

## 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>، علي العنازة<sup>2</sup>، وعمر الريماوي<sup>3</sup>

Mohammad Qoqazeh<sup>1</sup>, Ali Al Ananze<sup>2</sup> & Omar Al-Rimawi<sup>3</sup>

وزارة التربية والتعليم، الأردن.<sup>2</sup> قسم الجغرافية، 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 وزمني 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 لمناطق الكارست وجود تباين مساحي واضح بين المناطق الكارستية بين الفصلين، حيث تزايديت مساحة نطاق الكارست المعدوم والضعيف على حساب مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع. وكما كشفت الدراسة أنَّ مياه الينابيع كانت متباعدة فصلياً 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 مكّنهم 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 للبنية 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 فصل 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).

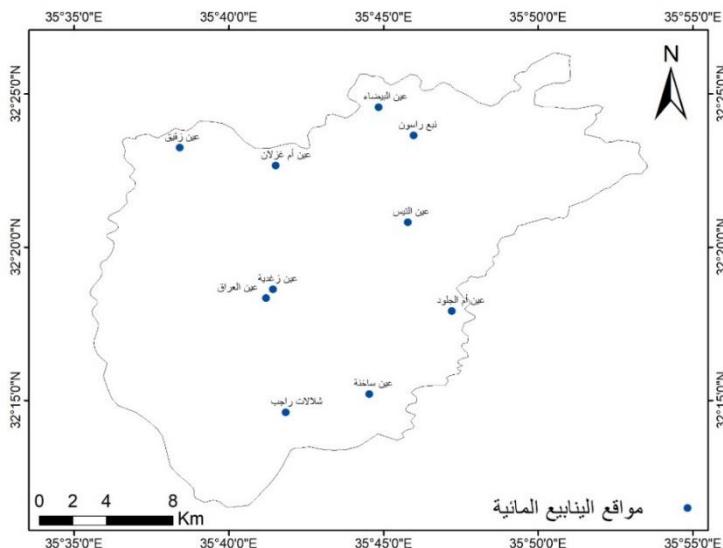
#### **منهجية الدراسة**

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



شكل (1): موقع 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:** وبعد هذا الأسلوب من أكثر الأساليب الإحصائية استخداماً من قبل الباحثين الجغرافيين، ويعتمد هذا الأسلوب أساساً على حساب الفرق بين المتوسطات الحسابية للعينتين المزدوجتين (شحادة، 2020، ص 291). وتم استخدام هذا الأسلوب من أجل اختبار الفرضية لتحديد فيما إذا كان هنالك فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسط سرعة الإذابة الكلسية لمياه الينابيع خلال فصل الربيع والصيف.

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

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

#### المعادلات الرياضية المستخدمة في البحث

تم الاعتماد في هذه الدراسة على المعادلات التجريبية التالية:

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

$$V = \frac{4ET}{100} \quad (513)$$

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

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

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

2. معادلة تورك Turc لحساب التبخر – النتح الفعلى السنوي:

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

$Er$  = معدل التبخر–التحف الفعلى (ملم/ سنة).

$P$  = معدل التساقط السنوي بـ (ملم).

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

حيث أن  $T$  = متوسط درجة الحرارة السنوي مقدراً بالدرجة المئوية ( $^{\circ}$ 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 ملائمتها لنشوء الأشكال الكارستية في منطقة الدراسة، وتوصلت الدراسة إلى أنَّ سرعة التحلل الكارستي بلغت في نبع الدالية  $22.96 \text{ ملم}/1000\text{ سنة}$ ، كما بينت الدراسة أنَّ هذه السرعة غير كافية لتفسير الأشكال الكارستية الحالية في المنطقة.

دراسة نعامنة (Na'amneh, Eyad, 2011, P 1-100) والتي استخدمت هذه طريقة الرادون المشع والمقاومة الكهربائية الترمومغراافية لدراسة نظم الكهوف الكارستية في شمال الأردن، وأظهرت نتائج الدراسة أنَّ متوسط تركيز غاز الرادون في الكهوف في شمال إربد هو  $6.18 \text{ كيلو بيكيريل}/\text{م}^3$ ، وأعلى قيمة لتركيزه كانت  $(25.17 \text{ كيلو بيكيريل}/\text{م}^3)$ .

دراسة فيستال وأخرون (Festal, et al. 2011, P 137-147) والتي تناولت خطر المجرى المائي 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 كاثول.

