهف الفهدة) حيث المعطيات الرقمية متشابهة إلى حد كبير؛ لكونه يقع في منطقة الصفاوي (20 كم غرب بلدة الصفاوي). وبالتالي كانت المعطيات المناخية والجغرافية والبيئية متشابهة إلى حد كبير مع كهف الفهدة. وفيما يلي عرض للمعطيات الرقمية الخاصة بكهف بئر الحمام:

* مساحة منطقة التصريف (الحوض المائي) لكهف بئر الحمام $\approx 160 \text{ كم}^2$.

* يعتبر وادي الاريتين ووادي البشرية أقرب المجارى المائية لكهف بئر الحمام.

* معدل التبخر السنوي لمنطقة الصفاوي أقرب محطة أرصاد جوية لمنطقة كهف بئر الحمام 2728 ملم لعام 2005 (الأرصاد الجوية، 2006).

* تمتاز المنطقة بأن تربتها جرداء، وتتكون من الحصى والرمل والسلت الطيني وفتات الصخور البازلتية (المنحى 75) حسب مصلحة صيانة التربة الأمريكية.

* معدل الهطول المطري لمنطقة الاريتين (F6)، أقرب محطة أرصاد جوية لمنطقة كهف بئر الحمام 96.32 ملم كوسط حسابي.

* تم اعتماد قيم التوافقية والقدرة للهطولات المطرية في منطقة كهف بئر الحمام حسب تحليل الهواطل المطرية لمحطات البادية الأردنية. واعتمدت محطة الاريتين (F6)، لاعتمادها؛ لغايات المعادلات الحسابية وكانت دورات التكرار في هذه المحطة $2.66 \leq R \leq 8$.

وبناءً على المعطيات الواردة يمكن حساب كمية الفيضان وبأساليب عدة وكذلك على نظريات ومعادلات رياضية مختلفة منها:

كمية الفيضان = (الأمطار - الفاقد الأولي) / (الأمطار × 0.8 × الفاقد الثانوي) (الخرابشة والملاعبة، 2002)

ولحساب قمة الفيضان بوحدة المتر مكعب / ثانية تم استخدام معادلة ديكين، التي تنص على:

قمة الفيضان = معامل ثابت (معدله 11.5 يزيد في المناطق الجبلية ويقل في السهلية) × (مساحة الحوض)^{4/3}.
ويتطبيق هذه المعادلة على منطقة كهف بئر الحمام لحساب قمة الفيضان:

$$\text{قمة الفيضان} = 11.5 \times (160)^{4/3}$$

= 517.5 م³ / ثانية اعتماداً على (Dicken's Formula)
تتوزع هذه الكمية ما بين التبخر والتغذية الطبيعية للمياه الجوفية حيث يذهب ما معدله 85-92% (تبخّر) وما معدله 1% تغذية طبيعية للمياه الجوفية على أساس أن المنطقة من المناطق الجافة، (Bouwer, 1996).

* تم حساب كمية الجريان السطحي في الحوض المائي لكهف بئر الحمام اعتماداً على أن نسبة الجريان تعادل 2-4% وكانت النتائج كما يلي:

