"جيومورفولوجية الكارست في وادي أبو شيح بالصحراء الشرقية في مصر"

أ/ إيمان عفيفى محمد مرغني

مدرس مساعد بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة أسيوط.

الملخص

يتسم وادي أبو شيح بالصحراء الشرقية أقصى جنوب شرق محافظة أسيوط، بانتشار أشكال الكارست وتنوعها: مثل البالوعات، المجاري تحت السطحية، الكهوف، والكباري الكارستية، فضلًا عن وجود تنوع من رواسب الكارست مثل الطوفا.

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة مورفولوجية هذه الأشكال، خاصة بالوعات الإذابة والمجاري تحت السطحية، وعلاقتها بتطور الوادي، واعتمدت الدراسة على مصادر متنوعة مثل العمل الحقلي، والمرئيات الفضائية فضلًا عن الخرائط الطبوغرافية، والجيولوجية المختلفة المتوافرة عن المنطقة.

اتضح من الدراسة أن أشكال الكارست في وادي أبوشيح نشأت في مراحل مختلفة، حيث نشأت الكهوف أولًا، ثم نشأ وادي أبوشيح الذي يقطع سطح الهضبة؛ فأظهر الكهوف المختفية أسفل السطح، وفي مرحلة تالية نشأت البالوعات والمجاري تحت السطحية داخل وادي أبو شيح وروافده.

أسهمت البالوعات والمجاري تحت السطحية في تسريع تعميق الوادي من خلال تحويل التصريف المائي إلى تحت السطح. ومن المرجح أن أغلب عمليات الكارست داخل الوادي قد تمت في ظل ظروف مناخية قديمة كانت أكثر مطرًا، وأن الظروف الحالية قد شاركت بنسبة إضافية في نشاط الكارست.

الكلمات المفتاحية: وادي أبو شيح، الكارست، البالوعات، المجاري تحت السطحية، الكهوف، الطوفا.

Karst Geomorphology of Wadi Abu shih in The Eastern Desert of Egypt

Abstract

Wadi Abu Shih, in the Eastern Desert, is characterized by the spread and various of karst forms: such as sinkholes, subsurface streams, caves, karst bridges and tufa.

The present study aims to study the morphology of these forms, especially the sinkholes and subsurface streams, and their relationship to the development of Wadi Abu shih.
The study depended on a variety of sources such as field work, satellite images, as well as various topographic and geological maps of the area.
It became clear from the study that karst forms in Wadi Abu Shih were formed in different stages, as caves originated in the first stage below the plateau surface, followed by the formation of Wadi Abu Shih which cut the surface of the plateau, as a result of which the hidden caves were exposed to the surface. Finally, sinkholes and subsurface streams have been formed within Wadi Abu Shih and its tributaries.
Sinkholes and Subsurface streams contributed to accelerating the deepening of the Wadi by diverting the water drainage to below the surface. It is likely that most of the karst processes inside the Wadi took place under paleoclimate conditions that were rainier, and that the current Arid conditions have participated in an additional percentage of karst process.

Keywords: Wadi Abu Shih, Karst, Sinkholes, Subsurface Stream, Caves, Tufa.

المقدمة

تُعد دراسة أشكال الكارست في المناطق الصحراوية من الموضوعات التي لاقت اهتمامًا كبيرًا في السنوات الأخيرة، خاصة تلك التي تتناول دور الكارست في نشأة أهم ملمح جيومورفولوجي في المناطق الصحراوية، وهو الأودية الجافة التي طالما تم اعتبارها أحد نواتج التعرية النهرية، ولكن متلاك أجزاء من هذه الأودية لبعض الملامح المورفولوجية غير العادية في مناطق التعرية النهرية مثل الخوانق، والمجاري تحت السطحية، والبالوعات، وغيرها أدى إلى إعادة النظر في الطريقة التي نشأت بها هذه

الأودية، فلم يعد التساؤل عما إذا كانت عملية الإذابة أدت دورًا في نشأة هذه الأودية وتطورها، ولكن التساؤل الآن هو إلى أى مدى أثرت هذه العملية في نشأة هذه الأودية؟ وهو التساؤل الذي تطلب الإجابة عنه دراسة تفصيلية لأشكال الكارست جميعًا في هذه الأودية.

مثلت دراسة أشرف أبو الفتوح عام ٢٠١٧م، والتي بعنوان " الكارست ودوره في تشكيل وادي بئر العين" أول دراسة تناولت بصورة مباشرة دور الكارست في تشكيل الأودية الصحراوية، ونشأتها في مناطق الحجر الجيري في مصر، وبالرغم من أن هذه الدراسة أكدت على الدور الكبير لعملية الإذابة في نشأة وادي بئر العين إلا أنه لا يمكن تعميم هذه النتيجة على باقي الأودية دون دراسة تفصيلية لعدد كافٍ منها بحيث يكون دعم هذا الاستنتاج على أساس علمي؛ لذلك تهتم الدراسة الحالية برصد أشكال الكارست المختلفة بوادي أبو شيح للوقوف على مدى تأثير الكارست في نشأة الوادي.

اعتمدت الدراسة على عدد من المصادر في جمع البيانات، وقد مثلت الدراسات الميدانية المصدر الرئيس لجمع البيانات، والتعرف على طبيعة الكارست في المنطقة، خاصة وأن أشكال الكارست– باستثناء المجاري تحت السطحية التي يمكن رصدها من المرئيات الفضائية– من الأشكال التى يصعب رصدها من المرئيات الفضائية لصغر حجمها من جهة، ولوجود بعضها في جوانب الأودية، وهو لا يظهر على المرئيات الفضائية، ونتيجة للمساحة الكبيرة التي يحتلها الوادي، ولتعدد روافده؛ فقد تطلب ذلك عددًا من الدراسات الميدانية التي تم خلالها دراسة حوض الوادي، بدأت بدراسة استطلاعية يوم ٢٠٢٠/٣/١٦م، ثم دراسة خلال الفترة من ٢٦ إلى ٢٠٢٠/١٢/٢٨م، وخلال الفترة من ٣ إلى٢٠٢١/٣/٤م ، ودراسة يوم ٢٠٢١/٩/١٧م، وأخيرًا دراسة بتاريخ ٢٠٢١/١٢/١م، وهدفت هذه الدراسات المتتالية إلى تغطية أكبر قد ممكن من حوض الوادي، وقد تم خلال هذه الدراسات رصد عدد كبير من أشكال الكارست، وإجراء القياسات المورفومترية، ورسم القطاعات التضاريسية، والتعرف على الخصائص الجيومورفولوجية لها، والتقاط الصور الفوتوغرافية وغيرها.

كما أدت الصور الفضائية من Google Earth دورًا مهمًا في التعرف على بعض أشكال الكارست، وخاصة المجاري تحت السطحية التي يمكن رصدها بسهولة من خلال الصور الفضائية، حيث أمكن رصد عدد منها وقياسه في مناطق صعبة الوصول في الميدان؛ نتيجة لوقوعها على مسافات بعيدة، وبالإضافة إلى ما سبق فقد تم الاعتماد أيضًا على الخرائط الطبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠ لسنة ١٩٨٩م، والخرائط الجيولوجية مقياس ١:١٠٠٠٠٠ لسنة ٢٠٠٤م التي أنتجت بواسطة هيئة المساحة الجيولوجية، وخريطة مصر الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠٠٠٠ إصدار شركة كونكو لسنة ١٩٨٧م، كما تم إجراء تحليل XRF الخاص بتحديد عناصر التكوين، ونسبها لعدد ثلاث عينات طوفا ذات خصائص مختلفة.

١ منطقة الدراسة ومورفولوجيتها

يقطع وادي أبو شيح هضبة المعازة بصحراء مصر الشرقية في النطاق الممتد فلكيًا بين دائرتي عرض ٣٢″ ٤٤′ ٢٦° و ٤٦″ ٥′ ٢٧° شمالًا، وبين خطي طول ٣٧″ ٢٩′ ٣١° و ٤٦″ ١٣′ ٣٢° شرقًا. يحده من جهة الشمال وادي حبيب، وهو من روافد الوادي الأسيوطى بالإضافة إلى وادي إيمو القبلي، ويحده من الجنوب؛ فتحده أودية أبو حمول، والجلاوية، وبئر العين، وشيتون الذي يستمر شمالًا ليمثل الحد الشرقي، ويتمثل الحد الغربي، فيتمثل في السهل الفيضي لوادي النيل الواقع عند نهاية المروحة الغرينية للوادي، وتبلغ مساحة حوض وادي أبو شيح حوالي ١٨٦٠,٩كم٢، ومحيط الحوض ٢٢٠,١ كم، وطوله ٧٢ كم، وأقصى عرض ٣٨,٧ كم. وبالنسبة للمروحة الغرينية للوادي؛ فتبلغ مساحتها حوالي ١٥١كم٢، ومحيطها حوالي ٤٩,٥كم، وطولها حوالي ١٦كم، وعرضها حوالي ١٢كم. وبالرغم من أن مصب وادي أبو شيح يقع أقصى جنوب شرق محافظة أسيوط، إلا أن جزءًا كبيرًا من روافده الجنوبية تدخل ضمن الحدود الإدارية لمحافظة سوهاج. ونظرًا لامتداده الكبير، واتساع حجم مروحته الغرينية، وكمية مياه الأمطار الكبيرة التي يستقبلها مما جعله ملائمًا لقيام العديد من الأنشطة الاقتصادية، وخاصة الزراعة.