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

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

ويتبين 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.

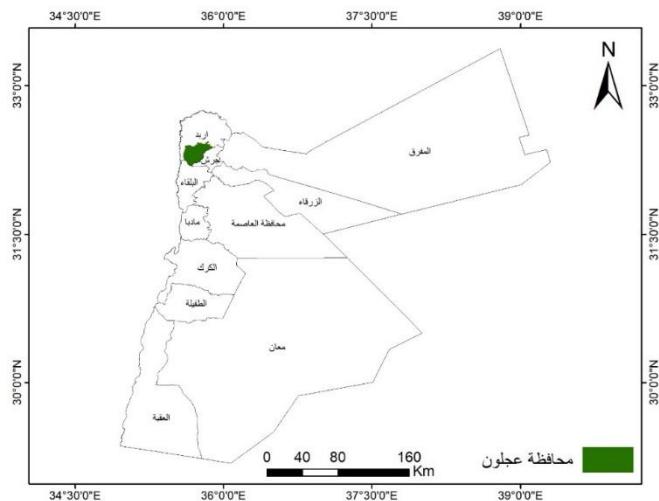
### الموقع والخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

تقع محافظة عجلون شمال المملكة الأردنية الهاشمية، ويحدها من الشمال والغرب محافظة إربد، ومن الشرق محافظة جرش، ومن الجنوب محافظة البلقاء، وتمتد بين دائري عرض  $32^{\circ} 29' 11''$  إلى  $32^{\circ} 26' 27''$  شمالي وبين خط طول  $35^{\circ} 35' 21'$  إلى  $35^{\circ} 47' 00'$  شرقياً، وتبلغ مساحتها حوالي  $419.6 \text{ كم}^2$  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 مترأً (فوق مستوى سطح البحر)، في حين أن أدنى منسوب يقع عند منطقة راجب الشفا غوريه والبالغ 339 متراً دون مستوى سطح البحر، الشكل (3).

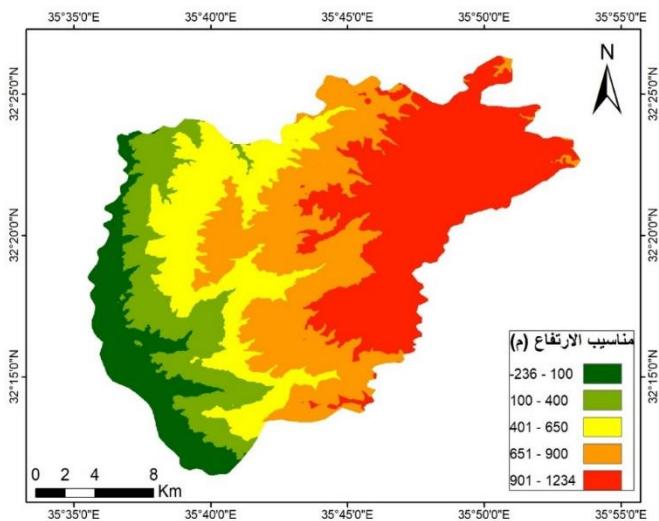
ويسود في منطقة الدراسة مناخ البحر المتوسط الذي يتميز بفصل شتاء بارد وصيفاً، وجاف صيفاً، ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية حوالي 15.2 درجة مئوية في محطة رأس منيف، وتتراوح كميات الأمطار في منطقة الدراسة ما بين أقل 300 ملم/ سنة في المناطق الشفافية غوريه وأعلى من 550 ملم/ سنة في المناطق الجبلية المرتفعة (الشكل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

تتميز التراكيب الجيولوجية في منطقة الدراسة بشكل عام بوجود نظام فوق رئيسي 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 المتوجهة شرق - غرب، وتقع قمة التركيب الإقليمي المعروف بقبة عجلون بالقرب من قرية عين التي تبعد حوالي 10 كم إلى الشمال الشرقي من مدينة عجلون (NRA، 1995).