كمية الهطول السنوية = 96.32 ملم

مساحة الحوض (Catchment Area) = 160 كم² وتعادل

$$160000000 \text{ م}^2$$

حجم الهطول الكلي = 160000000 م² × 96.32

$$\text{ملم/1000} = 15411200 \text{ م}^3$$

نسبة الجريان = (100/2) × 15411200 م³ -

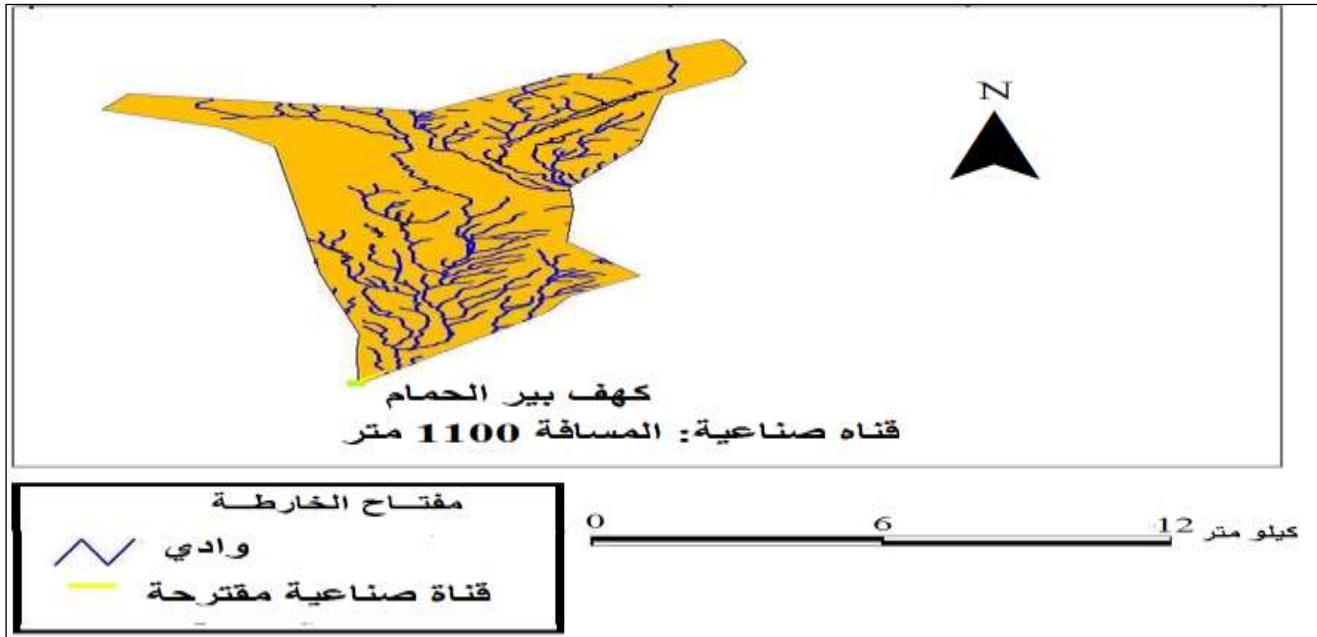
$$(100/4) \times 15411200 \text{ م}^3$$

وبذلك تقدر كمية مياه الجريان بـ 308224 م³/سنة إلى

$$616448 \text{ م}^3/\text{سنة، (Allison, 2000)}.$$

ويظهر مما سبق أن كمية المياه المتدفقة جيدة، ويمكن الاستفادة منها من خلال جلبها إلى فوهة كهف بئر الحمام من خلال تحويل هذه المجاري باتجاه الكهف باستخدام الأسلوب نفسه، الذي تم الحديث عنه في كهف الفهدة (السدود الترابية)، حيث يتسع الكهف لأكثر من 60 ألف م³ من المياه والتي سيتم الاستفادة منها باتجاهين: الأول تغذية الأحواض الجوفية اعتماداً على خصائص الطبقات البازلتية التي تؤمن جريان تحت سطحي ممتاز، والآخر حفظ هذه المياه لأي استخدامات أخرى وبدون تعرضها للتبخّر بنسب عالية، حيث تصب معظم المجاري المائية في هذا الحوض في قاع (خنا، وقاع أبو الحصين) وهناك تتعرض للتبخّر بشكل شبه كامل.

وتم دراسة كافة الأودية والمجاري المائية في منطقة كهف بئر الحمام لتحديد أنسب الأماكن لجر مياه الأودية القريبة (الاريتين، والبشرية)، وهي الأقرب لهذا الكهف حيث تبين أن أحد الأفرع الصغيرة لوادي البشرية يصب مباشرة، وبشكل طبيعي في الكهف أما المجرى الآخر (وادي الاريتين) يمكن جلب نسبة من مياهه إلى الكهف بإنشاء سد ترابي (6 آلاف متر مكعب وقناة تربط هذا السد بفوهة الكهف بطول 1100م). ويبين الشكل (8) الحوض المائي (Catchment Area) لمنطقة كهف بئر الحمام والأودية والمجاري المائية في هذا الحوض والقناة المقترحة.