نشأ الوادي في هضبة المعازة المكونة من الحجر الجيري الإيوسيني، والتي يتراوح منسوبها بين ٥٣٠م فوق سطح البحر في أقصى جزء تتبع منه الروافد شرقًا، وبين ٣٠٠م فوق سطح البحر في المناطق الموجودة بالقرب من المصب. أما بالنسبة لجوانب الوادي؛ فتتميز بالارتفاع حيث تتراوح بين ٦٠ و٢٠٠متر فوق قاع الوادي. ويرفد الوادي عدد من الروافد يتمثل أهمها في الحلفاوي، ورافده أبو حليفة، وأم شوش ورافده أم دود، والعدابية. ونتيجة للامتداد الكبير للوادي، وتعدد روافده؛ فإن تساقط الأمطار يؤدي في كثير من الحالات إلى حدوث سيول، وتدمير للمنشأت الواقعة على المروحة الغرينية، والقرى الواقعة عند نهاية المروحة، وذلك بالرغم من وجود أربعة سدود على روافده الرئيسة (شكل١).

٢ الخصائص الجيولوجية

نشأ وادي أبو شيح في هضبة المعازة المكونة من الحجر الجيري المنتمي إلى الإيوسين الأدنى، وهو ينقسم إلى ثلاثة تكوينات هي من الأسفل إلى الأعلى كما يلى:

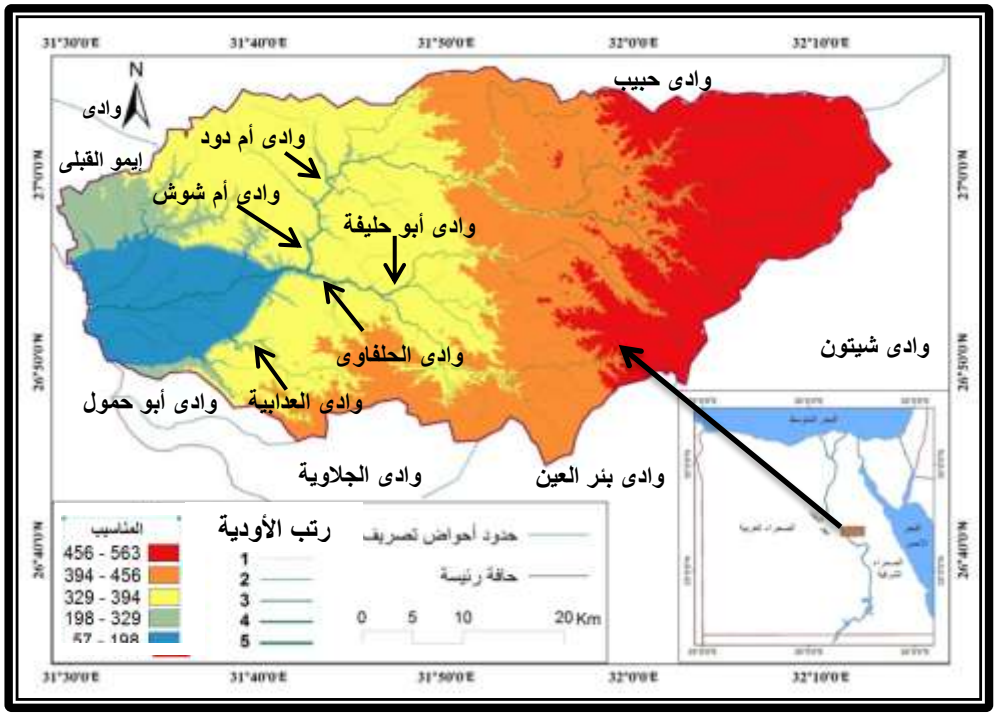
٢-١ تكوين طيبة Thebes Formation: أطلق Said (1960) عليه هذا الاسم نسبة إلى القطاع النموذجي له في جبل القرنة غرب الأقصر؛ حيث يبلغ سمك هذا التكوين هناك ٢٩٠م، ووفقًا ل El Attaar (1996) فإن هذا التكوين يشكل غالبية الهضبتين الشرقية والغربية في إقليم سوهاج، ويصل سمكه هناك إلى ٢٣٢م (Soliman, 2016)، ويرتكز هذا التكوين بعدم توافق فوق طفل أسنا. ويتكون بصفة أساسية من طبقات رقيقة من الحجر الجيري الطباشيري الغني برقائق من الصوان، والعقد الصوانية المنتمية إلى الإيوسين الأدنى، كما يشيع وجود طبقات مميزة من الحفريات البحرية مثل المحار والنيموليت (Abu Bakr, 2005) ويشكل هذا التكوين أقدام حافة الهضبة.

٢-٢ تكوين درنكة Drunka Formation: أطلق عليه هذا الاسم بواسطة El Nagger(1970) نسبة إلى القطاع النموذجي له، والموجود في جبل درنكة غرب أسيوط (Soliman, 2016)، وتشير بعض بيانات الآبار المحفورة إلى أن سمك هذا التكوين

يصل إلى ٢٧٥م (Abu Bakr, 2005)، يتكون من طبقات متوسطة إلى سميكة من الحجر الجيري التي تكون ذات محتوى عالٍ من الحفريات في بعض المناطق، ويتميز التكوين باللون الأبيض الثلجي في المناطق المكشوفة حديثًا، بينما يميل إلى الأبيض الرمادي، أو الأبيض الوردي في المناطق المكشوفة، والمعرضة لعوامل التجوية والتعرية (Ahmed, 1997).

٢-٣ تكوين مطمر Matmar Formation: ترجع تكويناته إلى أواسط الإيوسين الأسفل، ويرتكز هذا التكوين بتوافق على تكوين درنكة، وتظهر تكويناته شمال وادي إيمو بجوار قرية المطمر على الجانب الشرقي لوادي النيل، وهو القطاع الذي سمى التكوين نسبة إليه، وتتألف تكويناته من طبيقات صغيرة متتابعة يتراوح سمك كل طبقة منها بين ١٠ :٢٠ سم، وتتكون هذه الطبقات من الحجر الجيري الطباشيري الأصفر الفاتح ذي النسيج السكرى يميل إلى الاحمرار عند القمة، بالإضافة إلى المارل، والحجر الجيري الغنى بالعقد الصوانية التي تصل أبعادها إلى ١٠سم (Shama, 1972 & Mansour, 1969).

بالنسبة **للبنية الجيولوجية** فقد اتسم وادي أبو شيح بوجود عدد كبير من الصدوع بلغ ١٦٦ صدعًا بمجموع أطوال بلغ ٤٨٠,٨ كم، وقد تباينت الصدوع من حيث اتجاهاتها وأطوالها، حيث بلغ عدد الصدوع ذات اتجاه شمال غرب- جنوب شرق ٩٠ صدعًا بنسبة ٥٤,٢٣% من إجمالي أعداد الصدوع، وبمجموع أطوال بلغ ٢٨٣,٩كم بنسبة ٥٩% من إجمالي أطوال الصدوع، بينما بلغ عدد الصدوع ذات اتجاه شمال شرق- جنوب غرب ٧٥ صدعًا بنسبة ٤٥,٢% من إجمالي أعداد الصدوع، وبمجموع أطوال بلغ ١٨٩,٢ كم بنسبة ٣٩,٣% من إجمالي أطوال الصدوع، بينا وجد صدع واحد ذو اتجاه شرق-غرب بنسبة ٠,٦% من إجمالي أعداد الصدوع، وبطول بلغ ٧,٧كم بنسبة ١,٦% من إجمالي أطوال الصدوع. وتؤثر الصدوع في نشأة أشكال الكارست التي ينشأ بعضها عند مواضع تقاطع الصدوع مع بعضها البعض مثل البالوعات والكهوف، كما أن بعضها ينشأ على امتداد هذه الصدوع مثل المجاري تحت السطحية.



شكل (١) موقع وادى أبو شيح وحدوده

المصدر: من إعداد الطالبة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ٣٠ متر باستخدام برنامج الـ ArcGIS ver. 10.5.