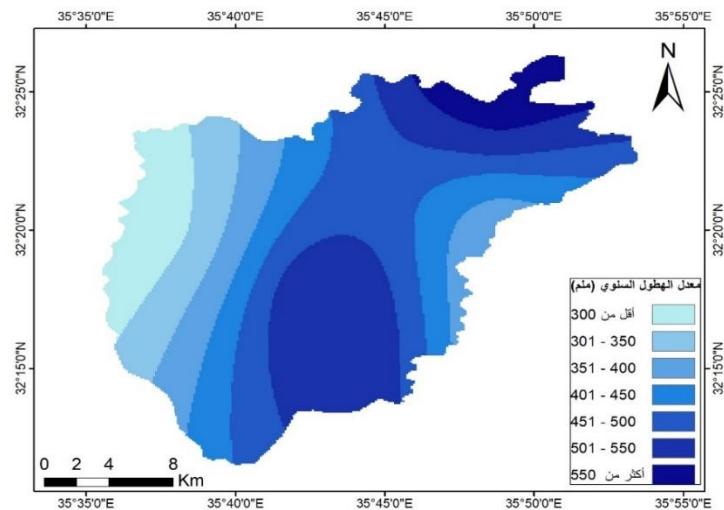
وتتنوع التكوينات الجيولوجية المكتشفة في منطقة الدراسة والتي تنتمي إلى العصر الجوراسي والكريتاسي إلى رواسب البلاستوسين الحديث (الشكل 5)، حيث تظهر صخور العصر الجوراسي في الأجزاء الجنوبيّة من منطقة الدراسة والتي تتكون صخورها من الحجر الرملي والدولوميتي والحجر الجيري، وتتوسط فوق صخور العصر الجوراسي صخور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



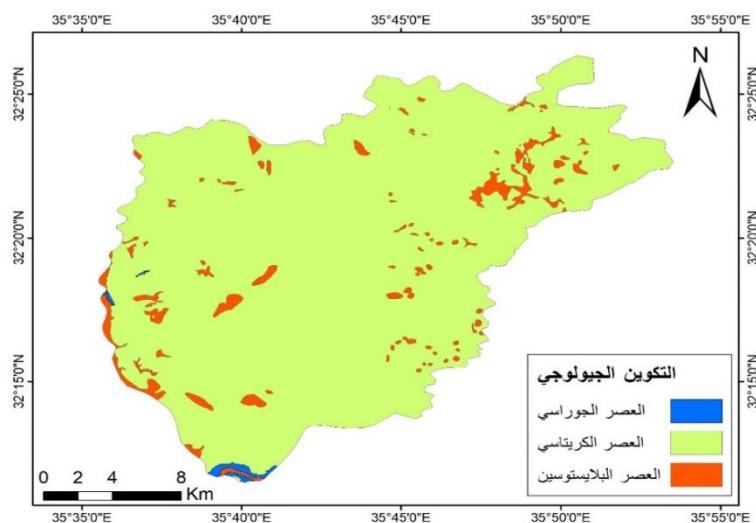
**شكل (2):** موقع منطقة الدراسة. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات المركز الملكي الجغرافي، 2020).



**شكل (3):** مناسبات 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).

### تحليل النتائج ومناقشتها

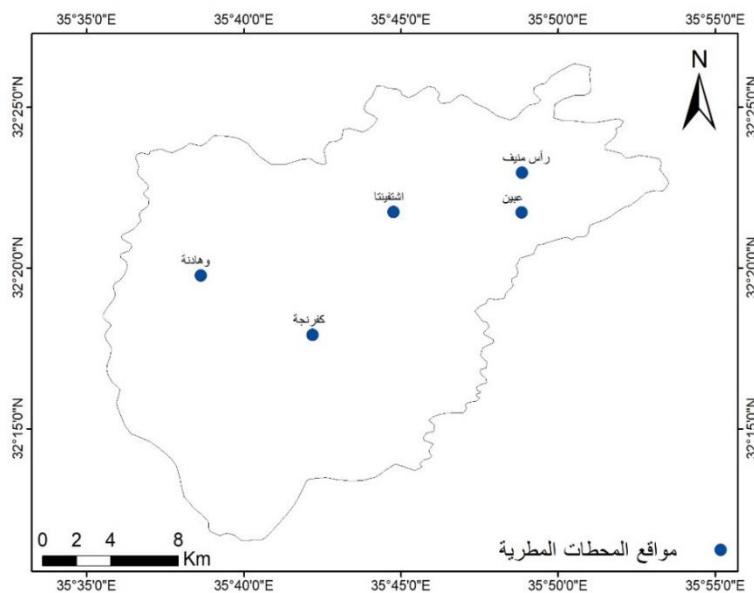
#### حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة

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 البليورات الداخلة في بنيتها وتركيبها، كما وتزداد سرعة الإذابة مع ارتفاع معدلات التساقط المطري وانخفاض درجات الحرارة، حيث أنَّ تدني معدلات درجة الحرارة السنوية يؤدي إلى تناقص معدلات التبخر – النتح السنوي وبالتالي يرفع من ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون ضمن ماء المطر ليشكل حمض الكربونيكي. وحمض الكربونيكي هو المسؤول عن ذوبان كربونات الكالسيوم صعبة ذوبان، والتي تتتألف منه الصخور الجيرية، وتحول 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 المحسوبة بين عام 1977 – 2016، فإنَّ 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، وعيون، وشفقينا، 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 أنَّ درجات الحرارة تتناقص في الأردن بمعدل  $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . متراً ارتفاع فوق منسوب سطح البحر بمعامل ارتباط بلغ بينهما 689% (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 ثم ضرب فرق الارتفاع بـ 0.8. تم حساب معدل التبخر – النتح السنوي باستخدام معادلة تورك (Turc) سابقة الذكر، ومن ثم 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 المطحات المطرية. المصدر: (عمل الباحثون اعتماداً على بيانات وزارة المياه والري، 2016)

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

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

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  $\text{Ca}^{2+}$  لمياه شلالات راجب حوالي (68.1) ملغرام/لتر وأيونات المغنيسيوم  $\text{Mg}^{2+}$  (29.2) ملغرام/لتر خلال الفترة الذي جمعت بها العينات بتاريخ 2019/9/14. أما كربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$  فإنها تعادل 170 ملغرام/لتر، أما كربونات المغنيسيوم  $\text{MgCO}_3$  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. وب يصل المجموع الفصلي لمحتوى مياه شلالات راجب من العناصر الكربوناتية إلى 270.80 ملغرام/لتر جدول 4.

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

مجموع الأملاح الذائبة ملغرام/لتر	الموصولة الكهربائية (EC $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	الأيونات الموجبة (ملغرام/لتر)						تاريخ جمع العينات	اسم النوع	
		$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	
479.5	552	21.9	11.0	292.9	40.0	0.86	15.5	29.2	68.1	29/4/2019
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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/جامعة الأردنية

**جدول (3): المحتوى الكربوناتي للكالسيوم والمعنيسيوم لمياه الينابيع في فترات مختلفة**

2019/9/14		2019/4/24		النبع 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/جامعة الأردنية.

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

2019/9/14		2019/4/24		النبع المائي
العسر الكلي (TH) 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/جامعة الأردنية

وبناء على البيانات الواردة في الجدول (1-4) فقد تم حساب سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع وفقاً لمعادلة كوربل (Corbel) سابقة الذكر، حيث تم مثلاً 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

#### التبالين الزمني والمكاني في سرعة الإذابة الكارستية لمياه الينابيع في منطقة الدراسة

بيّنت 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، وتوضّح معطيات الجدول (6) أنَّ سرعة الإذابة الكارستية زمانياً 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 فصل 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%， وبُعْزى 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.

#### التبالين 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:

- 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).
- 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 ينحصر هذا النطاق في الأجزاء الشمالية خلال فصل الصيف إلى ما نسبته 16.5% من مجمل مساحة المنطقة.

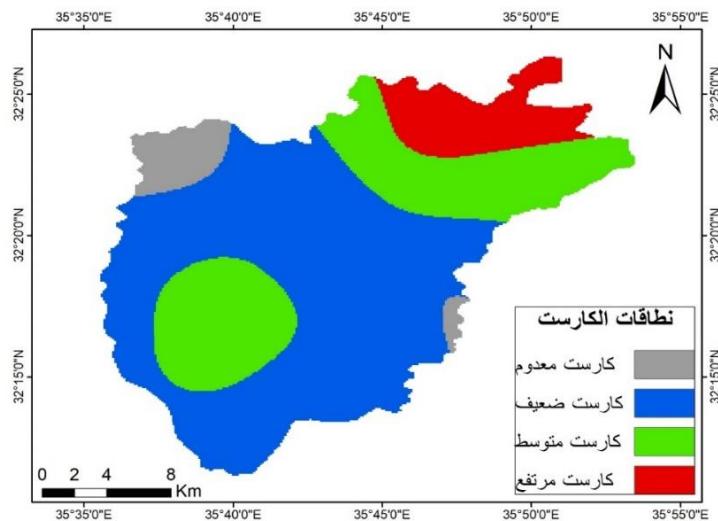
4. نطاق الكارست المرتفع: ويقتصر هذا النطاق على المناطق الشمالية من منطقة الدراسة، إذ يغطي حوالي  $41.3 \text{ كم}^2$  خلال فصل الربيع أي ما نسبته 9.8% من مساحة المنطقة، بينما تقلص مساحتها خلال فصل الصيف لتقتصر على أجزاء محدود من منطقة الدراسة والتي تبلغ مساحتها حوالي  $7.7 \text{ كم}^2$  من مجمل مساحة منطقة الدراسة.

