

2022

## Analysis of Hydrochemical properties and seasonal karst solution (spring and summer seasons) of spring water in Ajloun Governorate

Mohammad Qoqazeh

*Ministry of Education, Jordan., mohammadqoqazeh2016@gmail.com*

Ali Al Ananzeh

*Department of Geography, College of Arts, University of Jordan, Jordan.*

Omar Al-Rimawi

*Department of Geology, College of Science, University of Jordan, Jordan*

Follow this and additional works at: [https://digitalcommons.aaru.edu.jo/anujr\\_b](https://digitalcommons.aaru.edu.jo/anujr_b)

---

### Recommended Citation

Qoqazeh, Mohammad; Al Ananzeh, Ali; and Al-Rimawi, Omar (2022) "Analysis of Hydrochemical properties and seasonal karst solution (spring and summer seasons) of spring water in Ajloun Governorate," *An-Najah University Journal for Research - B (Humanities)*: Vol. 36: Iss. 8, Article 3. Available at: [https://digitalcommons.aaru.edu.jo/anujr\\_b/vol36/iss8/3](https://digitalcommons.aaru.edu.jo/anujr_b/vol36/iss8/3)

This Article is brought to you for free and open access by Arab Journals Platform. It has been accepted for inclusion in An-Najah University Journal for Research - B (Humanities) by an authorized editor. The journal is hosted on [Digital Commons](#), an Elsevier platform. For more information, please contact [rakan@aarj.edu.jo](mailto:rakan@aarj.edu.jo), [marah@aarj.edu.jo](mailto:marah@aarj.edu.jo), [u.murad@aarj.edu.jo](mailto:u.murad@aarj.edu.jo).

تحليل الخصائص الهيدروكيميائية والإذابة الكارستية الفصلية (الربيع، الصيف) لمياه الينابيع في محافظة عجلون

**Analysis of Hydrochemical properties and seasonal karst solution (spring and summer seasons) of spring water in Ajloun Governorate**

محمد قوقزه<sup>1\*</sup>، وعلي العنانزة<sup>2</sup>، وعمر الريماوي<sup>3</sup>

**Mohammad Qoqazeh<sup>1</sup>, Ali Al Ananzeh<sup>2</sup> & Omar Al-Rimawi<sup>3</sup>**  
وزارة التربية والتعليم، الأردن. <sup>2</sup>قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الجامعة الأردنية، الأردن.  
<sup>3</sup>قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، الجامعة الأردنية، الأردن

<sup>1</sup> Ministry of Education, Jordan. <sup>2</sup>Department of Geography, College of Arts, University of Jordan, Jordan. <sup>3</sup>Department of Geology, College of Science, University of Jordan, Jordan

\*الباحث المراسل: mohammadqoqazeh2016@gmail.com

تاريخ التسليم: (2020/5/27)، تاريخ القبول: (2020/9/28)

### ملخص

تناولت الدراسة تحليل الخصائص الهيدروكيميائية ودرجة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في محافظة عجلون، هادفة إلى تحليل التباين في سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في فصل الربيع والصيف، بالإضافة إلى تحديد قدرة مياه الينابيع في متابعة نشاطها الكارستي، وقد استخدم في عملية التحليل الأساليب الإحصائية مثل: اختبار (t) للعينات المرتبطة، ومعامل الارتباط، والتباين، بالإضافة إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS). وتوصلت الدراسة إلى وجود تباين مكاني وزماني واضح في سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع، حيث وصل الفرق بين فصل الربيع والصيف إلى حوالي 7.81 ملم/1000 سنة، ودلت نتائج اختبار (t) للعينات المرتبطة إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية (0.034)، وكما أظهرت الخرائط المكانية لنطاقات الكارست وجود تباين مساحي واضح بين النطاقات الكارستية بين الفصلين، حيث تزايدت مساحة نطاق الكارست المهدوم والضعيف على حساب مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع. وكما كشفت الدراسة أن مياه الينابيع كانت متباينة فصليا في قدرتها على متابعة نشاطها الكارستي عند لحظة تدفقها على السطح.

**الكلمات المفتاحية:** درجة الإذابة الكارستية، النشاط الكارستي، الحزمة الإحصائية (SPSS)، ونظم المعلومات الجغرافية، مياه الينابيع.

## Abstract

The study dealt with analyzing the hydrochemical properties and the degree of karst solution of spring water in Ajloun Governorate, aiming to analyze the variation in the speed of karst solution of spring water in the spring and summer season, in addition to determining the ability of spring water to follow its karst activity. Statistical methods such as: testing have been used in the analysis process paired (t) test, correlation coefficient, and variance, in addition to the use of Geographic Information Systems (GIS). The study found a clear spatial and temporal variation in the karst dissolution speed of spring water. The difference between spring and summer reached about 7.81 mm/1000 years, and the results of paired (t) test indicated the presence of statistically significant differences (0.034). The spatial maps of the karst ranges also showed there is a clear spatial variation between the karstic ranges between the two seasons as the area of the rare and weak karst band increased at the expense of the medium and high karst band area. The study also revealed that the spring water was seasonally different in its ability to follow its karst activity at the moment when flowed to the surface.

**Keywords:** Karst Solution, Karst Activity, Statistical Package (SPSS), Geographic Information Systems (GIS), Spring Water.

## المقدمة

تعد دراسة الكارست من الدراسات النادرة التي يتطرق إليها معظم الجيومورفولوجيين حتى وقت قريب، حيث كانت تتم دراسة موضوع الكارست بصورة وصفية، ولكن مع تقدم العلوم لم تعد تلقى قبولاً لدى المختصين بالكارست، لا سيما بعد أن وضع التطور العلمي في متناولهم وسائل دراسة وأساليب البحث المخبري والكيميائي والرياضي مما مكنهم من تدعيم نتائج الأبحاث والدراسات الحقلية، ومساعدتهم على التقدير الكمي للنشاط الكارستي ومدى تأثير الظروف الطبيعية على الصخور الجيرية، وخاصة أنها تحتوي على الغالبية العظمى من الظواهر الكارستية في العالم، (الشعال، 2009، ص 231).

## أهمية الدراسة

تظهر أهمية هذه الدراسة من خلال التركيز على توضيح التباين المكاني والزمني للينابيع المائية خلال فصل الربيع والصيف، ومن ثم حساب مساحة نطاقات الإذابة الكارستية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ لربط وتفسير العلاقات القائمة بين معدلات صافي التساقط

وسرعة الإذابة الفصلية من جهة، وتحليل التباين الفصلي لسرعة الإذابة الكارستية باستخدام (t) المزدوجة من جهة أخرى.

#### أهداف الدراسة

يمكن تلخيص أهم أهداف الدراسة بما يلي:

1. حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة.
2. دراسة تباين سرعة الإذابة الكارستية الفصلية (الربيع والصيف) لمياه الينابيع في منطقة الدراسة.
3. تحديد نطاقات الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة.
4. تحليل مدى قدرة مياه الينابيع في متابعة نشاطها الكارستي خلال فصلي الربيع والصيف.

#### مشكلة الدراسة وتساؤلاتها

تتلخص مشكلة الدراسة في التساؤلات التالية:

1. هل يوجد تباين فصلي في معدلات الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة؟
2. هل أدى التباين في معدلات صافي التساقط المطري إلى تباين معدلات الإذابة الفصلية في منطقة الدراسة؟
3. هل يوجد تباين في مدى متابعة النشاط الكارستي الفصلي لمياه الينابيع في منطقة الدراسة؟

#### فرضية الدراسة

تتمحور فرضية الدراسة بفرضية رئيسية حول: (لا يوجد فرق في معدلات الإذابة الكارستية ذو دلالة إحصائية بين فصل الربيع والصيف للينابيع المائية في منطقة الدراسة).

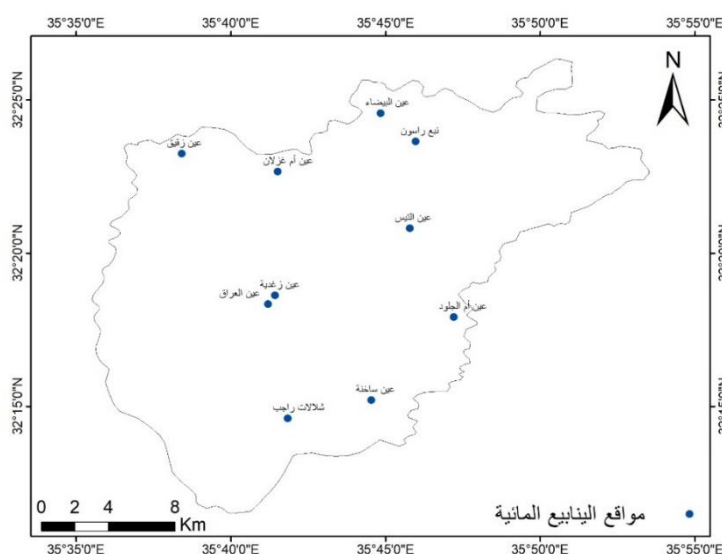
#### منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتحليل الخصائص الكيميائية لمياه الينابيع في فصلي الربيع والصيف؛ من أجل تفسير وتحليل التباين بين درجات الإذابة الكارستية في منطقة الدراسة.