٣ أشكال الكارست في وادي أبو شيح وتوزيعها

اتسمت أشكال الكارست في وادي أبو شيح بالانتشار في روافده المختلفة، ولكن بدرجات متفاوتة، ويمكن التعرف على خصائص الصورة التوزيعية لأشكال الكارست في المنطقة من خلال شكل(٢) ومنه يتضح ما يلى:

– يضم وادي أبو شيح عددًا كبيرًا من أشكال الكارست بلغ ١٠٣ شكلًا، تأتي الكهوف في المرتبة الأولى بعدد ٥٥ كهفًا، وبنسبة ٥٣,٤%، تليها المجاري تحت السطحية، وبلغ عددها ٢٨ مجرى بنسبة ٢٧,٢%، ثم البالوعات، وبلغ عددها ١٥ بالوعة بنسبة ١٤,٦%، والكباري الكارستية، وبلغ عددها ٣ كبارى بنسبة ٢,٩%، بالإضافة إلى مظهرين من مظاهر المياه هما بئر الحلفاوي، وبئر أم دود بنسبة ١,٩% من إجمالي أشكال الكارست بالوادي، هذا بالإضافة إلى الانتشار الكبير لرواسب الطوفا في روافده، وخاصة الحلفاوي، وأم شوش والعدابية، وبالرغم من عدم رصد أي من الينابيع النشطة بصورة مستمرة إلا أنه تم رصد مواضع لنز المياه بالقرب من بئر الحلفاوي.

– يضم وادي أبو شيح عددًا كبيرًا من المجاري تحت السطحية بلغ ٢٨ مجرى، أمكن الوصول إلى ١٤منها في الميدان، بينما تم التعرف على ١٤ منها من خلال المرئيات الفضائية، وقد بلغ عدد المجاري السليمة ٢٢ مجرى بنسبة ٧٨,٦%، بينما بلغ عدد المجاري المنهارة ٦ مجارٍ بنسبة ٢١,٤% من إجمالي المجاري تحت السطحية.

– توزعت هذه المجاري بصورة متفاوتة بين روافده، حيث استحوذ وادي الحلفاوي، ورافده أبو حليفة على غالبية المجاري تحت السطحية، وبلغ عددها في وادي الحلفاوي ١٣ مجرى بنسبة ٤٦,٤%، وضم وادي أبو حليفة ١٠ مجارٍ بنسبة ٣٥,٧%، في حين ضم رافد أم دود ٣ مجارٍ بنسبة ١٠,٧%، بينما ضم رافد أم شوش مجريين فقط بنسبة ٧,١% من إجمالي المجاري تحت السطحية.

– ارتبطت المجاري تحت السطحية في توزيعها بتكوينات الإيوسين الأدنى خاصة تكويني طيبة ودرنكة، حيث بلغ عدد المجاري التي نشأت في تكوين درنكة ١٦ مجرى بنسبة ٥٧,١%، يليه تكوين طيبة، وبلغ عددها ١٠ مجارٍ بنسبة ٣٥,٧%، بينما نشأ مجرى

واحد فيما بين تكوين طيبة في الأسفل، وتكوين درنكة في الأعلى، كما نشأ مجرى واحد في تكوين طيبة في الأسفل، ورواسب الطوفا في الأعلى بنسبة ٣,٦% لكلٍّ منهما. وقد تفاوتت المجاري تحت السطحية في المناسيب التي نشأت فيها، حيث تراوحت بين ٢٠٨م فوق مستوى سطح البحر، وذلك في مجرى الحلفاوى ١أ، وبين ٣٣٢م فوق مستوى سطح البحر لمجرى أبو حليفة٦.

– تباينت محاور المجاري تحت السطحية، ومثلت المجاري ذات الاتجاه الجنوب شرق– شمال غرب النسبة الأكبر، حيث بلغ عددها ١٢ مجرى بنسبة ٤٢,٩%، يليها المجاري ذات الاتجاه الشمال شرق– جنوب غرب، وبلغ عددها ١٠ مجارٍ بنسبة ٣٥,٧%، ثم المجاري ذات الاتجاه شرق–غرب، وبلغ عددها ٣ مجارٍ بنسبة ١٠,٧% ووجدت المجاري تحت السطحية بنسب أقل في باقي الاتجاهات، وقد ارتبطت هذه الاتجاهات المتباينة بمحاور الأودية التي نشأت فيها هذه المجاري.

– وبالنسبة للبالوعات والتي بلغ عددها ١٥ بالوعة، فقد تركزت غالبيتها في وادي الحلفاوي الذي يضم ١٣ بالوعة بنسبة ٨٦,٧%، وبالوعتين في وادي أم شوش بنسبة ١٣,٣% من إجمالي البالوعات. ويرجع التركز الكبير للبالوعات في وادي الحلفاوي إلى ارتباطها بالمجاري تحت السطحية الموجودة به، حيث بلغ عدد البالوعات المرتبطة بالمجاري تحت السطحية ١٢ بالوعة بنسبة ٨٠%، بينما بلغ عدد البالوعات التي وجدت فى قاع الوادي بالوعتين بنسبة ١٣,٣%، أما البالوعات المرتبطة بنقاط التجديد فتمثلت في بالوعة واحدة بنسبة ٦,٤% من إجمالي البالوعات.

– ارتبط البالوعات في نشأتها بتكوينات الإيوسين الأدنى متأثرة في ذلك بنشأة المجاري تحت السطحية في التكوينات نفسها؛ حيث بلغ عدد البالوعات التي نشأت في تكوين درنكة ٨ بالوعات بنسبة ٥٣,٣% يليه تكوين طيبة بعدد بلغ ٦ بالوعات بنسبة ٤٠%، بينما نشأت بالوعة واحدة في رواسب فلنت تصلبت بفعل مادة لاحمة بنسبة ٦,٧% من

البالوعات. وقد تراوحت البالوعات في مناسيبها بين ٢٤٩م فوق مستوى سطح البحر في بالوعة الحلفاوي ١٣، وبين ٣٠٣م فوق مستوى سطح البحر في بالوعتي الحلفاوي ٣ و٤.

– مثلت الكهوف أكثر أشكال الكارست انتشارًا في وادي أبو شيح؛ حيث بلغ عددها ٥٥ كهفًا، وبالرغم من ذلك تُعد أقل أشكال الكارست التي تمت دراستها، وذلك لصعوبة الوصول لعدد كبير منها؛ نتيجة لوقوعها على جانبي الوادي في حافات شبة رأسية، ولذلك فقد بلغ عدد الكهوف التي لم يتم دراستها ٥٠ كهفًا بنسبة ٩٠,٩% ، بينما بلغ عدد الكهوف التي تم دراستها ٥ كهوف بنسبة ٩,١% من إجمالي الكهوف.

– توزعت هذه الكهوف بنسب متفاوتة في روافد وادي أبو شيح، حيث ضم وادي أم شوش ٢٤ كهفًا بنسبة ٤٣,٦%، بينما ضم رافد أم دود ١١ كهفًا بنسبة ٢٠%، يليهم رافد العدابية بعدد بلغ ١٠ كهوف بنسبة ١٨,٢%، ثم رافد أبو شيح جهة اليسار، وبلغ عدد الكهوف به ٦ كهوف بنسبة ١٠,٩%، بينما ضم رافد الحلفاوي وهو الرافد الرئيس لوادي أبو شيح العدد الأقل من الكهوف، وبلغ ٤ كهوف بنسبة ٧,٣% من إجمالي الكهوف بالوادي.

– يضم وادي أبو شيح ثلاثة كباري كارستية نشأت جميعها في أعلى الحافة في مناطق صعبة الوصول، حيث تراوحت مناسيبها بين ٣٠٣م و ٣١٦م فوق مستوى سطح البحر، وقد نشأ اثنان منها، وهما أم شوش١، وأم شوش٢ في تكوين المطمر؛ بينما نشأ الثالث، وهو الحلفاوي١ في تكوين درنكة.

– يضم وادي أبو شيح أحد أهم مظاهر المياه والمتمثلة في بئر الحلفاوي نسبة إلى وادي الحلفاوي الذي يوجد فيه، ويوجد هذا البئر في منتصف أرضية الوادي عند منسوب ١٦٤م فوق مستوى سطح البحر، حيث نشأ في ركام رواسب الوادي نتيجة لتقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض، كما يضم الوادي مظهرًا آخر من مظاهر المياه والمتمثلة في عد أم دود.