يلاحظ مما سبق، أنَّ نطاق الكارست المعدوم والضعف تزايدت مساحتهمما على حساب نطاق الكارست المتوسط والمرتفع خلال فصل الربيع والصيف، حيث زادت مساحة نطاق المعدوم من  $21 \text{ كم}^2$  إلى  $38.6 \text{ كم}^2$  ونطاق الضعف من  $241.4 \text{ كم}^2$  إلى  $304.3 \text{ كم}^2$  خلال فصل الربيع والصيف على التوالي. بينما تناقص مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع من  $116.6 \text{ كم}^2$  إلى  $69.5 \text{ كم}^2$  لنطاق المتوسط، ومن  $9.8 \text{ كم}^2$  إلى  $1.8 \text{ كم}^2$  خلال فصل الربيع والصيف على التوالي. ويرجع السبب في هذا التباين خلال الفصلين إلى تزايد كمية الأمطار وانخفاض معدلات التبخر - النتح خلال فصل الربيع، وانحباس الأمطار وارتفاع معدلات التبخر - النتح خلال فصل الصيف. ويؤكد هذا إحصائياً وذلك من خلال العلاقة الإحصائية حيث يوجد ارتباط موجب قوي بين سرعة الإذابة الفصلية (الربيع، والصيف) والتراكم 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).

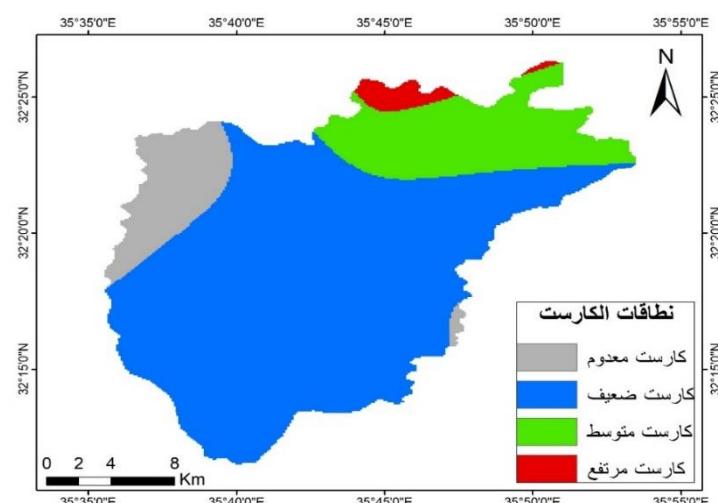
**جدول (7):** نطاقات الإذابة الكارستية خلال فصل الربيع والصيف في منطقة الدراسة.

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

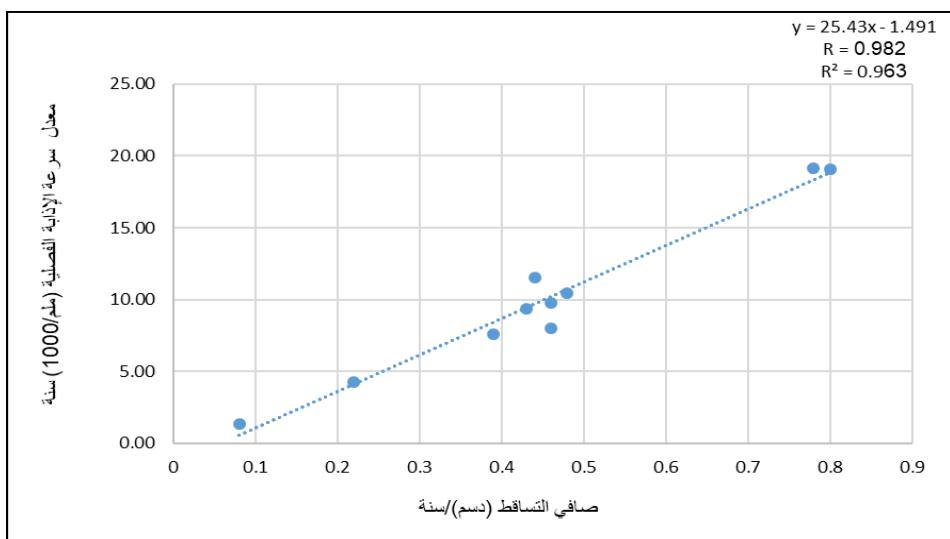
المصدر: عمل الباحثون.