الشكل (8)

نمذجة هيدرولوجية لمنطقة تصريف كهف بئر الحمام

أنفاق اللافا الرئيسية. وقد تبين ذلك من خلال حساب كميات الجريان السطحي الناتج عن الهوطل المطرية المختلفة، التي أكدت وجود كميات كبيرة من التدفقات السطحية من خلال الأودية والقنوات والمقدرة بمئات الآلاف من الأمتار المكعبة التي يمكن الاستفادة منها من خلال جرها إلى مواقع أنفاق اللافا، وبالتالي تخزينها لتحقيق الغايات المرجوة والمتمثلة بتأمين تغذية للمياه الجوفية من خلال هذه الكهوف.

4. يمكن إيصال المجاري المائية (الأودية) إلى بعض أنفاق اللافا لاستخدامها؛ لتخزين المياه نظراً لقلّة معدلات التبخر في هذه الأنفاق، حيث تقدر كميات المياه التي يمكن تخزينها في هذه الأنفاق بحوالي (86) ألف متر مكعب. إضافة إلى كميات أخرى يعتقد أنها بحجم أكبر من ذلك بكثير سيتم تسريبها إلى الخزانات الجوفية (Upper Aquifers) من خلال هذه الأنفاق. ويتم ذلك من خلال جلب المياه السطحية من الأودية الرئيسية والثانوية والمجاري المائية المختلفة الأحجام، والتي تقدر بأكثر من مليون متر مكعب/سنة في منطقة الدراسة، والتي تجري في فصل الشتاء حال حدوث العواصف المطرية الصحراوية وذلك من خلال تعديل مساراتها لتصب في الكهوف الطبيعية (أنفاق اللافا) الكبيرة التي يمكن أن تؤمن تخزين جيد للمياه الجارية وتؤمن تغذية للأحواض الجوفية.

5. تم دراسة مناطق التصريف (الأحواض الجوفية)

نتائج البحث

يمكن تلخيص أهم نتائج الدراسة على النحو التالي:

1. تعد أنفاق اللافا (Lava Tunnel) الأكثر شيوعاً، ويصل بعضها إلى مئات الأمتار طوياً وآلاف الأمتار المكعبة حجماً، ومن أشهرها كهف (الفهدة) الذي يبلغ طوله حوالي (923م)، وكهف (بئر الحمام) الذي يبلغ حجمه حوالي (60) ألف متر مكعب. وتقع جميعها في مناطق منخفضة يمكن إيصال المجاري المائية والأودية إليها بسهولة. بينما تتشكل باقي الكهوف من الـ (Pressure Ridge) التي تقع في مناطق مرتفعة وتمتد لمسافات بسيطة عشرات الأمتار وأحجام قليلة مئات الأمتار المكعبة وأقل. وقد تمت دراسة كهف الفهدة وكهف بئر الحمام كحالة دراسية لتحقيق أهداف هذه الدراسة.
2. تمتاز الكهوف الطبيعية التي تتشكل من أنفاق اللافا بخصائص جيولوجية متشابهة، حيث تتكون بشكل أساسي من الصخور البركانية (بازلت)، التي تتواجد على شكل طبقات بازلتية مختلفة (صفائح بازلتية) بمختلف أنواعه مع سيادة كبيرة للـ (Scoriaceous and Phyric Basalt) والتي تمتاز بخصائص جيدة من حيث توفر إمكانات عالية للنفاذية من خلال كثرة الفجوات والشقوق والصدوع، مما يسهم في تنفيذ المياه السطحية إلى الخزانات الجوفية.
3. هنالك إمكانية كبيرة لجريان المياه السطحية في الأحواض المختلفة، التي تشمل كافة المواقع التي تنتشر بها

لهذه الأحواض وخاصةً تلك القادمة من جبل الدروز/ جبل العرب.

2- تقليل الاعتماد على المياه الجوفية؛ لتأمين المتطلبات الضرورية (الشرب، الزراعة)؛ وذلك بإنشاء مشاريع جمع المياه السطحية (السدود والحفائر) لتحقيق غايتين رئيسيتين؛ الأولى تأمين الاحتياج من المياه، والأخرى المساهمة في زيادة معدلات تغذية الخزانات الجوفية من خلال هذه المسطحات المائية.