– تُعد رواسب الطوفا أهم أشكال الترسيب الكيميائي المرتبطة بالكارست في منطقة الدراسة، وقد توزعت رواسب الطوفا في مواضع مختلفة من وادي أبو شيح، مع تركز

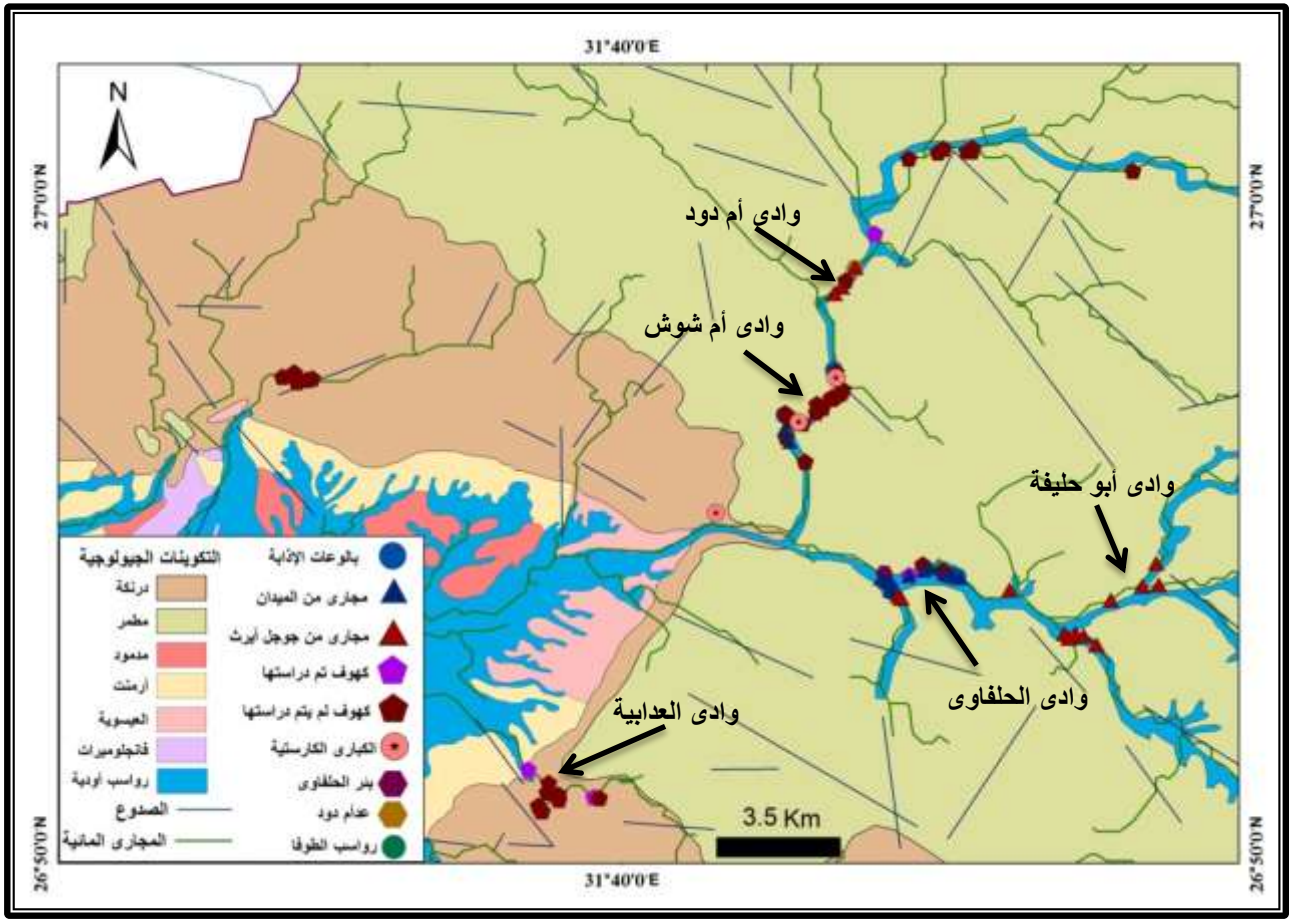
النسبة الأكبر منها في رافدي الحلفاوي وأم شوش، بينما ظهرت في موضعين فقط بوادي العدابية. وقد ظهرت في مناسيب مختلفة تراوحت بين ١٧٨م فوق مستوى سطح البحر لشلال الطوفا الواقع عند مدخل وادي العدابية، وبين ٢٩٨م فوق مستوى سطح البحر لرواسب الطوفا الظاهرة في قاع وادي العدابية.

٤ مورفولوجية الكارست في وادي أبو شيح

٤-١ البالوعات Sinkholes

يستخدم مصطلح البالوعات أحيانًا للإشارة إلى كلٍّ من الدولينات والمنخفضات، بينما في الواقع فإن المصطلحين غير مترادفين بشكل دقيق، حيث إن مصطلح دولينا يستخدم للإشارة إلى كل المنخفضات متوسطة الحجم التي نشأت بطرق مختلفة– مثل الإذابة، والهبوط، والانهيار، وغيرها– ومنها البالوعات، والتي تعد أحد أنواع الدولينا التي يحدث عندها غوص أو ابتلاع للمياه (Williams, 2004)، ويشيع استخدام مصطلح بالوعة فى كلٍّ من الدراسات الأمريكية، والتي تطلق عليها Sinkholes وفي الدراسات الأوروبية التي تطلق عليها Swallow hole.

يقصد بالبالوعة " النقطة التي يختفي عندها مجرى أو نهر تحت الأرض، حيث تغوص المياه مباشرة خلال القنوات الأفقية والرأسية، ويطلق علماء الهيدرولوجي على هذه المياه مياه الابتلاع، وهي تتميز بالتدفق المباشر والسريع خلال البالوعات والكهوف المتصلة بها، وهو ما يميزها عن عملية الرشح percolation التي تحدث في الأنواع الأخرى من الدولينات"، ويستخدم مصطلح البالوعات عامة لوصف المنخفضات ذات الشكل القمعي funnel أو الأسطواني cylindrical (EPA, 2002).



شكل (٢) توزيع أشكال الكارست في الجزء الأدنى من وادي أبو شيح

المصدر: من إعداد الطالبة اعتمادًا على الدراسة الميدانية، و Google Earth، وخريطة مصر الجيولوجية كونكو مقياس ١: ٥٠٠٠٠ لوحة أسيوط، ١٩٨٧م، وخرائط جيولوجية مقياس ١:١٠٠٠٠٠ إصدار المساحة الجيولوجية المصرية بالتعاون مع هيئة التعدين سنة ٢٠٠٣ و٢٠٠٤م.

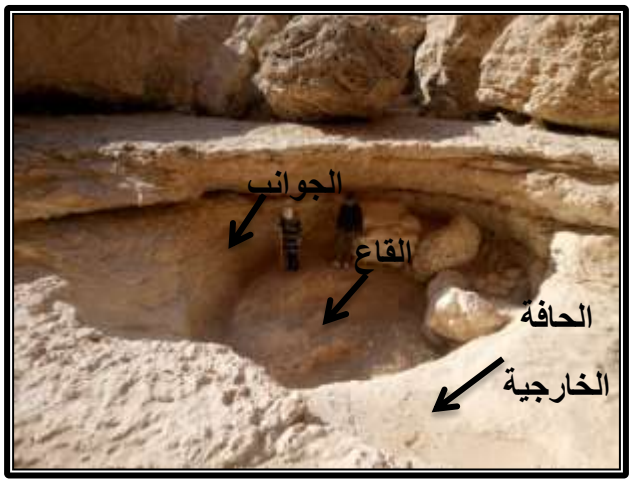
تُعد البالوعات أحد أهم أشكال الكارست السطحية، وتأتي أهمية هذه البالوعات من كونها أهم مدخلات input point المياه لنظام الكارست أسفل السطح، ويترتب على اتساع حجم البالوعات، وزيادة عددها تحول تصريف المياه من تصريف سطحي إلى تصريف تحت سطحي، وبالتالي نشاط الإذابة السطحية والجوفية (أشرف أبو الفتوح، ٢٠١٧). وبالرغم من كون البالوعات هي إحدى أنواع المنخفضات أو الدولينات إلا أنه نظرًا لانتشارها الكبير في منطقة الدراسة، فسوف يتم التركيز على هذا النوع من الدولينات بصفة خاصة، مع اعتماد مصطلح البالوعات للدلالة عليه نظرًا لكونه الأكثر تعبيرًا عن طبيعة هذه الدولينات، ولشيوع استخدام هذا المصطلح في الدراسات العربية.

٤-١-١ مورفولوجية البالوعات

تتباين البالوعات بصفة عامة في مورفولوجيتها بين تلك التي تتخذ شكلًا منتظمًا، وأهمها الشكل الدائري، أو البيضاوي، أو الطولي، وبين البالوعات غير منتظمة الشكل، وهي التي لا تتخذ أيًا من الأشكال الهندسية المنتظمة، ويرجع ذلك إلى عدة أسباب؛ أهمها مرتبط بطبيعة الصخر الذي نشأت فيه من حيث مدى تجانس الصخر، وتأثره بالصدوع، وطباقيته، ودرجة ميل طبقاته، ووجود غطاء من التربة من عدمه، وتؤثر الخصائص السابقة بطبيعة الحال على شكل المياه المتدفقة على السطح وخلال الصخر. وقد أوضحت دراسة Sustersic عام ١٩٩٤م أن البالوعات تتكون من ثلاثة أجزاء متحدة المركز هذه النطاقات هي:

- **القاع:** وهو المنطقة المركزية المسطحة عادة، وقد تكون مغطاة بطبقة من الرواسب.
- **الجوانب:** وهو أكثر أجزاء البالوعة انحدارًا، حيث تنحدر الجوانب من الأعلى نحو القاع بصورة كبيرة.