**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 وصافي 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، وأنَّ 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).

وتتجدر الإشارة إلى وجود اختلاف بين المحتوى الفصلي من أيونات المغنيسيوم ( $Mg^{2+}$ ) وأيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) خلال فصل 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 لكرbonesات الكالسيوم على حساب كربونات المغنيسيوم، بالمقابل فإنَّ انخفاض منسوب المياه خلال فصل الصيف إلى منسوب الذوبان لكرbonesات 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 ( $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ) خلال فصل الربيع والصيف في مياه الينابيع.

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

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 ينابيع قادرة على إذابة كميات إضافية من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، أو أنها مشبعة بالعناصر الكربوناتية وعندها تكون مضطربة للتخلص من جزء من حمولتها الذائبة من العناصر الكربوناتية لحظة خروجها على السطح بهدف

إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون، أو أنها متعادلة أو متوازنة لا تستطيع أن تذيب أو ترسب من العناصر الكربوناتية (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 فصل الربيع والصيف بتاريخ 2019/4/29، 2019/9/14؛ من أجل الحصول على نتائج الخصائص الهيدروكيميائية لمياه الينابيع، وتقسيم 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 قريباً منه فإنَّ مياه تلك الينابيع تكون في حالة اتزان أي لا تذيب أو ترسب (قوقره، 2019، ص 70).

ويتبين من خلال جدول (10 و 11) أنَّ 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 طبيعة حركة مياه النبع حيث أنَّ حركة المياه وبشكل مستمر يجعلها قادرة على الإذابة أكبر منها في المختبر، وقد يرجع أيضاً إلى قيمة (pH) والتي ترتفع في المختبر مقارنة بما هي عليه في الميدان من جهة أخرى.

ويتبين من نتائج تحليل الخصائص الهيدروكيميائية لمياه الينابيع جدول (10 و 11) أنَّ مياه نبع الساخنة كانت أقرب إلى التوازن أي لا تذيب ولا ترسب خلال فصل الربيع والصيف بتاريخ 2019/4/29 و 2019/9/14 على التوالي، أما مياه ينابيع التيس، وزقيق، وأم الجلود فكانت مشبعة بكاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم في نفس التاريخ عند لحظة خروجها، ويمكن تقسيم ذلك بأنَّ مياه الإمطار عندما تهطل على سطح الصخور وتترشح عبر طبقات الصخور الجيرية وتصعد إلى مناسب مختلفة تقوم بإذابة كميات من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، إلا أنها عندما تتحول على شكل جريان باطنى وتقطع مسافة طويلة فإنَّ زمن تفاعಲها مع الصخور يكون طويلاً جداً، مما يجرها على التخلص عن جزء من حمولتها الكربونية عند لحظة خروجها، أما فيما يتعلق بمياه ينابيع 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، ويعزى ذلك إلى أنَّ مياه هذه الينابيع لم تقطع في جريانها تحت السطح إلا مسافة قصيرة نسبياً فكان زمن تفاعله 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	النبع 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	مختبرى	شلالات راجب
7.05	-7.78	-2.59	-0.39	-1.56	-0.14	-0.29	-2.83	ميدانى	
7.22	-7.79	-2.58	0.38	-1.60	0.20	0.06	-2.81	مختبرى	نبع البيضاء
6.96	-7.78	-2.57	-0.29	-1.36	-0.10	-0.25	-2.81	ميدانى	
7.38	-7.66	-2.58	0.68	-1.77	0.41	0.27	-2.81	مختبرى	نبع النيس
7.22	7.65	-2.56	0.10	-1.64	0.17	0.02	-2.81	ميدانى	
8.02	-7.41	-2.87	1.08	-2.69	0.51	0.36	-3.10	مختبرى	نبع الزقيق
7.85	-7.41	-2.86	0.67	-2.53	0.32	0.17	-3.10	ميدانى	
7.25	-7.31	-1.50	0.33	-1.75	0.14	0.00	-1.73	مختبرى	نبع العراق
7.05	-7.31	-1.49	-0.15	-1.56	-0.08	-0.23	-1.73	ميدانى	
7.73	-8.02	-2.88	0.65	-2.27	0.63	0.49	-3.11	مختبرى	نبع أم الجلود
7.56	-8.00	-2.87	0.10	-2.13	0.40	0.25	-3.12	ميدانى	
7.40	-7.77	-2.05	0.22	-1.93	0.25	0.11	-2.29	مختبرى	نبع أم غزلان
7.13	-7.76	-2.04	-0.48	-1.69	-0.07	-0.22	-2.29	ميدانى	
7.30	-7.57	-2.55	0.61	-1.79	0.29	0.15	-2.79	مختبرى	نبع راسون
6.90	-7.56	-2.54	-0.37	-1.31	-0.16	-0.31	-2.78	ميدانى	
7.29	-7.99	-2.80	0.48	-1.68	0.23	0.09	-3.03	مختبرى	نبع زغديه
7.02	-7.98	-2.79	-0.18	-1.43	-0.08	-0.23	-3.03	ميدانى	
7.49	-7.90	-2.72	0.53	-1.99	0.25	0.10	-2.95	مختبرى	نبع ساخنة
7.30	-7.89	-2.71	-0.02	-1.83	0.00	-0.14	-2.95	ميدانى	