#### إجراءات البحث

من أجل تحليل الخصائص الكيميائية للمياه الينابيع في منطقة عجلون، فقد اعتمدت الدراسة على العمل الميداني والمخبري وذلك كما يلي:

1. **العمل الميداني:** تم اختيار عشرة من الينابيع المنتشرة في منطقة الدراسة، وقد روعي في اختيار هذه الينابيع المائية تغطية معظم منطقة الدراسة الشكل (1)، وتم جمع العينات من الينابيع على فترات مختلفة خلال فصلي الربيع والصيف.
2. **العمل المخبري:** اشتمل العمل المخبري على التحليل الكيميائي لمياه الينابيع المدروسة، حيث تم قياس العناصر التالية: قياس الموصلية الكهربائية ( $EC \mu S/cm$ )، ومجموع الأملاح الذائبة ( $TDS mg/L$ )، ودرجة الحموضة ( $pH$ )، وتحليل الأيونات الموجبة: (الكالسيوم، والمغنيسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم)، والأيونات السالبة: (الكلوريد، والبيكربونات، والنترات، والكبريتات)، وأجريت التحليل في مختبرات قسم الجيولوجيا -كلية العلوم-الجامعة الأردنية.



**شكل (1):** مواقع الينابيع المائية في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على العمل الميداني). أسلوب البحث

**معامل الاختلاف (Coefficient of variation):** وتم استخدامه لقياس مستويات التباين الفصلي (الربيع، والصيف) في معدلات الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة، ويعبر عن نسبة التباين بالنسبة المئوية، وذلك بتطبيق المعادلة التالية (شحادة، 2020، ص 183):

$$\text{الاختلاف} = \frac{\text{المتوسط الحسابي}}{\text{الانحراف المعياري}} * 100$$

**اختبار (t) المزدوجة:** ويعد هذا الأسلوب من أكثر الأساليب الإحصائية استخداماً من قبل الباحثين الجغرافيين، ويعتمد هذا الأسلوب أساساً على حساب الفرق بين المتوسطات الحسابية للعينتين المزدوجتين (شهادة، 2020، ص 291). وتم استخدام هذا الأسلوب من أجل اختبار الفرضية لتحديد فيما إذا كان هنالك فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسط سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع خلال فصلي الربيع والصيف.

**برمجية نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information System):** تم عمل التحليل المكاني لنطاقات الإذابة الكارستية للينابيع المائية المدروسة، للاستدلال على مؤشرات تغيرات معدلات الإذابة الكارستية في فصل الربيع والصيف وذلك عن طريق حساب مساحة كل نطاق في منطقة الدراسة، وذلك باستخدام أسلوب الاستكمال المكاني (Interpolation) في برمجية نظم المعلومات الجغرافية (ARC-GIS)، إضافة إلى إنتاج خرائط متعلقة بموضوع البحث.

**برنامج فريكيسي (Phreeqci-2.12.5-669):** واستخدم هذا البرنامج لاستخراج نتائج الخصائص النوعية لمياه الينابيع خلال فصلي الربيع والصيف، ومن ثم تحديد معرفة مدى متابعة النشاط الكارستي.

#### المعادلات الرياضية المستخدمة في البحث

تم الاعتماد في هذه الدراسة على المعادلات التجريبية التالية:

**معادلة (كوربل J. Corbel) التجريبية لحساب درجة الإذابة الكارستية:**

$$V = \frac{4ET}{100} \quad (\text{سلوم وسعيد، 2017، ص 513})$$

$V$  = سرعة الإذابة الكارستية المقدرة بـ (ملم/1000 سنة).

$E$  = معدل التساقط السنوي المقدر بـ (دسم).

$T$  = المتوسط السنوي للمحتوى الكربوناتي مقدراً بـ (ملغرام/لتر).

2. معادلة تورك Turc لحساب التبخر – النتج الفعلي السنوي:

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (\text{JONES, 1997, P60})$$

$Er$  = معدل التبخر – النتج الفعلي (ملم/سنة).

$P$  = معدل التساقط السنوي بـ (ملم).

$L$  = معامل رياضي يساوي  $300 + (T * 25) + (T^3 * 0.05)$

حيث أن  $T$  = متوسط درجة الحرارة السنوي مقدراً بالدرجة المئوية (م°)

## الدراسات السابقة

تناولت العديد من الدراسات السابقة موضوع الإذابة الكارستية والظواهر المتعلقة بها، وفيما يلي عرض لبعض الدراسات المحلية والإقليمية والعالمية:

دراسة سلوم وسعيد (سلوم وسعيد، 2017، ص 509) بعنوان "التحلل الكارستي في منطقة الدالية" وهدفت هذه الدراسة إلى التعرف على الخصائص المتعلقة بالتحلل الكارستي، وتقدير سرعة التحلل الكارستي في المنطقة، واستخدم الباحث المنهج الاستقرائي من أجل معرفة دور الخصائص الطبيعية، ومدى وملائمتها لنشوء الأشكال الكارستية في منطقة الدراسة، وتوصلت الدراسة إلى أن سرعة التحلل الكارستي بلغت في نبع الدالية 22.96 ملم/1000 سنة، كما بينت الدراسة أن هذه السرعة غير كافية لتفسير الأشكال الكارستية الحالية في المنطقة.

دراسة نعمانه (Na'amneh, Eyad, 2011, P 1-100) والتي استخدمت هذه طريقتا الرادون المشع والمقاومة الكهربائية التوموغرافية لدراسة نظم الكهوف الكارستية في شمال الأردن، وأظهرت نتائج الدراسة أن متوسط تركيز غاز الرادون في الكهوف في شمال إربد هو (6.18 كيلو بكيريل/م<sup>3</sup>)، وأعلى قيمة لتركيزه كانت (25.17 كيلو بكيريل/م<sup>3</sup>).

دراسة فيستال وآخرون (Festal, et al. 2011, P 137-147): والتي تناولت خطر المجاري المائية الناتجة عن فعل حفر الإذابة الكارستية وتأثيرها على النشاط البشري، واستخدم الباحث تحليلات جيولوجية، مورفولوجية، وجيوفيزيائية، والتحليل التاريخي للصور الجوية متعددة السنوات، وحددت الدراسة عدة مراحل لتطور المجرى المائي، وأثبتت الحاجة إلى تقييم دقيق للتطور المحتمل للحفر الكارست في منطقة كاتول.

دراسة حاج حسن (حاج حسن، 1997، ص 1-42) بعنوان الخصائص الهيدروكيميائية ودرجة التحلل الكارستي في نبع عين الفيحة - سوريا، وهدفت الدراسة إلى تحديد سرعة التحلل الكارستي ومن ثم تحديد الخصائص النوعية لمياه نبع الفيحة، واستخدم الباحث المعادلات الرياضية لقياس سرعة التحلل الكارستي، وتوصلت الدراسة إلى أن سرعة التحلل بلغت في مياه نبع الفيحة حوالي 3.96 ملم/1000 سنة.

دراسة عودة (عودة، 1985، ص 65-91) بعنوان "جيو مورفولوجية منخفضات الإذابة في شمال الأردن: دراسة تطبيقية لمنطقة جور المجادل" وهدفت هذه الدراسة إلى محاولة إيضاح الدور الذي لعبته عمليات الإذابة في نشأة المنخفضات في شمال الأردن عن طريق الدراسة الميدانية، وأظهرت نتائج الدراسة أن منخفضات الإذابة نشأة بطريقتين: الأولى عمليات الهبوط البطيئة، والثانية عمليات الهبوط المفاجئة.

ويتضح من الدراسات السابقة التي تناولت تحديد سرعة الإذابة الكارستية في مناطق عديدة في العالم، ندرة دراسة التباين الفصلي في درجات الإذابة الكارستية باستخدام برمجية التحليل الإحصائي (SPSS) وبرمجية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وهذا ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة.

## الموقع والخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

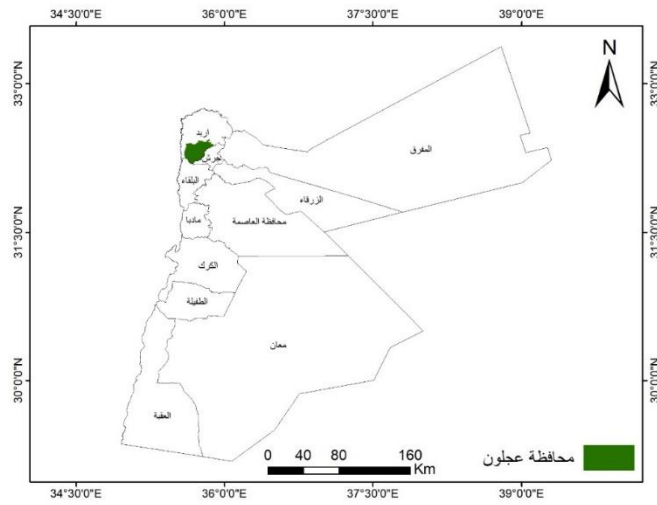
تقع محافظة عجلون شمال المملكة الأردنية الهاشمية، ويحدها من الشمال والغرب محافظة إربد، ومن الشرق محافظة جرش، ومن الجنوب محافظة البلقاء، وتمتد بين دائرتي عرض 32° 11' 29" إلى 32° 26' 27" شمالاً وبين خطي طول 35° 21' إلى 35° 47' شرقاً، وتبلغ مساحتها حوالي 419.6 كم<sup>2</sup> وتبعد عن العاصمة عمان حوالي 67 كم (المركز الجغرافي الملكي، 2020)، الشكل (2). وتقع أعلى قمة جبلية في المحافظة في بلدة عنجرة بمنسوب يبلغ 1234 متراً (فوق مستوى سطح البحر)، في حين أن أدنى منسوب يقع عند منطقة راجب الشفا غوريه والبالغ 339 متراً دون مستوى سطح البحر، الشكل (3).