– **الحافة الخارجية:** ويتميز هذه النطاق بأنه هين الانحدار (Sauro, 2005, p109) (لوحة ١).



لوحة (١) أجزاء البالوعة الثلاثة، بالوعة الحلفاوي٥.

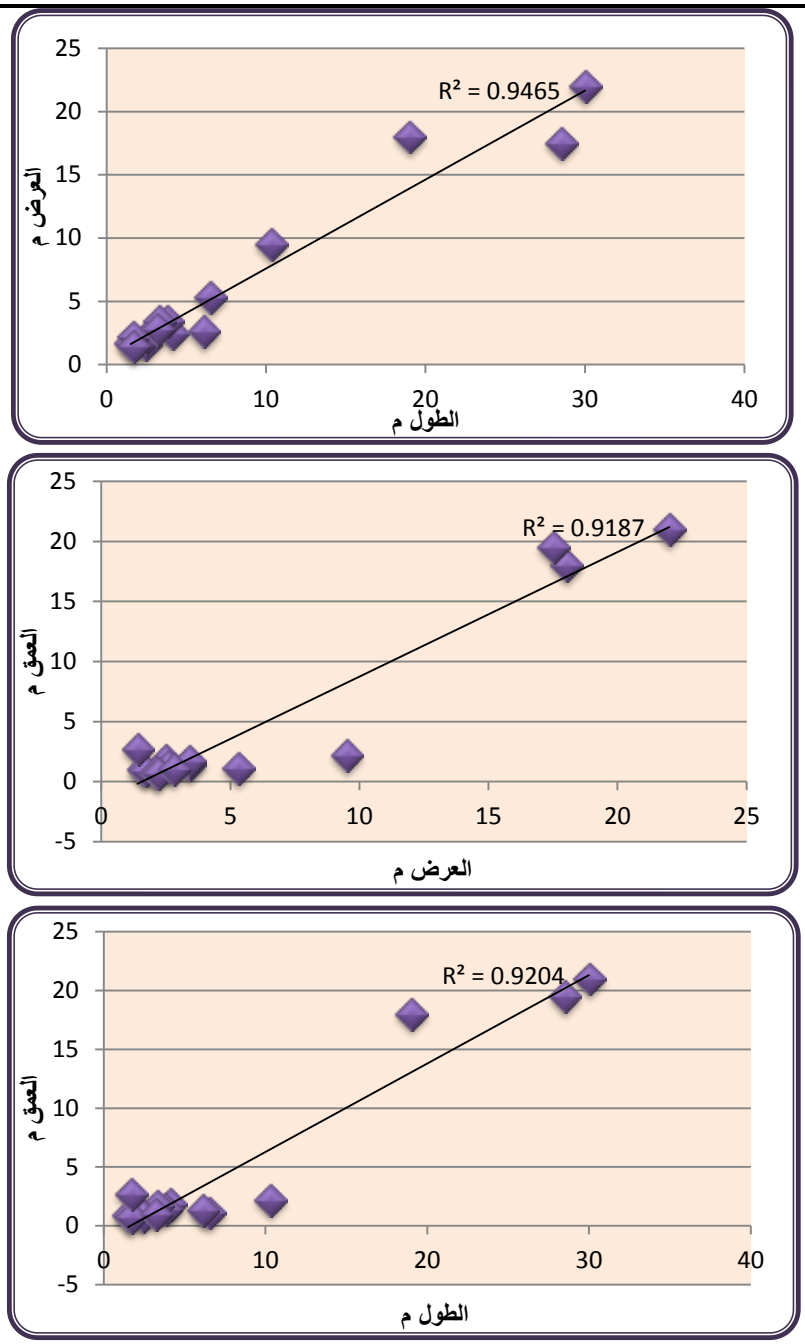
تتخذ البالوعات جميعًا في منطقة الدراسة الشكل المنتظم، وخاصة الشكل البيضاوي؛ حيث بلغ عدد البالوعات بيضاوية الشكل ١٤ بالوعة بنسبة ٩٣,٤%، بينما وجدت بالوعة واحدة طولية الشكل بنسبة ٦,٦% وهي بالوعة الحلفاوي٧، وجدير بالذكر أن العامل الرئيس المؤثر في الشكل المنتظم للبالوعات هو تجانس الصخر، ودرجة ميل الطبقات، فكلما زادت درجة تجانس الصخر مع قلة ميل الطبقات كانت البالوعات التي تنشأ عليه دائرية الشكل، بينما زيادة درجة انحدار السطح يحولها إلى الشكل البيضاوي أو الطولي في حالة زيادة الانحدار. وبالرغم من أن هذه البالوعات منتظمة الشكل إلا أن بعضها نشأ في تكوين درنكة الغني بالحفريات البحرية ما جعل البالوعات غير ملساء بصورة مثالية، وذلك لكون الحفريات المتحجرة أكثر مقاومة لعملية الإذابة من الصخر الذي نشأت فيه. وبالرغم من أن غالبية البالوعات نشأت على مرحلة واحدة، إلا أن بعضها قد نشأ على عدة مراحل بمعنى أن البالوعة الرئيسة نشأت في الأول، ثم نشأت

بالوعة أحدث في قاع البالوعة الرئيسة، مما يجعلها بالوعة مركبة من مستويين، أو أكثر حسب مراحل تطورها، وهو ما ينطبق على بالوعتي الحلفاوي٣ والحلفاوي٤.

٤-١-٢ مورفومترية البالوعات

يتضح من (جدول١ و٢) و(شكل٣) أن البالوعات بمنطقة الدراسة أظهرت تباينًا كبيرًا في أبعادها، حيث تراوحت أطوالها بين ١,٥ و٣٠م بمتوسط عام ٨,٣م، وكان أقصى طول سجل لبالوعة الحلفاوي١ يليها أم شوش٢ بطول بلغ ٢٨,٥م، أما أدنى طول، فكان لبالوعة الحلفاوي١٠، ثم بالوعتي الحلفاوي ١٢، والحلفاوي ١٣ بطول بلغ ١,٧م، بينما تراوح العرض بين ١,٤ و٢٢م بمتوسط عام ٦,٤م وكانت بالوعة الحلفاوي١ هي أكثر البالوعات عرضًا يليها بالوعة الحلفاوي٣ بعرض بلغ ١٨م، أما أدنى البالوعات عرضًا؛ فتمثلت في بالوعة الحلفاوي ١٣ يليها بالوعة الحلفاوي ٩ بعرض بلغ ١,٦م، في حين تراوح العمق بين ٠,٧ و٢١م بمتوسط عام ٥م، ومثلت بالوعة الحلفاوي ١أكثر البالوعات عمقًا يليها بالوعة أم شوش٢ بعمق بلغ ١٩,٥م، أما أقل البالوعات عمقًا؛ فهي بالوعة الحلفاوي ١٢ يليها بالوعة الحلفاوي١١ وبلغ عمقها٠,٨م.

بدراسة الارتباط بين أبعاد البالوعات تبين وجود ارتباط قوي بين أبعاد البالوعات، حيث بلغ الارتباط بين طول البالوعات وعرضها ٠,٩٧٣ وقد تحقق هذا الارتباط في ٩٤,٦٥% من البالوعات، كما بلغ الارتباط بين الطول والعمق ٠,٩٥٩ وقد تحقق في ٩٢,٠٤% من البالوعات، وبلغ الارتباط بين العرض والعمق ٠,٩٥٨، وقد تحقق في ٩١,٨٧% من البالوعات بمنطقة الدراسة، وهي جميعها ارتباطات لها دلالة معنوية.



شكل (٣) العلاقة القوية بين أبعاد البالوعات بوادي أبو شيح.