المصدر: عمل الباحثون اعتمدأ 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 الماء
	SI. Halite	SI. Gypsum	SI. Dolomite	SI. CO <sub>2</sub> (g)	SI. Calcite	SI. Aragonite	SI. Anhydrite		
7.48	-7.43	-2.82	0.66	-1.93	0.04	-0.10	-3.04	مختبري ميداني	شلالات راجب نبع البيضاء
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	مختبري ميداني	نبع النيس
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	مختبري ميداني	نبع الزريق
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	مختبري ميداني	نبع العراق
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	مختبري ميداني	نبع أم الجلود
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	مختبري ميداني	نبع أم غزلان
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	مختبري ميداني	نبع راسون
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	مختبري ميداني	نبع زغديه
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	مختبري ميداني	نبع ساخنة
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	مختبري ميداني	
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).

وتتجدر الإشارة إلى أنَّ مياه الينابيع خلال فصل الربيع والصيف كانت قادرة على ترسيب المعادن الكربوناتية وتكون ترسبات الكالسيت (Calcite) والتي تعرف بظاهرة الصواعد (Stalactites) والنوازل (Stalagmites) نتيجة تبخُّر 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 و11)، بينما الينابيع التي كانت مستمرة في عملية الإذابة من المعادن الكربوناتية 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 الكربوناتية (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) حيث يوجد ارتباط عكسي قوي بينهما، فقد بلغت قيمة الارتباط خلال فصل الربيع والصيف 0.88-0.76-0.76 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 الكربوناتية.

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

المصدر: عمل الباحثون باستخدام برنامج التحليل الاحصائي (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 المدرسة، 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 المعروف والضعيف بين الفصلين وكان مقدار التزايد لصالح فصل الصيف إذ بلغ نحو 4.2% على التوالي، بينما تناقصت مساحة نطاق الكارست المتوسط والمرتفع بين الفصلين حوالي 11.5%-8% 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)، وأنَّ هذا الفرق ليس ناتج عن عامل الصدفة.
5. أظهرت نتائج الدراسة أنَّ 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.

### الوصيات

توصي الدراسة بما يلي:

1. ضرورة زيادة عدد المحطات المُناخية 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. التوسيع 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 الفيجة – سوريا. بحوث جغرافية، 26، 41-5.
- 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 معولاً ودلائلها الجيومورفولوجية. مجلة جامعة دمشق، 25(2+1)، 229-257.
- عابد، ع. (2017). جيولوجيا الأردن وبنيته ومياهه. دار وائل للنشر والتوزيع. عمان، الأردن.
- عوده، س. (1985). جيولوجيا منخفضات الإذابة في شمال الأردن: دراسة تطبيقية لمنطقة جور المجاذل. 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. بمقاييس (30 x 30 متر).
- قوقة، م. (2019). *الظاهرات الكلارستنية 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 & Siniscalchi, 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).