ويسود في منطقة الدراسة مناخ البحر المتوسط الذي يمتاز بفصل شتاء بارد وماطر، وحرار جاف صيفاً، ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية حوالي 15.2 درجة مئوية في محطة رأس منيف، وتتراوح كميات الأمطار في منطقة الدراسة ما بين أقل 300 ملم/ سنة في المناطق الشفا غورية وأعلى من 550 ملم/ سنة في المناطق الجبلية المرتفعة (الشكل 4)، (دائرة الأرصاد الجوية، 2016).

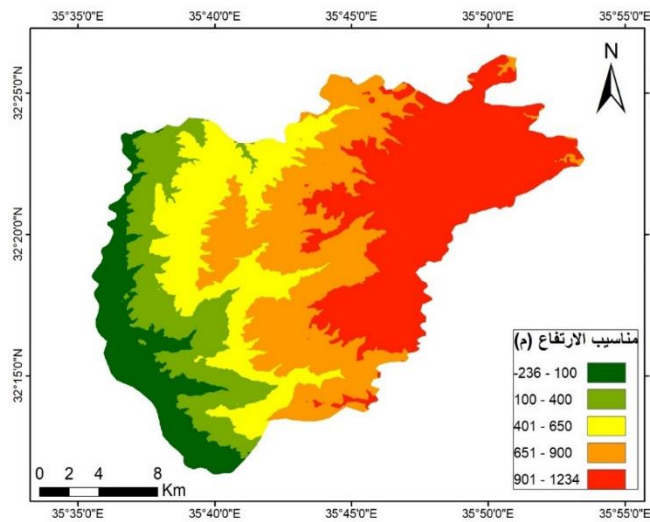
تتميز التراكيب الجيولوجية في منطقة الدراسة بشكل عام بوجود نظام فولق رئيسية باتجاه شرق - غرب، مع وجود أنظمة أخرى أقل أهمية باتجاهات مختلفة، فمنها ما يأخذ اتجاه شمال-شمال شرق وبعضها الآخر شمال شرق، وشمال غرب، ويرجع عمر نشأتها إلى العصر الثلاثي المتأخر تقريباً، وتم ملاحظة حركة أفقية على بعض الصدوع المتجهة شرق - غرب، وتقع قمة التركيب الإقليمي والمعروف بقبة عجلون بالقرب من قرية عيين التي تبعد حوالي 10 كم إلى الشمال الشرقي من مدينة عجلون (NRA, 1995).

وتتنوع التكوينات الجيولوجية المتكشفة في منطقة الدراسة والتي تنتمي إلى العصر الجوراسي والكريتاسي إلى رواسب البلايستوسين الحديث (الشكل 5)، حيث تظهر صخور العصر الجوراسي في الأجزاء الجنوبية من منطقة الدراسة والتي تتكون صخورها من الحجر الرملي والدولوميتي والحجر الجيري، وتتوضع فوق صخور العصر الجوراسي صخور العصر الكريتاسي السفلي والعلوي والتي تقسم إلى ثلاث مجموعات: مجموعة الكرنب ومجموعة عجلون ومجموعة البلقاء، وتتكون صخور العصر الكريتاسي من الحجر الجيري بأنواعه المختلفة والمتمثلة بالحجر الجيري الدولوميتي، والحجر الجيري الطباشيري، والحجر المارلي وتغطي صخور هذه التكوينات معظم منطقة الدراسة (عابد، 2017، ص 206-234). في حين تظهر تكوينات رواسب البلايستوسين الحديث شرق منطقة الدراسة وجنوبها الغربي، وتتكون من الحجر الجيري والصوان ومعادن طينية (NRA, 1995).

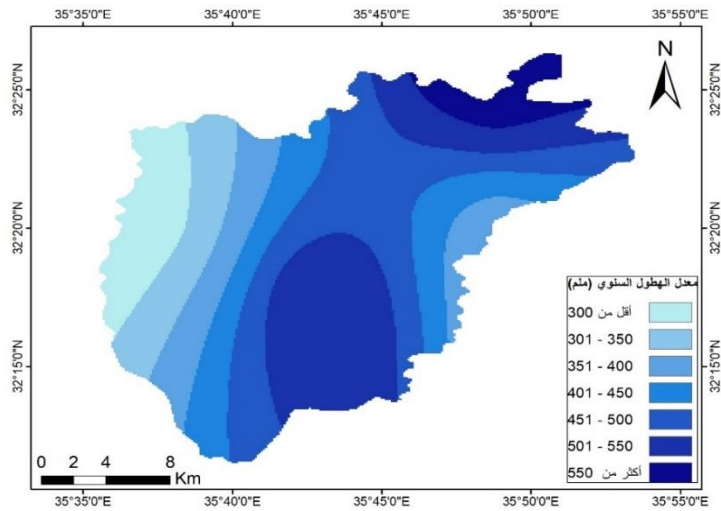




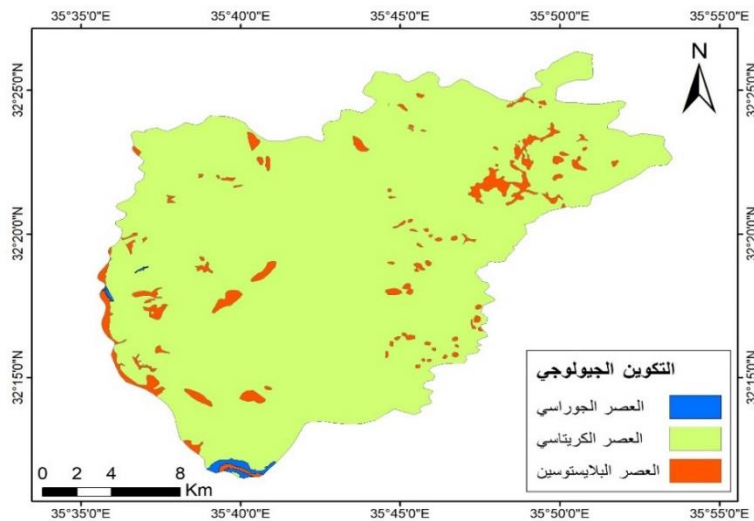
شكل (2): موقع منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات المركز الملكي الجغرافي، 2020).



شكل (3): مناسيب الارتفاع في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، 2019).



**شكل (4):** خريطة توزيع الأمطار في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات وزارة المياه والري، 2016).



**شكل (5):** التكوين الجيولوجي في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات سلطة المصادر الطبيعية، 1995).

مجلة جامعة النجاح للأبحاث (العلوم الإنسانية) المجلد 36 (8) 2022

## تحليل النتائج ومناقشتها

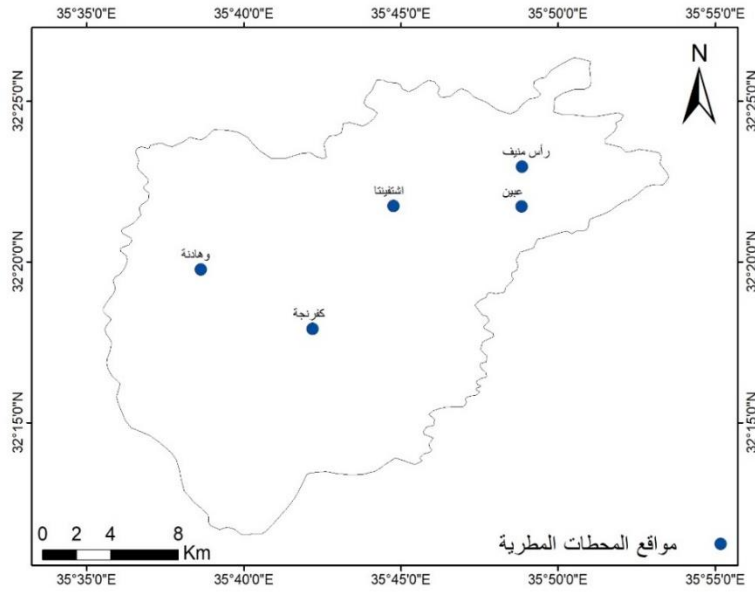
## حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة

تحدث عملية الإذابة الكارستية نتيجة التفاعل المباشر بين الصخور الجيرية والظروف المناخية، حيث تزداد سرعة الإذابة مع ارتفاع معدلات مسامية الصخور ودرجة غناها بالشقوق والمفاصل الصخرية، إضافة إلى ارتفاع درجة نقاء الصخر وصغر حجم البلورات الداخلة في بنيتها وتركيبها، كما وتزداد سرعة الإذابة مع ارتفاع معدلات التساقط المطري وانخفاض درجات الحرارة، حيث أن تدنى معدلات درجة الحرارة السنوية يؤدي إلى تناقص معدلات التبخر – النتج السنوي بالتالي يرفع من ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون ضمن ماء المطر ليشكل حمض الكربونيك. وحمض الكربونيك هو المسؤول عن ذوبان كربونات الكالسيوم صعبة ذوبان، والتي تتألف منه الصخور الجيرية، وتتحوّل إلى بيكربونات الكالسيوم سهلة الذوبان في الماء (حسن، 1997، ص 20-21).