3- استغلال الكهوف الطبيعية (أنفاق اللافا)؛ لتخزين المياه السطحية كأسلوب عملي وحقيقي؛ لتغذية الخزانات الجوفية؛ وذلك من خلال جلب أكبر كمية ممكنة من مياه الفيضان إلى هذه الكهوف وذلك بإنشاء سدود ترابية (حفائر) على الأودية القريبة من هذه الكهوف وحفر قنوات ترابية تربط ما بين هذه الحفائر وفوهات الكهوف مع حفر آبار مراقبة قريبة من مواقع الكهوف لدراسة تأثير استخدام هذه الكهوف لغايات التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية على نوعية هذه المياه.

4- إجراء دراسات تفصيلية عن المجاري المائية والأودية لمعرفة أنواع الترب والغطاء النباتي الموجود بها وتحديد خصائصها الجيولوجية والجيوكيميائية؛ لمعرفة مدى مساهمتها في التغذية الطبيعية للخزانات الجوفية.

لنفقين رئيسين وعمل نمذجة هيدرولوجية لهذه الأحواض وتحديد شكل القنوات، وكيفية تحويل مساراتها إلى هذه الكهوف وحساب كميات المياه المتدفقة التي يمكن إيصالها لهذه الكهوف التي تقدر بحوالي (252314 م³ / سنة لكهف الفهدة و616448 م³ / سنة لكهف بئر الحمام) التي كانت تتدفق إلى القيعان الواقعة شمال منطقة الأزرق، حيث تتبخر هناك بشكل شبه كلي.

6. تبين من خلال الدراسة أن عملية تحويل مسارات المجاري المائية والأودية باتجاه الكهوف (أنفاق اللافا) الرئيسية (الفهدة، بئر الحمام) التي تم دراستها لا يحتاج إلى جهد أو كلف مالية كبيرة حيث تقدر مجموع أطوال القنوات اللازمة لإيصال هذه المياه إلى هذه الكهوف بحوالي (4) كم إضافة إلى إنشاء (2) سدود ترابية بسيطة (حفائر) بأحجام (5-10) آلاف متر مكعب/حفيره؛ وذلك لضمان حجز المواد الرسوبية وعدم وصولها إلى الكهوف للحد من تأثيرها على نفاذية الطبقات البازلتية التي تتشكل منها هذه الكهوف.

التوصيات

1- التوسع في دراسة الأحواض المائية الجوفية في منطقة البادية الشمالية الشرقية (الهضبة البازلتية) وبشكل دقيق ومنفصل عن حوض الأزرق؛ لتحديد كميات التغذية الحقيقية

المصادر والمراجع

المراجع العربية

- دائرة الأرصاد الجوية، (2006). وثائق رسمية.
سلامة، الياس. (1994). مشكلة المياه في الأردن، مركز الدراسات الاستراتيجية والبحوث والتوثيق، الطبعة الأولى، بيروت.
سلطة المصادر الطبيعية بالتعاون مع المركز الجغرافي الملكي والمجلس الأعلى للعلوم والتكنولوجيا، (2001). الخارطة الجيولوجية والمعدنية لمنطقة البادية الأردنية الشمالية الشرقية بمشاركة الدكتور خليل إبراهيم والمهندس إبراهيم رابعة والدكتور خالد طراونة.
سلطة وادي الأردن، (2006). وثائق رسمية.
سمارة، معاوية. (1997). الموارد المائية في الأردن واستثماراتها حتى عام 2025، سلطة المياه، وزارة المياه والري، عمان، الأردن.
الطعاني، ركان. (1999). مصادر المياه واستعمالاتها في الأردن، وزارة المياه والري، عمان؛ التأثيرات السلبية الناجمة عن استثمار المياه الجوفية والاستخدام الأمثل لها، وزارة المياه والري، عمان، 1991.
عابد، عبد القادر. (1982). جيولوجية الأردن، منشورات مكتبة النهضة الإسلامية، عمان، الأردن.
مديرية زراعة محافظة المفرق، (2006). وثائق رسمية.
المركز الجغرافي الملكي، (2006). وثائق رسمية.