جدول (١) الخصائص الإحصائية لأبعاد البالوعات في منطقة الدراسة

	المتوسط	أدنى قيمة	أقصى قيمة
الطول	٨,٣	١,٥	٣٠
العرض	٦,٤	١,٤	٢٢
العمق	٥	٠,٧	٢١

جدول (٢) معامل الارتباط بين أبعاد البالوعات في منطقة الدراسة

	طول	عرض	عمق
طول	١	**٠,٩٧٣	**٠,٩٥٩
عرض		١	**٠,٩٥٨
عمق			١

** تشير إلى أن الارتباط معنوي عند مستوى ثقة قدره ٠,٠١

٤-١-٣ العوامل المؤثرة في نشأة البالوعات وتوزيعها

نظرًا لكون البالوعات أهم مدخلات نظام الكارست؛ فقد تزايدت في العقود الأخيرة الدراسات التي تناولتها في محاولة لتسليط الضوء على العوامل المؤثرة في نشأتها، وتوزيعها، وغيرها من الخصائص (Sweeting, 1972, Bögli, 1980, Sauro, 2005)، ولا تختلف العوامل المؤثرة في نشأة البالوعات وتوزيعها في منطقة الدراسة كثيرًا مع ما تم ذكره في الدراسات السابقة، ويمكن إيجاز أهم هذه العوامل فيما يلي:

- **شبكة الأودية:** فقد اتضح أن البالوعات جميعًا تركزت في قيعان الأودية خاصة الضيقة منها في أكثر المناطق انخفاضًا ومركزية في موقعها، وتمثل قيعان الأودية

المناطق المفضلة لنشأة البالوعات لعدة أسباب أهمها قلة الانحدار، والتركز الكبير للمياه، مما يسمح بتسرب جزء منها إلى أسفل السطح لبدء عملية الإذابة، ويتفق ذلك مع العديد من الدراسات السابقة التي أكدت أن الغالبية العظمى من البالوعات ترتبط بقيعان الأودية أكثر من ارتباطها بسطح الهضبة، والتي يرتبط بها نوع آخر من الدولينات تعرف بالمنخفضات.

– **نظام الصدوع:** نظرًا لأن عملية الإذابة هي عملية انتقائية تزداد فرص حدوثها في الصخور الجيرية قليلة النفاذية، والغنية بالصدوع، والعكس صحيح؛ حيث تقل فرص حدوثها في الصخور عالية النفاذية، والفقيرة في الصدوع، وذلك لأنه في هذه الحالة تتوزع عملية الإذابة في كامل كتلة الصخر دون أن تتركز في مناطق معينة. وعليه فإن نشأة البالوعات تتأثر بصورة مباشرة بمواضع الصدوع، حيث تنشأ البالوعات في النطاق الذي يتقاطع عنده صدعان أو أكثر، وهو النطاق الذي يمثل مركز البالوعة، وأكثر أجزائها عمقًا، حيث تتركز عملية الإذابة في المنطقة التي تتقاطع عندها الصدوع مما يجعلها تعمق بصورة كبيرة مقارنة باتساعها، مكسبة البالوعة الشكل الأسطواني المميز لها. كما تؤثر طبيعة الصدوع على نمط توزيع البالوعات التي قد توجد منفردة، أو في صورة مجموعات متجاورة فيما يعرف بحقل البالوعات، أو سهول البالوعات doline fields or sinkhole plains أو تتراصف طوليًا على امتداد الصدوع.

– **انحدار السطح:** حيث تميل البالوعات إلى النشأة على الأسطح الأفقية أو قليلة الميل، وهو ما يسمح بتجمع المياه، وتركز عملية الإذابة، وتقل فرص نشأتها بزيادة درجة الانحدار إلى أن تختفي على الأسطح شديدة الانحدار. ولا يؤثر انحدار السطح على نشاة البالوعات فقط، ولكن من أكثر العوامل المؤثرة في مورفولوجيتها، حيث إن البالوعات المثالية في الاستدارة والمتماثلة في أجزائها كافة تميل إلى النشأة على الأسطح الأفقية،

في حين أن البالوعات التي تنشأ على أسطح منحدرة تميل إلى الاستطالة التي تزداد بزيادة درجة انحدار السطح مع عدم التماثل بين أجزائها.

كما تؤثر درجة انحدار السطح على نمط توزيع البالوعات داخل الحقل الواحد، والتي يمكن إيجازها في نمطين؛ النمط الأول وتظهر فيه البالوعات متجاورة، ولكن معزولة عن بعضها البعض، ويرتبط هذا النمط بالأسطح الأفقية وهو الأكثر شيوعًا في منطقة الدراسة، أما النمط الثاني فتظهر فيه البالوعات متجاورة وملتحمة ببعضها البعض مما يفقدها شكلها المنتظم، ويرتبط هذا النمط بالأسطح المائلة، ويقل انتشار هذا النمط في منطقة الدراسة.

– **نقاط التجديد:** رغم وجود البالوعات جميعًا التي تم دراستها في قاع الوادي إلا أنها ارتبطت بمناطق معينة من قيعان الأودية، ولم تتوزع بصورة عشوائية، حيث وجد أنها ارتبطت بصفة خاصة بالأسطح التي تعلو نقاط التجديد العادية، أو المجاري تحت السطحية، والتي تمثل بدورها نقاط تجديد، كما مثلت البالوعات في بعض الحالات جزءًا من نقطة التجديد، أو المجرى تحت السطحي، ويرجع ارتباط البالوعات بالأسطح التي تعلو نقاط التجديد إلى طبيعة ما تتميز به هذه الأسطح من قله انحدار، وتباطؤ حركة المياه من جهة، كما أن وجود فرق في المنسوب والمتمثل في نقطة التجديد، أو المجرى تحت السطحي يعزز عملية الإذابة مقارنة بغيرها من المناطق على امتداد الوادي.

٤-٢ المجاري تحت السطحية Subsurface streams

٤-٢-١ تعريف المجاري تحت السطحية

يعد إيجاد تعريف واضح ومفصل لهذه الظاهرة أكثر أوجه القصور في دراسات الكارست التي لم تزدْ في مجملها عن توضيح الفرق بين تعبيرين مترابطين هما المجاري

تحت السطحية والأنهار الجوفية. يقصد بالمجاري تحت السطحية " تلك المجاري التي تنشأ أسفل السطح كجزء من كهف أو كهوف، وقد تتدفق بها المياه، وليس بالضرورة أن تكون كبيرة" (EPA, 2002)، في حين أن المياه المرتبطة بالمجاري تحت السطحية تعرف بالأنهار الجوفية Underground river ويقصد بها" تلك المياه التي تتدفق في قنوات خلال الكهوف، أو التكهفات في مناطق الكارست" (EPA, 2002). كما أوضحت هذه الدراسات أن نوع الكهوف المرتبط بالمجاري تحت السطحية يعرف بالكهوف المتشعبة Branchwork cave وهي " الكهوف التي تنشأ من خلال التقاء المجاري تحت السطحية مما يعطيها صفة التشعب، وتلتحم هذه الروافد بالاتجاه نحو الأسفل بحيث تصبح حجرات الكهف أقل عددًا، ولكن أكبر حجمًا" (Culver & White, 2005).

يشير أشرف أبو الفتوح (تحت النشر) إلى أن المجاري تحت السطحية هي تلك المجاري التي تنشأ أسفل قيعان الأودية الرئيسة، وروافدها بفعل عملية الإذابة، وعادة ما يتعرض سقف هذه المجاري للانهيار، ومن ثم تنفتح على قاع الوادي السطح، سواء أكان الوادي الرئيس أم روافده، ويتراوح عرض المجاري تحت السطحية في الغالب ما بين ٢ و٢٠مترًا، وارتفاع جوانبها ما بين ٣–٢٠ مترًا، وقد تتجاوز ٥٠ مترًا في الروافد المعلقة عند اتصالها مع الوادي الرئيس، ويتراوح طول هذه المجاري في الغالب ما بين ٥٠٠–١٠٠ متر، وقد يمتد لعدة كيلومترات. غالبًا ما يتحكم في نشأة هذه المجاري وتطورها وجود مواضع يختلف عندها منسوب القاع بشكل واضح بامتداد القطاع الطولي للوادي، مثل نقاط التجديد، أو مواضع التقاء الروافد مع مجاريها بفارق رأسي كبير في شكل أودية معلقة، حيث يخلق هذا الفارق في المنسوب تجديد نشاط عملية الإذابة السطحية والجوفية. وعادة ما يرتبط بهذه المجاري بعض المظاهر المميزة مثل البالوعات، وأوعية الإذابة، والخوانق، وبرك المياه، ومظاهر الكارست الدقيقة (الكارن) لاسيما الشقوق الموسعة بالإذابة، ونوافذ الكارست، هذا فضلًا عن أنواع مختلفة من الرواسب مثل الكتل،

والألواح المنهارة، ومخاريط السلت المختلطة مع طحالب متحللة، ورمال هوائية، وتجمعات حصوية (أشرف أبو الفتوح، تحت النشر).

٤-٢-٢ مورفومترية المجاري تحت السطحية

تراوحت أطوال المجاري تحت السطحية في وادي أبو شيح بين ٣٥:٩٥٥م بمتوسط بلغ ٢٥٣,٤م ويعد مجرى أبو حليفة ٧ أطول مجارى منطقة الدراسة؛ يليه مجرى أبو حليفة ٢أ بطول بلغ ٤٧٦م، أما أقل طول فكان لمجرى الحلفاوي ٢د يليه مجرى الحلفاوي ١و، وبلغ ٥٠م. وبالنسبة للعرض فقد تراوح بين ٧:٤٠م بمتوسط بلغ ١٦,٩م وقد سجل أقصى عرض لمجرى الحلفاوي ٢ج يليه مجرى أبو حليفة ١، وبلغ ٢٣,٥م، بينما سجل أقل عرض في مجرى الحلفاوي ٢ح يليه مجرى أبو حليفة ٦، وبلغ ١٠م. أما بالنسبة للعمق فقد تراوح بين ٢,٢:١٦,٥ بمتوسط بلغ ٦,٢م، وقد سجل أقصى عمق في أم دود١ يليه مجرى الحلفاوي١هـ، وبلغ ١٢م، بينما سجل أدنى عمق فى مجرى الحلفاوي٢أ يليه مجرى الحلفاوي١د، وبلغ ٢,٨م (جدول٣).