وتحسب سرعة الإذابة الكارستية من أجل معرفة ما يتم إزالته من الطبقة السطحية للصخر بفعل عملية الذوبان الكارستي والمقدرة بالملم لكل 1000 سنة، وسيتم حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع المدروسة باستخدام معادلة كوربل سابقة الذكر.

$$V = \frac{4ET}{100}$$

وتبعاً لبيانات الأرصاد الجوية في منطقة الدراسة للفترة المحصورة بين عام 1977 – 2016، فإنّ متوسط درجة الحرارة بلغ حوالي 14.9 درجة مئوية في محطة رأس منيف المناخية، ونظراً لعدم توفر بيانات مناخية خاصة بدرجات الحرارة لمحطات الرصد المطري التابعة لوزارة المياه والري وهي: (كفرنجة، وعيين، واشتيفينا، والوهادنة) (الشكل 6)، فقد اعتمدت هذه الدراسة على دراسة شحادة للتقدير التقريبي لدرجات الحرارة لتلك المحطات وذلك تبعاً لعامل الارتفاع. حيث أشارت دراسة شحادة (1991) إلى أنّ درجات الحرارة تتناقص في الأردن بمعدل 0.8م/100 متر ارتفاع فوق منسوب سطح البحر بمعامل ارتباط بلغ بينهما 89% (شحادة، 1991، ص 54). وتبعاً لذلك فقد تم حساب المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة لمحطات الرصد المطري عن طريق حساب الفرق بين ارتفاع محطة رأس منيف المناخية ومحطات الرصد المطري، ومن ثمّ ضرب فرق الارتفاع بـ 0.8. تم حساب معدل التبخر-النتج السنوي باستخدام معادلة تورك (Turc) سابقة الذكر، ومن ثمّ تم عمل الاستكمال المكاني باستخدام طريقة: ( Interpolation, Spline) عن طريق برمجية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بهدف إيجاد تقدير تقريبي لقيم التبخر غير المعروفة للينابيع المائية كما هو في الجدول (1)؛ من أجل حساب سرعة الإذابة الكارستية للينابيع المائية في منطقة الدراسة.



شكل (6): موقع المحطات المطرية. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات وزارة المياه والري، 2016)

جدول (1): صافي التساقط (مم) للينابيع المائية في منطقة الدراسة.

الينابيع المائية	صافي التساقط (مم)
شلالات راجب	43
نبع البيضاء	78
نبع التيس	47
نبع زقيق	8
نبع العراق	43
نبع أم الجلود	22
نبع أم غزلان	39
نبع راسون	80
نبع زغديه	45
نبع ساخنة	46

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على برمجية نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

ووفقاً لمعطيات جدول (2) الذي يوضح الخصائص الكيميائية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة، فقد تم تحليل تركيز نسبة أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم، حيث وصلت نسبة أيونات الكالسيوم  $Ca^{2+}$  لمياه شلالات راجب حوالي (68.1) ملغرام/لتر وأيونات المغنيسيوم  $Mg^{2+}$  (29.2) ملغرام/لتر خلال الفترة الذي جمعت بها العينات بتاريخ 2019/9/14. أما كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  فإنها تعادل 170 ملغرام/لتر، أما كربونات المغنيسيوم  $MgCO_3$  فإنها تعادل حوالي 100.8 ملغرام/لتر في نفس الفترة كما هو موضح في الجدول (3)، وتم التركيز على كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم لأنهما يدخلان ضمن حساب الإذابة الكارستية. ويصل المجموع الفصلي لمحتوى مياه شلالات راجب من العناصر الكربونانية إلى 270.80 ملغرام/لتر جدول 4.

**جدول (2): نتائج التحليل الكيميائي لمياه الينابيع في منطقة الدراسة في فترات مختلفة.**

مجموع الأملاح الذائبة الذائبة ملغرام/لتر	الموصلية الكهربائية (EC $\mu\text{mS/cm}$ )	الأيونات السالبة (ملغرام/لتر)				الأيونات الموجبة (ملغرام/لتر)				تاريخ جمع العينات	اسم النبع
		$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$HCO_3^-$	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>		
479.5	552	21.9	11.0	292.9	40.0	0.86	15.5	29.2	68.1	29/4/2019	شلالات راجب
527.0	753	32.8	15.4	311.2	50.0	1.22	28.5	55.9	32.1	14/9/2019	
566.9	721	19.0	11.1	375.3	30.0	0.59	20.7	34.0	76.2	29/4/2019	نبع البيضاء
577.2	744	13.3	11.1	378.3	47.5	0.15	23.1	51.1	52.1	14/9/2019	
560.5	670	4.0	10.1	372.2	40.0	0.20	20.7	29.2	84.2	29/4/2019	نبع النيس
466.4	660	0.1	12.1	301.4	50.0	0.04	23.7	51.1	28.1	14/9/2019	
381.7	505	29.4	8.3	192.2	55.0	2.37	26.0	24.3	44.1	29/4/2019	نبع زقيق
467.8	661	35.6	5.8	262.4	57.5	2.61	33.2	48.6	22.0	14/9/2019	
745.9	847	81.3	142.1	295.9	46.1	0.51	42.1	48.3	89.6	29/4/2019	نبع العراق
602.2	866	70.6	55.2	245.9	90.0	0.29	52.3	62.0	26.1	14/9/2019	
410.4	546	7.5	4.3	259.3	35.0	0.20	10.2	9.7	84.2	29/4/2019	نبع أم الجلود
425.4	563	2.5	26.9	256.3	30.0	0.04	14.2	7.3	88.2	14/9/2019	
455.5	576	10.4	33.8	262.4	35.0	0.20	18.1	19.4	76.2	29/4/2019	نبع أم غزلان
443.1	595	33.5	7.3	256.3	42.5	0.04	23.7	31.6	48.1	14/9/2019	
619.8	724	41.8	12.0	372.2	50.0	1.57	20.7	41.3	80.2	29/4/2019	نبع راسون
514.1	737	21.8	15.6	299.0	65.0	1.15	33.2	58.3	20.0	14/9/2019	
521.8	602	4.1	7.2	367.3	25.0	0.51	15.5	34.0	68.1	29/4/2019	نبع زغديه
490.4	615	8.2	7.3	341.7	32.5	0.22	19.0	53.5	28.1	14/9/2019	
432.1	479	10.2	9.6	280.7	30.5	0.33	15.5	29.2	56.1	29/4/2019	نبع ساخنة
375	498	2.7	12.0	238.0	35.0	0.09	19.0	24.3	44.1	14/9/2019	

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على نتائج التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/الجامعة الأردنية

جدول (3): المحتوى الكربوناتي للكالسيوم والمغنيسيوم لمياه الينابيع في فترات مختلفة &gt;

2019/9/14		2019/4/24		النوع المائي
MgCO <sub>3</sub> mg/L	CaCO <sub>3</sub> mg/L	MgCO <sub>3</sub> mg/L	CaCO <sub>3</sub> mg/L	
193.2	80.0	100.8	170.0	شلالات راجب
176.4	130.0	117.6	190.0	نبع البيضاء
176.4	70.0	100.8	210.0	نبع التيس
168.0	55.0	84.0	110.0	نبع زقيق
214.2	65.0	166.7	223.5	نبع العراق
25.2	220.0	33.6	210.0	نبع أم الجلود
109.2	120.0	67.2	190.0	نبع أم غزلان
201.6	50.0	142.8	200.0	نبع راسون
184.8	70.0	117.6	170.0	نبع زغديه
84.0	110.0	100.8	140.0	نبع ساخنة

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على نتائج التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/الجامعة الأردنية.

جدول (4): المجموع الفصلي للعناصر الكربوناتيية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة.