- الأنصاري، نظير عباس. (2005). علم المياه السطحية التطبيقي، المكتبة الوطنية، عمان/الأردن.
الأنصاري، نظير عباس والياس سلامة وحسان العمري. (1999). تحليل الهواطل المطرية لمحطات البادية الأردنية، ورقة بحثية لجامعة آل البيت/ وحدة البحوث الإستراتيجية للبيئة ومواد المياه.
برنامج بحوث تطوير البادية الأردنية، (1995). وثائق رسمية.
برهم، نسيم، وعنبر، علي. (2005). البعد الاجتماعي لمشكلة المياه: حالة دراسية - وادي الأردن الشرقي، مجلة جامعة النجاح للبحوث (العلوم الإنسانية)، المجلد 19، العدد 4.
الخرابشة والملاعبة، (2002). تقنيات الحصاد المائي في وادي المغاير - حوض الأزرق المائي/ الأردن، وأثره على الوضع البيئي في المنطقة الصحراوية، ورقة بحثية قدمت لندوة التنمية العمرانية في المناطق الصحراوية التي عقدت في الرياض/ السعودية.

خوالدة، حمزة. (2015). ادراك طلبة الجامعة الأردنية لمشكلة شح المياه والتكيف معها، دراسات: العلوم الإنسانية والاجتماعية، عدد 42، ملحق 2.

- Margin, Kegan Paul International, London.
- Al-Malabeh, A. (1989). The volcanic succession of jabal Aritain volcano, NE Jordan: A field. Petrographic and geochemical study. Unpubl. M.Sc. Thesis, Yarmouk University, Irbid-Jordan.
- Al-Malabeh, A. (1993). The Volcanology Mineralogy and Geochemistry of Selected Pyroclastic Cones from NE Jordan and their evaluation for possible industrial applications. Ph.D. thesis, Universitat Erlangen, Nurnberg-Germany.
- AL-Malabeh, A. (2005). New Discovered to Support an Environmental Tourism in Jordan First Economic Jordanian Forum, Mafraq-Jordan.
- AL-Malabeh, A. Kempe, S. Frehat, M. and Henschel, H.-V. (2006). b. AL-Fahda Cave, Jordan, the Longest Lava Cave Yet Reported from the Arabian Peninsula. Abstract XII Intr.
- Al-Malabeh, A. Kempe, S. Henschel, H. -V. (2004). Lava caves of Jordan: The 8th International Conference of Jordanian Geologists Association, Amman, Abstracts.
- Al-Oufi, Ahmad N. (2006). Geophysical Exploration of Lava tubes in Umm EL-Quttein Area, NE JORDAN.
- AL-Qadi, Qaher Nawwaf, (2003). Ground Water Resources Evaluation and Managent in North-East Mafraq-Jordan "Ground Water Quantitative And Qualitative 3-D Modling" University of Jordan Amman.
- Baban, S. M. J and Al-Ansari, N. A. (2001). A Research Agenda to Minimise Environmental Degradation Using Remote Sensing and GIS. In Baban, S. M. J. And Al-Ansari, N. A. (eds.). Living with water scarcity: Water Resources in Jordan, Badia Region, and The Way forward. Al al-Bayt University, Jordan.
- Barberi, F. Capaldi, P. Gasperini, G. Marineli, G. Santacoece T. Scandore, R. Treuil, M. And Varet, (1979). J. Recent Basaltic Volcanism of Jordan and its Implications on the Geodynamic History of the Dead Sea shear zone.
- Bender, F. (1974). "Geology of Jordan". Supplementary edition in English with minor revision. Gebr. Borntraeger: 196.
- Bloom, A.L. (1978). Geomorphology a Systematic Analysis of Late Cenozoic Land Forms, (1st edition). New Jersey: Prentice Hall.
- Bouwer Herman, (1996). Artificial Recharge of Groundwater, paper produced on workshop organized by development alternatives, inc. science applications
- مزيد، يونس إبراهيم. (2006). بحث ماجستير بعنوان الوضع المائي (مياه الشرب) من مصادرها المختلفة في محافظة جرش وإدارة الطلب عليها خلال الفترة (1994-1995)، جامعة آل البيت. وزارة الداخلية، (2010). وثائق رسمية. وزارة الزراعة، (2010). وثائق رسمية. وزارة المياه والري، (1977). (الخطة القومية للمياه)، ص4. وزارة المياه والري، (2002). إستراتيجية المياه والسياسات المائية في الأردن. وزارة المياه والري، (2002). المياه المتاحة والمتوقعة للزراعة المروية، تقرير داخلي. وزارة المياه والري، (2013). التقرير السنوي للمياه، سلطة وادي الأردن، عمان، الأردن. وزارة المياه والري، (2013). التقرير السنوي. وزارة المياه والري، (2013). وثائق رسمية. وزارة المياه والري، (1999). التقرير السنوي للمياه، سلطة وادي الأردن، عمان لعام ص59.
- المراجع الإنجليزية**
- Al-Adamat, Rida Ali Nejem. (2002). The Use Of Geographical Information Systems (Gis) And Remote Sensing To Investigate Groundwater Quality In The Azraq Basin, Jordan.
- Al-Ansari, N. A. and Baban S. M. J. (2001). The Climate and Water Resources. In Baban, S. M. J. and Al-Ansari, N. A. (eds.). Living with Water Scarcity: Water Resources in Jordan, Badia Region, and The way forward. Al al-Bayt University, Jordan.
- Al-Assa'd, T. A., and Abdulla, F. A. (2010). Artificial Groundwater Recharge to a Semi-arid Basin: Case Study of Mujib Aquifer, Jordan. Environmental earth sciences, 60, (4), P: 845-859.
- AL-Farajat, M. (1997). Karstification in B4 Unit North-West of Irbid, and its Role in Enhancing Human Impacts on the Local Groundwater Resources. M. Sc thesis, University of Jordan, Amman-Jordan.
- Al-Kharabsheh, Atif. (1991). Hydrogeological and Hydrochemical study of the Upper Aquifer System in Azraq Basin, Jordan. MSc Thesis, Yarmouk University.
- AL-Kharabsheh, Atif. (1995). Possibilities of Artificial Groundwater Recharge in the Azraq basin: Potential Surface Water Utilization of five representative catchment areas (Jordan).
- Allison, R. J. (2000) Geomorphology of the Eastern Badia Basalt Plateau, the Geographical Journal.
- Allison, R. J. R, Clarke, J. and Battikhi, (1998). Geology, Geomorphology, Hydrology, Groundwater and Physical Resources. In Dutton, A. (eds.), Arid Land Resources and their Management, Jordan Desert