بحساب معامل الارتباط بين أبعاد المجاري تحت السطحية وجد أن ارتباط متوسط بين طول وعرض المجاري قد بلغ ٠,٧٢٧ وقد تحقق في٠,٦٦%، بينما وجد ارتباط قوي بين الطول والعمق ٠,٩٢٠، وقد تحقق هذا الارتباط في ٨٤,٤٩%، في حين وجد ارتباط عكسي بين عرض وعمق المجاري بلغ – ٠,٣١٠ وقد تحقق في ٩,٥٩% من المجارى تحت السطحية، كما يتضح أن الطول هو البعد الأكثر تأثيرًا في الأبعاد الأخرى (جدول٤ وشكل٤). جدير بالذكر أن المجاري تحت السطحية هي أكثر مظاهر الكارست التي تتسم بعدم التناسق في أبعادها بمعنى أن الطول في أغلب الأحيان يكون كبيرًا جدًا مقارنة بالعرض والعمق خاصة في المجارى المرتبطة بالبالوعات في نشأتها، ومن أبرز

الأمثلة على ذلك أم دود١، والذي يبلغ طوله حوالي ٤٦٦م؛ بينما يبلغ عرضه ١٤م وعمقة ١٦,٥م.

جدول (٣) الخصائص الإحصائية لأبعاد المجاري تحت السطحية في وادي أبو شيح

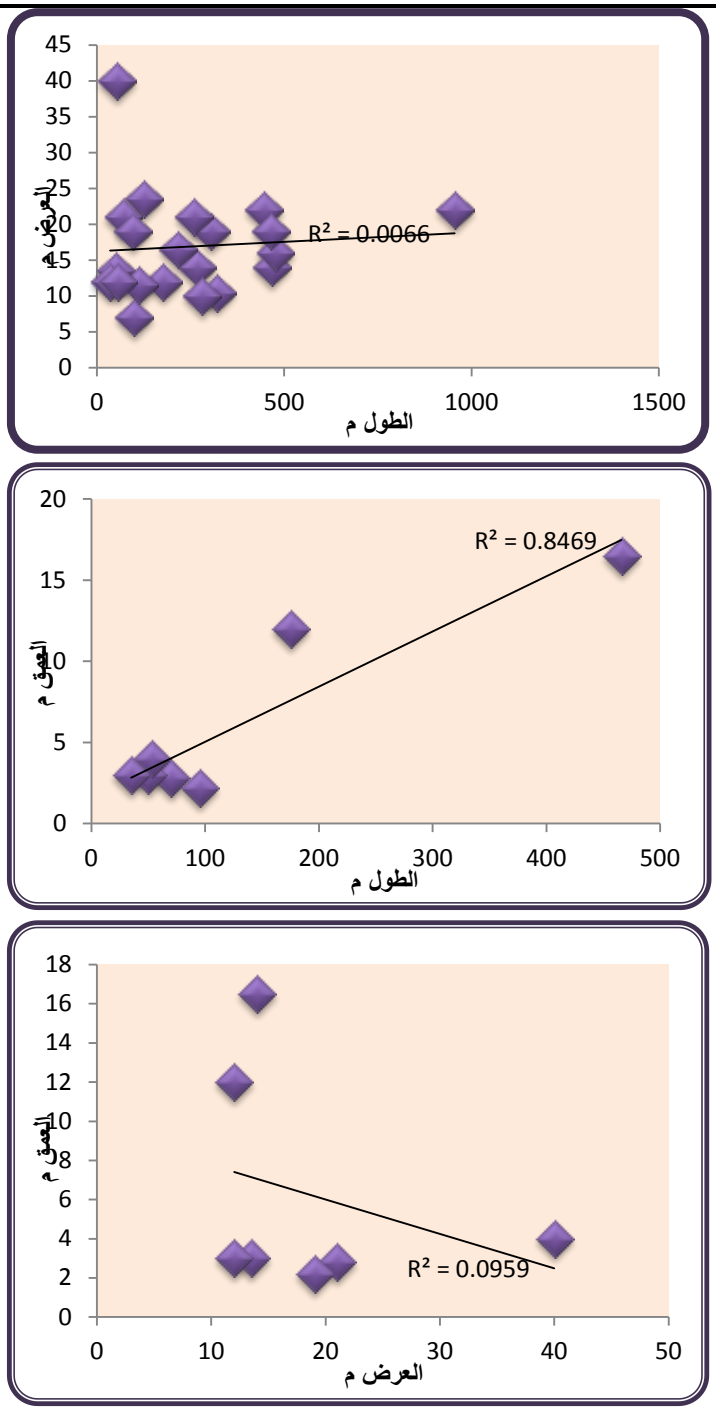
	المتوسط	أدنى قيمة	أقصى قيمة
الطول	٢٥٣,٤	٣٥	٩٥٥
العرض	١٦,٩	٧	٤٠
العمق	٦,٢	٢,٢	١٦,٥

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على الدراسات الميدانية و Google Earth

جدول (٤) معامل الارتباط بين أبعاد المجاري تحت السطحية في وادي أبو شيح

	طول	عرض	عمق
طول	١	٠,٧٢٧	٠,٩٢٠**
عرض		١	٠,٣١٠-
عمق			١

** تشير إلى أن الارتباط معنوي عند مستوى ثقة قدره ٠,٠١



شكل (٤) العلاقة بين أبعاد المجاري تحت السطحية بوادي أبو شيح

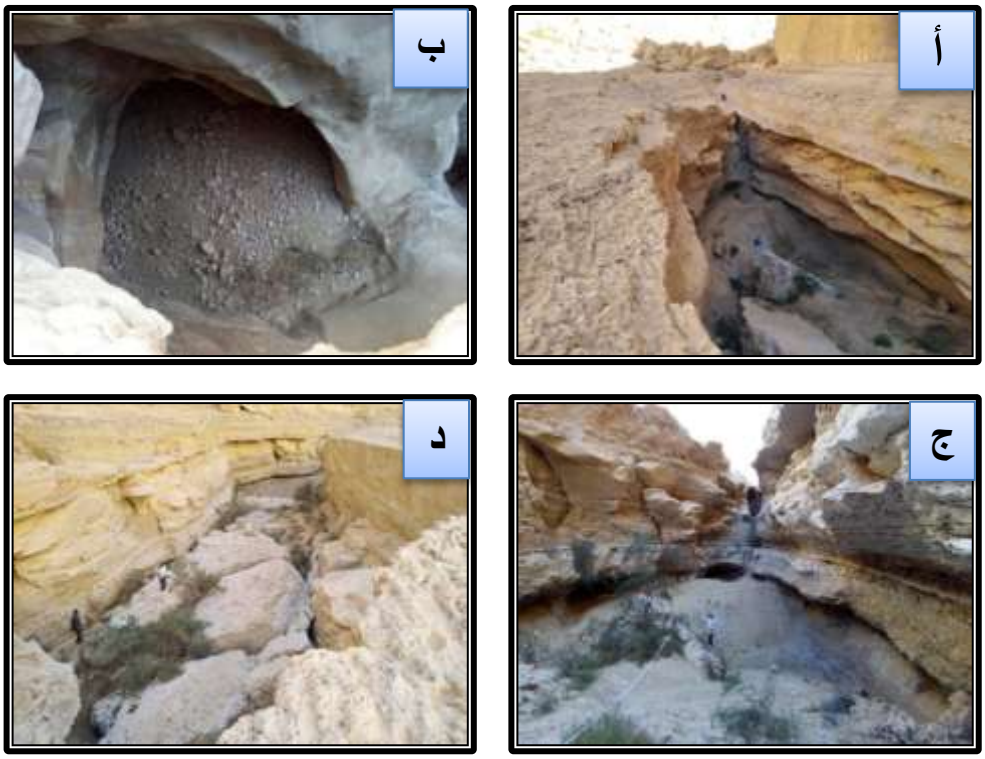
٤-٢-٣ نماذج من المجاري تحت السطحية والبالوعات المرتبطة بها

٤-٢-٣-١ مجرى الحلفاوي١ مستوى هـ

يُعد نموذجًا للمجاري متعددة المستويات، حيث إن بعض المجاري تحت السطحية تتكون من عدة مستويات نتيجة لحدوث انخفاض في مستوى القاعدة، ينتج عنه نشأة مستوى جديد في قاع المجرى الأصلي، بحيث تكون المستويات في المناسيب الأدنى هي الأحدث، ويعد هذا المجرى أكثر مستويات الحلفاوي١ وضوحًا، ويبلغ طوله ١٧٥م، وعرضه ١٢م، وعمقه ١٢م، ويأخذ اتجاهًا شرقيًا- غربيًا في غالبيته، ويتحول إلى جنوبي شرقي- شمالي غربي بالقرب من نهايته. يتضح من خلال مورفولوجية هذا المجرى أنه تأثر كثيرًا بنشأته خلال تكوينين جيولوجيين، حيث تأثر تكوين طيبة بعملية الإذابة بدرجة أكبر من تكوين درنكة، ويرجع ذلك إلى طبيعة التكوينين؛ حيث إن تكوين طيبة يتكون من طبقات من الحجر الجيري، وراقات من الصوان مما يجعلها أقل تماسكًا من تكوين درنكة الذي يتكون من حجر جيري غني بالحفريات، وأكثر صلابة من تكوين طيبة، ويمتد تكوين طيبة في الأسفل لمسافة ١٠,٥ م من إجمالي عمق المجرى، وتكوين درنكة في القسم العلوي لمسافة ١,٥م من إجمالي عمق المجرى.