2019/9/14	2019/4/24	النوع المائي
العسر الكلي (TH) على شكل كربونات الكالسيوم ملغرام/لتر CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	العسر الكلي (TH) على شكل كربونات الكالسيوم ملغرام/لتر CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	
273.2	270.80	شلالات راجب
306.4	307.60	نبع البيضاء
246.4	310.80	نبع التيس
223	194.00	نبع زقيق
279.2	390.24	نبع العراق
245.2	243.60	نبع أم الجلود
229.2	257.20	نبع أم غزلان
251.6	342.80	نبع راسون
254.8	287.60	نبع زغديه
194	240.80	نبع ساخنة

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على نتائج التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/الجامعة الأردنية

وبناء على البيانات الواردة في الجدول (1- 4) فقد تم حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع وفقا لمعادلة كوربل (Corbel) سابقة الذكر، حيث تم مثلا حساب سرعة الإذابة لمياه شلالات راجب في فصل الربيع ومن ثم تطبيقها على باقي الينابيع المائية كما هو في جدول (5).

$$T = 270.80 \text{ ملغرام/لتر}$$

$$E = 100 / 21 = 0.21 \text{ دسم}$$

$$V = \frac{4 * 0.43 * 270.80}{100} = 4.66 \text{ ملم / 1000 سنة}$$

**جدول (5):** سرعة الإذابة الكارستية الفصلية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة (ملم/السنة).

الينابيع المائية	فصل الربيع	فصل الصيف
شلالات راجب	4.66	4.70
نبع البيضاء	9.60	9.56
نبع التيس	5.84	4.63
نبع زقيق	0.62	0.71
نبع العراق	6.71	4.80
نبع أم الجلود	2.14	2.16
نبع أم غزلان	4.01	3.58
نبع راسون	10.97	8.05
نبع زغديه	5.18	4.59
نبع ساخنة	4.43	3.57

المصدر: عمل الباحثون

**التباين الزمني والمكاني في سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة**

بينت الدراسة التي طبقت على معادلة سرعة الإذابة الكارستية على عشرة ينابيع مائية مختارة في منطقة الدراسة، وجود تباين زمني ومكاني واضح في سرعة الإذابة الكارستية للينابيع المائية المدروسة، وتوضح معطيات الجدول (6) أن سرعة الإذابة الكارستية زمانيا بلغت في فصل الربيع حوالي 54.16 ملم/1000 سنة، بينما تناقصت سرعة الإذابة في فصل الصيف لتبلغ حوالي 46.35 ملم/1000 سنة، وبذلك بلغ الفارق بين فصلي الربيع والصيف حوالي 7.8 ملم/1000 سنة، إضافة إلى وجود تباين في معامل الاختلاف بين الفصلين حيث بلغ في فصل الربيع 57.57%، وفي فصل الصيف 55.58%، ويُعزى هذا الفارق إلى تذبذب الأمطار وارتفاع درجات الحرارة فضلاً عن زيادة معدلات التبخر-النتح الحقيقي الأمر الذي أدى إلى تناقص سرعة الإذابة للصخور الجيرية خلال فصل الصيف.

أما على المستوى المكاني، فنجد تباين مكاني واضح في سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع المدروسة، حيث بلغت أعلى سرعة إذابة في مياه نبع البيضاء وراسون بمقدار 9.60 ملم و10.97 ملم/ 1000 سنة على التوالي خلال فصل الربيع، أما أدنى سرعة إذابة فقد ظهرت في مياه نبع زقيق 0.62 ملم و0.71 ملم/ 1000 سنة، خلال فصل الربيع والصيف على التوالي.

**جدول (6):** سرعة الإذابة الكارستية الفصلية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة (ملم/1000 سنة).

الينابيع المائية	فصل الربيع	فصل الصيف
شلالات راجب	4.66	4.70
نبع البيضاء	9.60	9.56
نبع التيس	5.84	4.63
نبع الزقيق	0.62	0.71
نبع العراق	6.71	4.80
نبع أم الجلود	2.14	2.16
نبع أم غزلان	4.01	3.58
نبع راسون	10.97	8.05
نبع زغديه	5.18	4.59
نبع ساخنة	4.43	3.57
مجموع الفصلي	54.16	46.35
معامل الاختلاف %	%57.57	%55.58

المصدر: عمل الباحثون.

#### التباين في سرعة الإذابة الفصلية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)

بناء على حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع المدروسة، فقد قام الباحثون بتصنيف سرعة الإذابة إلى أربع نطاقات رئيسية وهي (كارست معدوم، وضعيف، ومتوسط، ومرتفع)، ومن ثم تم حساب مساحة كل نطاق لكل من فصلي الربيع والصيف باستخدام برمجية نظم المعلومات الجغرافية من أجل المقارنة بينهما، كما هو موضح أدناه:

1. نطاق الكارست المعدوم: يمثل هذا النطاق أجزاء صغيرة من منطقة الدراسة، ويتمثل في الجهة الشمالية الغربية والجنوبية الشرقية من المنطقة، ويغطي 5% خلال فصل الربيع و9.2% خلال فترة الصيف من مجمل مساحة المنطقة (الجدول 7، والشكل 7 و8).
2. نطاق الكارست الضعيف: يشغل هذا النطاق أجزاء واسعة من منطقة الدراسة، إذ يغطي ما نسبته 57.4% خلال فصل الربيع أي أكثر من نصف مساحة المنطقة، وأكثر من ثلثي مساحة المنطقة خلال فصل الصيف وما نسبته 72.4% من مجمل مساحة من المنطقة.



3. نطاق الكارست المتوسط: ويتمثل هذا النطاق في منطقتين: الأولى في وسط منطقة الدراسة والثانية بمحاذاة نطاق الكارست المرتفع، إذ يغطي 27.7% من مجمل مساحة المنطقة خلال فصل الربيع، بينما ينحسر هذا النطاق في الأجزاء الشمالية خلال فصل الصيف إلى ما نسبته 16.5% من مجمل مساحة المنطقة.

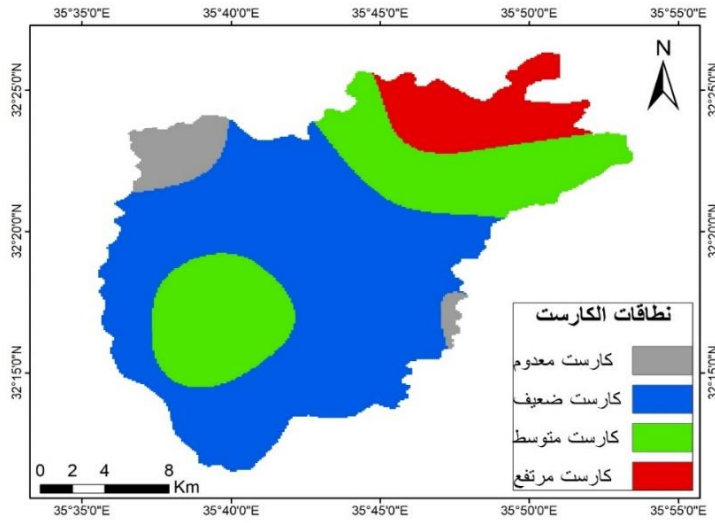
4. نطاق الكارست المرتفع: ويقتصر هذا النطاق على المناطق الشمالية من منطقة الدراسة، إذ يغطي حوالي 41.3 كم<sup>2</sup> خلال فصل الربيع أي ما نسبته 9.8% من مساحة المنطقة، بينما تتقلص مساحته خلال فصل الصيف لتقتصر على أجزاء محدود من منطقة الدراسة والتي تبلغ مساحتها حوالي 7.7 كم<sup>2</sup> من مجمل مساحة منطقة الدراسة.

يلاحظ مما سبق، أن نطاق الكارست المعدوم والضعيف تزايدت مساحتهما على حساب نطاق الكارست المتوسط والمرتفع خلال فصلي الربيع والصيف، حيث زادت مساحة نطاق المعدوم من 21 كم<sup>2</sup> إلى 38.6 كم<sup>2</sup> ونطاق الضعيف من 241.4 كم<sup>2</sup> إلى 304.3 كم<sup>2</sup> خلال فصلي الربيع والصيف على التوالي. بينما تناقص مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع من 116.6 كم<sup>2</sup> إلى 69.5 كم<sup>2</sup> لنطاق المتوسط، ومن 9.8 كم<sup>2</sup> إلى 1.8 كم<sup>2</sup> خلال فصلي الربيع والصيف على التوالي. ويرجع السبب في هذا التباين خلال الفصلين إلى تزايد كمية الأمطار وانخفاض معدلات التبخر - النتج خلال فصل الربيع، وانحسار الأمطار وارتفاع معدلات التبخر-النتج خلال فصل الصيف. ويؤكد هذا إحصائياً وذلك من خلال العلاقة الإحصائية حيث يوجد ارتباط موجب قوي بين سرعة الإذابة الفصلية (الربيع، والصيف) والتساقط المطري السنوي بمعامل ارتباط 0.98، ومعامل التفسير 0.96 مما يدل أن 96% من الإذابة الكارستية تتباين فصلياً في منطقة الدراسة كما هو موضح من الشكل (9).