- er/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf.
- Salameh, E. Al-Ansari, N. and Al-Nsoor, I. (1997). Water and Environment in the Area East of Mafraq and their Developmental Potentials. Report No. (1). Strategic Environment and Water Resources Unit, AL Al-Bayt University, Jordan.
- Salameh, E. And Bannayan, H. (1993). Water Resources of Jordan, Present status and Future Potentials. Friedrich Ebert Stiftung, Amman.
- Salameh, Elias, (1996). Water Quality Degradation in Jordan, Amman, Ebert, the Higher Council of Science and Technology.
- Shatanawi, M. Al-Weshah, R. and Al-Ayed, R. (1999). Relationship between Surface and Groundwater for Artificial Recharge, Internal Report, Jordan Badia Research and Development Programme, Amman, Jordan.
- Sheffer, N. A. Cohen, M. Morin, E. Grodek, T. Gimburg, A. Magal, E. and Frumkin, A. (2011). Integrated Cave Drip Monitoring for Epikarst Recharge Estimation in a Dry Mediterranean Area, Sif Cave, Israel. *Hydrological Processes*, 25, (18), P: 2837-2845.
- Tarawneh, K. Ilani, S. Rabba, I. Harlavan, Y. Peltz, S. Ibrahim, K. Weinberger, R. and Steinitz, G. (2001). Dating of the Harrat Ash Shaam Basalts Northeast Jordan (Phase 1).
- Uren, L. C. (1939). *Petroleum Production Engineering, Oil Field Exploitation*: New York.
- USDA (United State Department of Agriculture). (1994). Permeability Key, Found at: [Http://www.mn.nrcs.usda.gov/mo10/mo10guides/permkey](http://www.mn.nrcs.usda.gov/mo10/mo10guides/permkey).
- Van Den Boom, G. And Sawwan, O. (1966). Report on Geological Studies of the Plateau Basalts in NE Jordan. Germ. Geol. Missionin, Amman.
- Waddingham, J. (1994). Water Demand in the North-east Badia, Jordan. Unpublished M.Sc. Thesis. University of Newcastle Upon yne, UK.
- Waltham, A.C. and Park, H.D. (2002). Road over Lava Tubes in Cheju Island, South Korea. *Engineering Geology*.
- International Corporation, Jordan/ Amman.
- Charles, E. Price. (1960). Artificial Recharge of a Well Tapping Basalt Aquifers.
- Daher, W. Pistre, S. Kneppers, A. Bakalowicz, M. and Najem, W. (2011). Karst and artificial recharge: Theoretical and practical problems: A preliminary approach to artificial recharge assessment. *Journal of Hydrology*, 408, (3), P: 189-202.
- Dottridge, J. (1994). Groundwater Resources and Quality, Jordan Badia Research and Development Programme, Jordan.
- Frehat, Mahmoud Mohamed, (2006). Environmental and Geological Evaluation of Newly Discovered AL-Fahda Lava Tunnel, NE-Jordan; and their conservation possibilities As a Potential Geotop, Master Thesis the Hashemite University.
- Frist Van Der, (1990). (The water encyclopedia, second edition).
- Hirzalla, Bader, (1995) Water Resources Planning and Management in the ESCWA Region, Quality Assurance and Quality Control for Water Data in OIC Countries, Al- Albayt University, Al-Mafraq.
- Ibrahim, K. And AL-Malabeh, A. (2006). Geochemistry of Harrat EL-Fagda and their Associated Pressurs Ridge. *J. Asian Erath Sci.* (in press).
- Kempe, S. and AL-Malabeh, A. (2005). Newly Discovered Lava Tunnels of the AL-Shaam Plateau Basalts, Jordan: EUG Geophysical Research Abstracts.
- Moffat, D.T. (1988). A Volcano Tectonic Analysis of the Cenozoic Continental Basalts of Northern Jordan; Implications for Hydrocarbon Prospecting in the Block B area. ERI Jordan.
- Newcomb, R.C. (1959). Some Preliminary Notes on Ground Water in the Columbia River Basalt, in *Northwest Science*.
- Piscopo, G. (2001). Groundwater Vulnerability Map, Explanatory Notes, Castlereagh Catchment, NSW Department of Land and Water Conservation, Australia,. Found at: [at:Http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwat](http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwat)