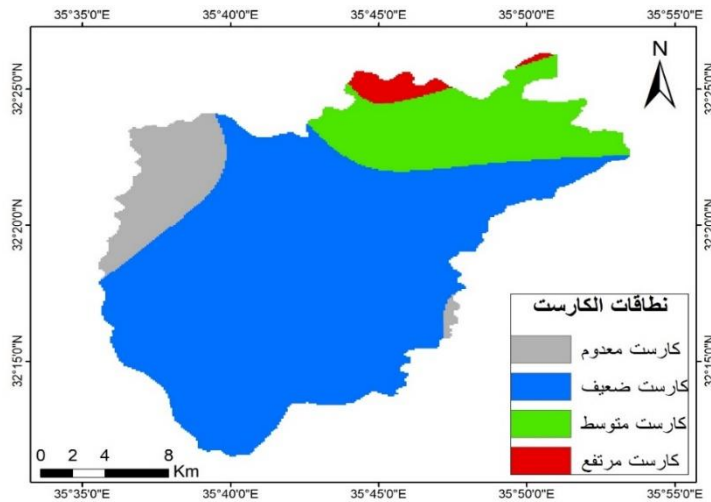
**جدول (7): نطاقات الإذابة الكارستية خلال فصلي الربيع والصيف في منطقة الدراسة.**

الفرق بين الفصلين %	فصل الصيف		فصل الربيع		درجة الإذابة	نطاق الكارست
	النسبة المئوية %	المساحة كم <sup>2</sup>	النسبة المئوية %	المساحة كم <sup>2</sup>		
+ 4.2	9.2	38.6	5.0	21.0	أقل 2	كارست معدوم
+ 15.0	72.4	304.3	57.4	241.4	5.9 - 2	كارست ضعيف
- 11.2	16.5	69.5	27.7	116.6	9.9 - 6	كارست متوسط
- 8.0	1.8	7.7	9.8	41.3	10 فأكثر	كارست مرتفع
	100%	420.2	100%	420.2		المجموع

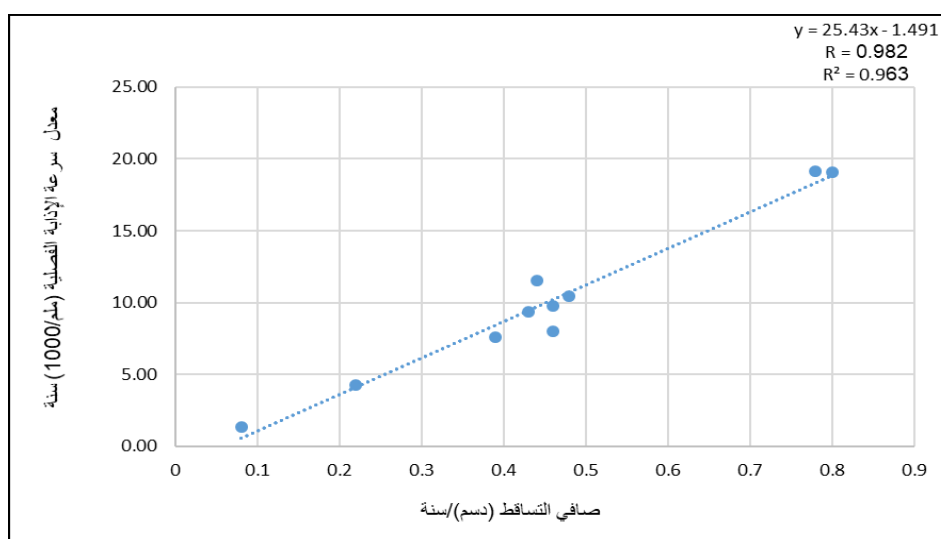
المصدر: عمل الباحثون.



**شكل (7):** نطاقات الكارست في فصل الربيع في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/ الجامعة الأردنية، 2019).



**شكل (8):** نطاقات الكارست في فصل الصيف في منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/ الجامعة الأردنية، 2019).



شكل (9): مصفوفة الارتباط بين معدلات الإذابة الفصلية و صافي التساقط السنوي (كما هو أدناه).

$$\text{معدل سرعة الإذابة (ملم/1000 سنة)} = 25.43 * \text{صافي التساقط (دسم/السنة)} - 1.491$$

(معامل التفسير  $R^2=0.963$ )

#### اختبار (t) للفرق بين المتوسطات الحسابية للإذابة الكارستية الفصلية لمياه الينابيع

تم استخدام اختبار (t) المزدوجة بواسطة البرنامج الإحصائي (SPSS Ver. 24) لاختبار الفرضية التي تنص على أنه لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية بين سرعة الإذابة الكارستية خلال فصل الربيع والصيف، وبينت نتائج التحليل الإحصائي من خلال جدول (8) بوجود علاقة طردية قوية في سرعة الإذابة الكارستية بين فصلي الربيع والصيف بحيث يساوي معامل الارتباط 0.95، ومتوسط الفرق في سرعة الإذابة بين الفصليين ويساوي 0.781، والقيمة الاختبارية لـ (t) تساوي 2.494 بمستوى دلالة يساوي 0.034، أي يوجد فرق ذو دلالة إحصائية بين الفصليين في سرعة الإذابة الكارستية، وأن الفرق ليس ناتج عن عامل الصدفة.

جدول (8): نتائج اختبار (t) المزدوجة للينابيع المدروسة بين فصل الربيع والصيف.

مستوى الدلالة (Sig)	المتوسط الفرق	درجات الحرية (df)	قيمة (t)	قيمة الارتباط (r)	عدد العينات (N)	الربيع & الصيف
0.034	0.781	9	2.494	0.95	10	

المصدر: عمل الباحثون باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS Ver. 24).

وتجدر الإشارة إلى وجود اختلاف بين المحتوى الفصلي من أيونات المغنيسيوم ( $Mg^{2+}$ ) وأيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) خلال فصلي (الربيع، والصيف) حيث تتغير قيمة ( $R=(Mg^{2+}/Ca^{2+})$ ) بصورة واضحة بين الفصلين، إذ تبلغ قيمة R في فصل الصيف 1.14، وفي فصل الربيع 0.41 كما هو في الجدول (9)، ويعود سبب هذا التباين في قيمة R بين الفصلين إلى عدم تجانس بين نسبة الإذابة بين عنصري الكالسيوم، والمغنيسيوم اللذان يدخلان في تركيب الصخور الجيرية، حيث نلاحظ من الجدول (9) ارتفاع في قيمة أيونات الكالسيوم في فصل الربيع مقابل انخفاض في قيمة أيونات المغنيسيوم في نفس الفصل، وكذلك انخفاض في قيمة أيونات الكالسيوم في فصل الصيف مقابل ارتفاع في قيمة أيونات المغنيسيوم في نفس الفصل من جهة، وإلى وجود تباين في منسوب المياه والتي يكون منسوبها مرتفع خلال فصل الربيع بين الطبقات الصخرية الحاوية على كربونات الكالسيوم والتي تزيد من سرعة الذوبان لكربونات الكالسيوم على حساب كربونات المغنيسيوم، بالمقابل فإن انخفاض منسوب المياه خلال فصل الصيف إلى منسوب الطبقات الصخرية التي تحوي على كربونات المغنيسيوم (الدولوميت) قد ساهمت في تسارع الذوبان لكربونات المغنيسيوم على حساب كربونات الكالسيوم من جهة أخرى، وقد يعود ذلك أيضاً إلى تباين في قيمة درجة الحموضة (pH) ونسبة ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء فصلياً.

**جدول (9):** قيمة  $R=(Mg^{2+}/Ca^{2+})$  خلال فصلي الربيع والصيف في مياه الينابيع.

النوع	فصل الربيع			فصل الصيف		
	$R=(Mg^{2+}/Ca^{2+})$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$R=(Mg^{2+}/Ca^{2+})$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$
شلالات راجب	0.43	29.17	68.14	1.7	55.9	32.1
نبع البيضاء	0.45	34.04	76.15	1.0	51.1	52.1
نبع التيس	0.35	29.17	84.17	1.8	51.1	28.1
نبع الزقيق	0.55	24.31	44.09	2.2	48.6	22.0
نبع العراق	0.54	48.26	89.58	2.4	62.0	26.1
نبع أم الجلود	0.12	9.72	84.17	0.1	7.3	88.2
نبع أم غزلان	0.26	19.45	76.15	0.7	31.6	48.1
نبع راسون	0.52	41.33	80.16	2.9	58.3	20.0
نبع زغديه	0.50	34.04	68.14	1.9	53.5	28.1
نبع ساخنة	0.52	29.17	56.11	0.6	24.3	44.1
المعدل الفصلي	0.41	29.87	72.69	1.14	44.4	38.9

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على نتائج التحليل المخبري في قسم الجيولوجيا/الجامعة الأردنية.

#### تحليل مدى قدرة مياه الينابيع في متابعة نشاطها الكارستي في منطقة الدراسة

يتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في تحديد مدى قدرة مياه الينابيع في منطقة الدراسة على متابعة نشاطها الكارستي، ومن أجل معرفة فيما إذا كانت مياه الينابيع قادرة على إذابة كميات إضافية من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، أو أنها مشبعة بالعناصر الكربوناتيية وعندها تكون مضطرة للتخلي عن جزء من حمولتها الذائبة من العناصر الكربوناتيية لحظة خروجها على السطح بهدف

إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون، أو أنها متعادلة أو متوازنة لا تستطيع أن تذيب أو ترسب من العناصر الكربونانية (حاج حسن، 1997، ص 29-30).