Artificial Recharge of Ground Water in the Basaltic Plateau in the Northeast of Jordan through Natural Caves Using GIS

*Mohammad Sh. Elswiti**

ABSTRACT

This study aimed at using artificial groundwater recharge techniques through natural caves in the basaltic plateau in the northeast of Jordan. The recharge was through lava tunnels, which have been studied through a detailed and accurate field survey, aiming to identify these caves (size, geology, and the potential contribution to the artificial recharge of ground water). The two main caves that meet practical and technical requirements to achieve this purpose, Al-Fahdah cave and Beer Al-Hamam cave were chosen as a case study. The study found that the capacity of these caves is estimated at 86 thousand cubic meters of water. In addition, these caves have high ability to pass water through to the aquifers because they contain cracks and voids that provide good scalability to force water to pass through it. Artificial canals and earth-fill dams are used to secure commensurate amount of water with the size of the caves, and to prevent sediment from reaching the cave. To achieve that, the drainage area for each cave was studied separately using GIS to define the amount of water that can be harvested. The amount of water which can be utilized for this purpose was estimated at 200 thousand m³ / year for Al-Fahdah cave and (500) thousand m³ / year for the Al-Hamam cave. The study concluded that there is a large amount of wasted water that can be used fully or partly using artificial recharge methods of groundwater through natural cave.

Keywords: Ground Water, Recharge of Water, Natural Caves, Jordan.

* Directorate of Education and Military Culture, Department of University Education, Received on 10/04/2016 and Accepted for Publication on 21/05/2016.