وقد تم الاعتماد على برنامج (Phreeqc Interactive 2.12.5)؛ لإدخال نتائج التحاليل الكيميائية لمياه الينابيع والتي أخذت خلال فصلي الربيع والصيف وبتاريخ 2019/4/29، و2019/9/14؛ من أجل الحصول على نتائج الخصائص الهيدروكيميائية لمياه الينابيع، وتفسير البيانات الواردة في الجدول (10 و 11)، وبشكل عام إذا كانت قيمة معامل الإشباع (SI) سالبة (negative value) فهذا يعني مقدرة المياه على إذابة تلك المعادن إن توفرت في صخور التكوينات الجيولوجية التي تتدفق منها المياه، وإن كان معامل الإشباع موجب القيمة (positive value) فهذا يعني أن المياه لديها القدرة على ترسيب العناصر الكربونية (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) عند لحظة خروجها، وأما إذا كانت قيمة معامل الإشباع صفر أو قريبة منه فإن مياه تلك الينابيع تكون في حالة اتزان أي لا تذيب أو ترسب (قوقزه، 2019، ص 70).

ويتضح من خلال جدول (10 و 11) أن هنالك فرقاً واضحاً بين قدرة مياه الينابيع على الترسيب والإذابة مخبرياً وميدانياً، حيث تكون مياه الينابيع أكثر قدرة على الإذابة في الميدان، بينما تكون المياه مخبرياً أكثر قدرة على الترسيب؛ ويرجع ذلك إلى طبيعية حركة مياه النبع حيث أن حركة المياه وبشكل مستمر يجعلها قادرة على الإذابة أكبر منها في المختبر، وقد يرجع أيضاً إلى قيمة (pH) والتي ترتفع في المختبر مقارنة عما هي عليه في الميدان من جهة أخرى.

ويتبين من نتائج تحليل الخصائص الهيدروكيميائية لمياه الينابيع جدول (10 و 11) أن مياه نبع الساخنة كانت أقرب إلى التوازن أي لا تذيب ولا ترسب خلال فصلي الربيع والصيف بتاريخ 2019/4/29 و2019/9/14 على التوالي، أما مياه الينابيع التيس، وزقيق، وأم الجلود فكانت مشبعة بكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم في نفس التاريخ عند لحظة خروجها، ويمكن تفسير ذلك بأن مياه الأمطار عندما تهطل على سطح الصخور وتترشح عبر طبقات الصخور الجيرية وتصل إلى مناسيب مختلفة تقوم بإذابة كميات من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، إلا أنها عندما تتحول على شكل جريان باطني وتقطع مسافة طويلة فإن زمن تفاعلها مع الصخور يكون طويلاً جداً، مما يجبرها على التخلي عن جزء من حمولتها الكربونية عند لحظة خروجها، أما فيما يتعلق بمياه الينابيع كل من راسون، وراجب، والعراق، وأم غزلان، والزغديه فقد كانت عند لحظة خروجها في نفس التاريخ قادرة على إذابة كميات إضافية من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، ويُعزى ذلك إلى أن مياه هذه الينابيع لم تقطع في جريانها تحت السطح إلا مسافة قصيرة نسبياً فكان زمن تفاعلها مع الصخور الكربونية قصير لدرجة أنها لم تستنفذ كامل قدرتها على الإذابة، لذا تخرج إلى السطح وهي قادرة على متابعة نشاطها الكارستي.

**جدول (10): نتائج الخصائص الهيدروكيميائية (معاملات الإشباع لمختلف المعادن) للينابيع في منطقة الدراسة بتاريخ 29/4/2019**

pH	29/4/2019							النتيجة	النوع المائي
	SI. Halite	SI. Gypsum	SI. Dolomite	SI. CO2(g)	SI. Calcite	SI. Aragonite	SI. Anhydrite		
7.23	-7.79	-2.60	0.11	-1.72	0.08	-0.06	-2.83	مخبري	شلالات راجب
7.05	-7.78	-2.59	-0.39	-1.56	-0.14	-0.29	-2.83	ميداني	
7.22	-7.79	-2.58	0.38	-1.60	0.20	0.06	-2.81	مخبري	نوع البيضاء
6.96	-7.78	-2.57	-0.29	-1.36	-0.10	-0.25	-2.81	ميداني	
7.38	-7.66	-2.58	0.68	-1.77	0.41	0.27	-2.81	مخبري	نوع التيس
7.22	7.65	-2.56	0.10	-1.64	0.17	0.02	-2.81	ميداني	
8.02	-7.41	-2.87	1.08	-2.69	0.51	0.36	-3.10	مخبري	نوع الزقيق
7.85	-7.41	-2.86	0.67	-2.53	0.32	0.17	-3.10	ميداني	
7.25	-7.31	-1.50	0.33	-1.75	0.14	0.00	-1.73	مخبري	نوع العراق
7.05	-7.31	-1.49	-0.15	-1.56	-0.08	-0.23	-1.73	ميداني	
7.73	-8.02	-2.88	0.65	-2.27	0.63	0.49	-3.11	مخبري	نوع أم الجلود
7.56	-8.00	-2.87	0.10	-2.13	0.40	0.25	-3.12	ميداني	
7.40	-7.77	-2.05	0.22	-1.93	0.25	0.11	-2.29	مخبري	نوع أم غزلان
7.13	-7.76	-2.04	-0.48	-1.69	-0.07	-0.22	-2.29	ميداني	
7.30	-7.57	-2.55	0.61	-1.79	0.29	0.15	-2.79	مخبري	نوع راسون
6.90	-7.56	-2.54	-0.37	-1.31	-0.16	-0.31	-2.78	ميداني	
7.29	-7.99	-2.80	0.48	-1.68	0.23	0.09	-3.03	مخبري	نوع زغديه
7.02	-7.98	-2.79	-0.18	-1.43	-0.08	-0.23	-3.03	ميداني	
7.49	-7.90	-2.72	0.53	-1.99	0.25	0.10	-2.95	مخبري	نوع ساخنة
7.30	-7.89	-2.71	-0.02	-1.83	0.00	-0.14	-2.95	ميداني	

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على برنامج (Phreeqc Interactive 2.12.5).

**جدول (11): نتائج الخصائص الهيدروكيميائية للينابيع المائية (معاملات الإشباع) في منطقة الدراسة بتاريخ 14/9/2019.**

pH	14/9/2019							نتيجة	نوع المائي
	SI. Halite	SI. Gypsum	SI. Dolomite	SI. CO2(g)	SI. Calcite	SI. Aragonite	SI. Anhydrite		
7.48	-7.43	-2.82	0.66	-1.93	0.04	-0.10	-3.04	مخبري	شلالات راجب
7.20	-7.42	-2.81	-0.06	-1.67	-0.29	-0.44	-3.04	ميداني	
7.25	-7.54	-2.76	0.54	-1.62	0.10	-0.04	-2.99	مخبري	نوع البيضاء
7.02	-7.52	-2.74	-0.25	-1.43	-0.23	-0.38	-2.98	ميداني	
7.75	-7.51	-2.95	1.10	-2.22	0.25	0.11	-3.17	مخبري	نوع التيس
7.60	-7.50	-2.94	0.69	-2.08	0.06	-0.08	-3.17	ميداني	
7.88	-7.30	-3.38	1.11	-2.41	0.21	0.07	-3.60	مخبري	نوع الزقيق
7.74	-7.30	-3.37	0.80	-2.27	0.06	-0.08	-3.60	ميداني	
7.75	-6.92	-2.39	0.89	-2.31	0.09	-0.06	-2.61	مخبري	نوع العراق
7.40	-6.91	-2.37	-0.09	-2.00	-0.35	-0.50	-2.61	ميداني	
7.65	-7.95	-2.07	0.02	-1.97	0.38	0.24	-2.30	مخبري	نوع أم الجلود
7.52	-7.94	-2.07	0.06	-2.07	0.42	0.28	-2.30	ميداني	
7.45	-7.58	-2.92	0.41	-1.98	0.13	-0.02	-3.14	مخبري	نوع أم غزلان
7.20	-7.57	-2.90	-0.26	-1.76	-0.18	-0.33	-3.14	ميداني	
7.74	-7.25	-3.01	0.96	-2.21	0.08	-0.06	-3.23	مخبري	نوع راسون
7.40	-7.23	-2.98	-0.09	-1.92	-0.38	-0.53	-3.23	ميداني	
7.47	-7.79	-3.18	0.67	-1.88	0.03	-0.12	-3.40	مخبري	نوع زغديه
7.25	-7.78	-3.15	-0.06	-1.70	-0.29	-0.42	-3.40	ميداني	
7.55	-7.75	-2.70	0.44	-2.11	0.18	0.03	-2.92	مخبري	نوع ساخنة
7.42	-7.74	-2.69	0.03	-2.00	0.00	-0.15	-2.93	ميداني	

المصدر: عمل الباحثون اعتماداً على برنامج (Phreeqc Interactive 2.12.5).

وتجدر الإشارة إلى أن مياه الينابيع خلال فصلي الربيع والصيف كانت قادرة على ترسيب المعادن الكربوناتيّة وتكوين ترسبات الكالسيت (Calcite) والتي تعرف بظاهرة الصواعد (Stalagmites) والنوازل (Stalactites) نتيجة تبخر الماء وانطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) في الجو حيث كانت قيمة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) في مياه الينابيع (التيس وزقيق وأم الجلود) كبيرة عند لحظة خروجها على السطح كما هو في جدول (10 و 11)، بينما الينابيع التي كانت مستمرة في عملية الإذابة من المعادن الكربوناتيّة عند لحظة خروجها كانت قيمة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) أقل، وهذا يتضح من العلاقة الإحصائية بين غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) والمعادن الكربوناتيّة (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) حيث يوجد ارتباط عكسي قوي بينهما، فقد بلغت قيمة الارتباط خلال فصلي الربيع والصيف -0.88 و -0.76 على التوالي الجدول (12)، أي كلما زاد تحرر غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) من الماء إلى الجو قلت قدرة المياه على متابعة عمليات الإذابة من الصخور الكربونية عند لحظة خروجها.

جدول (12): علاقة الارتباط بين قيمة غاز ثاني أكسيد الكربون والمعادن الكربوناتيية.

الدالة الإحصائية	قيمة الارتباط (R)	الفصل
0.001	-0.88	الربيع
0.010	-0.76	الصيف

المصدر: عمل الباحثون باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS Ver. 24).

### ملخص النتائج والتوصيات

يمكن إجمال أبرز النتائج التي توصلت إليها الدراسة على النحو الآتي:

1. وجود تباين زمني ومكاني واضح بين سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع المدروسة، إذ بلغ مجموع سرعة الإذابة لفصل الربيع نحو 54.16 ملم/1000 سنة ولفصل الصيف نحو 46.35 ملم/1000 سنة بفارق وصل بين الفصلين إلى حوالي 7.81 ملم/1000 سنة، أما على مستوى مكاني فقد وصلت أعلى سرعة إذابة في مياه نبع راسون، إذ بلغت 10.97 ملم/1000 سنة، بينما كانت أقل سرعة إذابة لمياه نبع زقيق نحو 0.62 ملم/1000 سنة خلال فصل الربيع.
2. هنالك تباين واضح في مساحة نطاقات الإذابة الكارستية حيث تزداد مساحة نطاق الكارست المعدوم والضعيف بين الفصلين وكان مقدار التزايد لصالح فصل الصيف إذ بلغ نحو 4.2% و15% على التوالي، بينما تناقصت مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع بين الفصلين بحوالي 11.5%- و8%- على التوالي.
3. أظهرت نتائج الدراسة وجود اختلاف في المحتوى الكربوني من أيونات المغنيسيوم ( $Mg^{2+}$ ) وأيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) بين فصلي (الربيع، والصيف) حيث بلغت قيمة المحتوى الكربوني (R) في فصل الصيف 1.14، في حين وصلت في فصل الربيع 0.41.
4. بينت نتائج اختبار (t) المزدوجة وجود فرق بين متوسطات سرعة الإذابة الكارستية بين فصلي الربيع والصيف ذات دلالة إحصائية، إذ بلغت قيمة (t) الاختبارية 2.494، وبدلالة إحصائية (0.034)، وأن هذا الفرق ليس ناتج عن عامل الصدفة.
5. أظهرت نتائج الدراسة أن مياه نبع الساخنة كانت متوازنة، بينما كانت مياه الينابيع التيس، وزقيق، وأم الجلود مشبعة بكاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، في حين كانت مياه ينابيع راسون، وراجب، وأم غزلان، والبيضاء، والزغديه قادرة على متابعة نشاطها الكارستي عند لحظة خروجها.



## التوصيات

توصي الدراسة بما يلي:

1. ضرورة زيادة عدد المحطات المناخية في الأردن بشكل عام ومحافظة عجلون بشكل خاص، مع تسهيل الحصول على البيانات المناخية للباحثين والدارسين والمهتمين.
2. من أجل زيادة توضيح ظاهرة الإذابة الكارستية فإن الدراسة توصي بتطبيق منهجيتها على مناطق أخرى مشابهة في الأردن.
3. إجراء فحص دوري لمياه الينابيع في محافظة عجلون والمحافظات الأخرى من قبل الجهات المعنية؛ بهدف معرفة التغير الذي يحصل في الخصائص الكيميائية لمياه الينابيع، وخاصة أن السكان المحليين يعتمدون عليها في الشرب وري المزروعات.
4. التوسع بشبكات مياه الصرف الصحي في محافظة عجلون لمنع وصول الملوثات البيولوجية والكيميائية إلى مياه الينابيع.

## المراجع العربية

- حاج حسن، م. (1997). الخصائص الهيدروكيميائية ودرجة التحلل الكارستي في نبع عين الفيحة - سوريا. بحوث جغرافية، 26، 5-41.
- دائرة الأرصاد الجوية (2016). النشرة السنوية للمعلومات المناخية في الأردن. عمان، الأردن.
- سلوم، ج، وسعيد، م (2017). التحلل الكارستي في منطقة الدالية. مجلة جامعة تشرين، 39(2)، 509 - 527.
- شحادة، ن. (1991). مناخ الأردن. دار البشير. عمان، الأردن.
- شحادة، ن. (2020). الأساليب الكمية في الجغرافية باستخدام الحاسوب. دار الصفاء للنشر والتوزيع. عمان، الأردن.
- الشعال، ف. (2009). الخصائص الهيدروكيميائية لنبع معولا ودلائلها الجيومورفولوجية. مجلة جامعة دمشق، 25(1+2)، 229-257.
- عابد، ع. (2017). جيولوجية الأردن وبيئته ومياهه. دار وائل للنشر والتوزيع. عمان، الأردن.
- عوده، س. (1985). جيومورفولوجية منخفضات الإذابة في شمال الأردن: دراسة تطبيقية لمنطقة جور المجادل. مجلة دراسات جامعة الأردنية، 12(7)، 65-91.
- وزارة المياه والري (2016). بيانات سنوية غير منشورة. عمان، الأردن.

- مختبرات قسم الجيولوجيا/الجامعة الأردنية (2019). بيانات التحليل المخبري. عمان، الأردن.
- المركز الجغرافي الملكي، (2020). خريطة عجلون الإدارية. مقياس 1: 50000، عمان، الأردن.
- هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، (2019). نموذج الارتفاع الرقمي. بمقياس (30 x 30 متر).
- قوقزه، م. (2019). الظواهر الكارستية في منطقة عجلون: دراسة جيومورفولوجية. (رسالة ماجستير غير منشورة). الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.

### References (Arabic & English)

- Abed, A. (2017). *Jordan's geology environment and water*. Wael Publishing and Distribution House. Amman, Jordan.
- El Shaal, F. (2009). Hydro-chemical properties of the Maula spring and its geomorphological implications, *Damascus University Journal*, 25 (1 + 2), 229-257.
- Festal, V. Fiore, A. Parise, M & Siniscalch, A. (2011). Siniscalchi – Sinkhole evolution in the Apulian Karst of Southern Italy: a case study, with some considerations on Sinkhole Hazards. *Journal of Cave and Karst Studies*, 74 (2), 137–147.
- Hajj Hassan, M. (1997). Hydrochemical properties and the degree of karst decomposition in the spring of Ain Al-Fijah - Syria, *Geographical Journal*, 26, 5-41.
- Jones, J. (1997). *Global Hydrology: Processes, Resources and Environmental Management*. London: United Kingdom.
- Labs of Geology Department / University of Jordan (2019). Labs data analysis. Amman, Jordan.
- Meteorological Service. (2016). *Annual Bulletin of Climate Information in Jordan*. Amman, Jordan.
- Ministry of Water and Irrigation (2016). *Unpublished annual data*. Amman, Jordan.

- Na'amneh, E. (2011). *The integrated application of natural radon-radioactivity and electrical resistivity tomography to investigate karst cave system: A case study from AL-Dahr cave Jordan*. (Unpublished Master dissertation). University of Yarmouk, Irbid, Jordan.
- Natural Resources Authority. (1995). *Geological Map of Jarash*. Scale 1: 50.000. Amman, Jordan.
- Odeh, S. (1985). Geomorphology of low solution melting in Northern Jordan: An Empirical Study of Jour Al-Majadil Region. *University of Jordan Journal*, 12 (7), 65-91.
- Qoqazeh, M. (2019). *Karst Land forms in Area Ajloun: geomorphological study*. (Unpublished Master dissertation). The University of Jordan, Amman, Jordan.
- Salloum, J, & Saeed, M. (2017). Karst Decomposition in the Daliyya Region. *Tishreen University Journal*, 39 (2), 509-527.
- Shehadeh, N. (1991). *Climate of Jordan*. Dar Al-Bashir. Amman, Jordan.
- Shehadeh, N. (2020). *Quantitative Methods in Geography Using Computers*. Dar Al-Safa for Publishing and Distribution. Amman, Jordan.
- The Royal Geographic Center, (2020). *Ajloun Administrative Map*. Scale 1: 50000, Amman, Jordan.
- United States Geological Survey, (2019). Digital Elevation Model. Scale (30 x 30 meter).