يبدأ المجرى من الأعلى في صورة سلسلة من البالوعات أوضحها بالوعة الحلفاوي ١٣ والتي يبلغ طولها ١,٧م، وعرضها ١,٤م، وعمقها ٢,٧م، وهي متصلة ببالوعات أقل وضوحًا أسفل منها، وتنتهي هذه البالوعات إلى منطقة بركة الغطس؛ حيث أكثر أجزاء المجرى عمقًا، وهي تتغطى بطبقة سميكة من رواسب السيول، وتتفاوت أرضية المجرى بعد ذلك فى الارتفاع والانخفاض؛ حيث ترتفع في مناطق وجود الكتل المنهارة، وتنخفض في مناطق وجود رواسب السيول وصولًا إلى منتصف المجرى تقريبًا؛ حيث تتغطى أرضية المجرى بالكامل بكتل كبيرة الحجم لمسافة ٢٠م، وبعض النباتات،

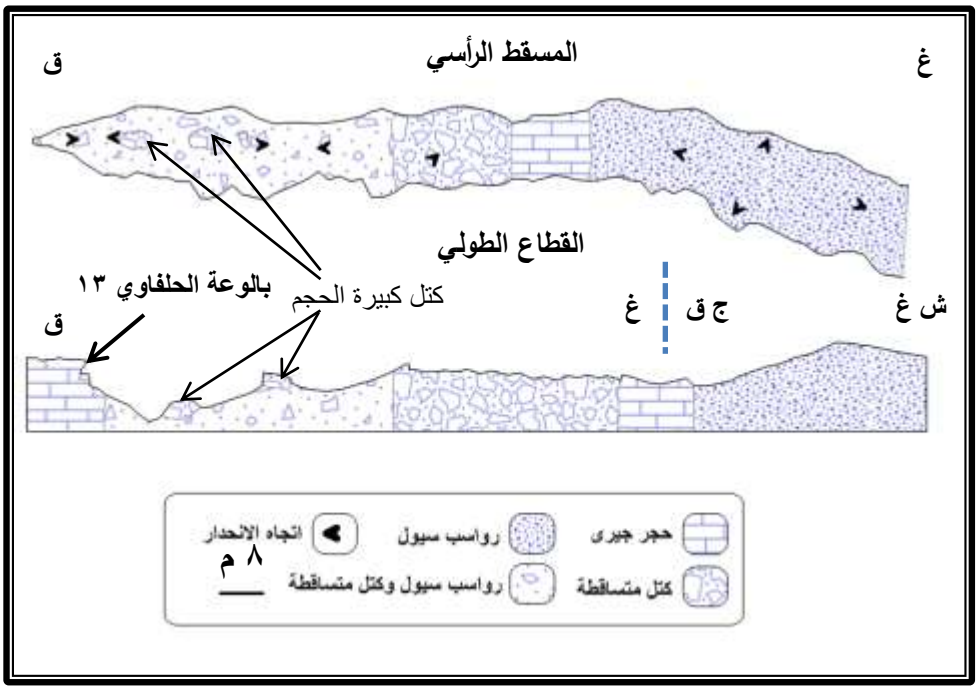
وقد انفصلت هذه الكتل عن الجانب الأيسر للمجرى نتيجة لدور كلٍّ من عملية الإذابة، والتقويض السفلي مما جعل تكوين درنكة المعلق في الأعلى ينهار في نهاية الأمر.



لوحة (٢) مجرى الحلفاوي ١ مستوى هـ، (أ) المظهر العام للمجرى من الأعلى يُلاحظ تعرج الجوانب، وضيق المجرى بالاتجاه نحو الداخل، (ب) بالوعة الحلفاوي ١٣ في بداية المجرى من الأعلى، (ج) القسم الداخلي من المجرى يتسم بتراكم رواسب السيول والاتساع في الأسفل؛ حيث التقويض السفلى، وتعرج الجوانب نحو الأعلى، (د) انتشار الكتل المتساقطة على أرضية المجرى بالكامل في القسم الأوسط.

جدير بالذكر أن أغلب عمليات الانهيار خلال هذا المجرى تركزت على الجانب الأيسر، وذلك نتيجة لوقوع المجرى أقصى يمين قاع الوادي الرئيس ملاصقًا لحافة الوادي جهة اليمين، وبالتالي عدم وجود سطح مستوٍ من هذه الجهة يمكن أن يتعرض للانهيار

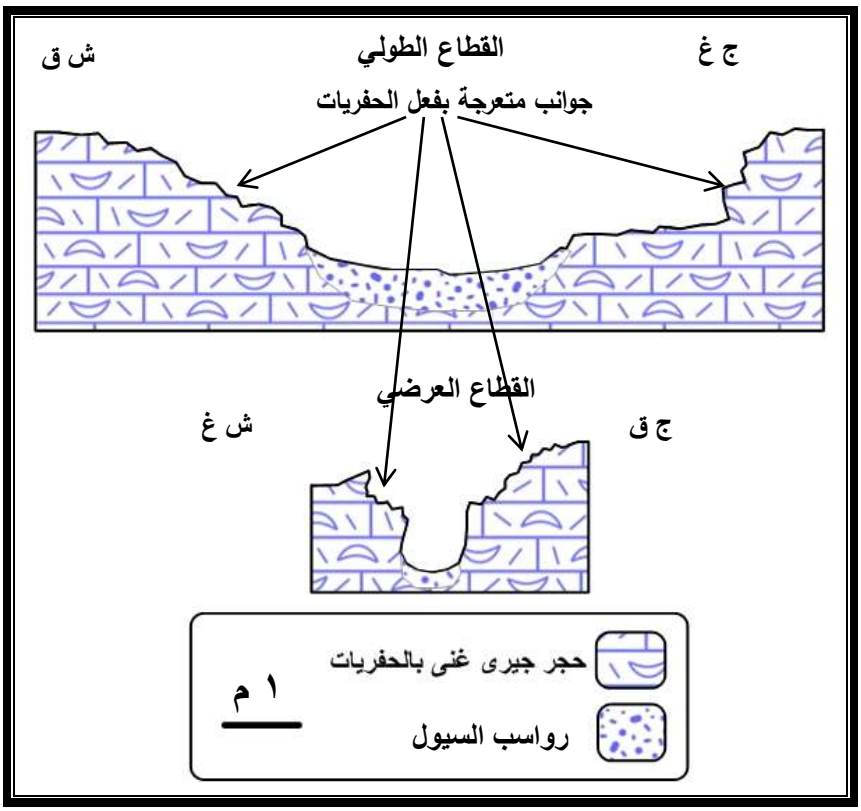
تاركًا أغلب قاع الوادي جهة اليسار، وبعد نهاية نطاق الكتل المنهارة تظهر أرضية المجرى الصخرية لمسافة ١٣م. أما باقي أرضية المجرى فتتغطى برواسب السيول، وبالنسبة لجدران المجرى فتتسم بالتعرج، وعدم الانتظام نتيجة لتفاوت عملية الإذابة، ولكنها تتسع في الأجزاء السفلى، والمنتصف، وتضيق في الأعلى؛ نتيجة لبروز تكوين درنكة في صورة حافة شديدة التعرج (لوحة٢ وشكل٥).



شكل(٥) المسقط الرأسي والقطاع الطولي لمجرى الحلفاوي١ مستوى هـ

– **البالوعات المرتبطة بمجرى الحلفاوي١ مستوى هـ:** نتيجة لغنى تكوين درنكة بالحفريات البحرية؛ فقد أدى ذلك إلى تعرج السطح المحيط بالمجرى المتميز بوجود عدد من أوعية وبالوعات بعضها طولي نتيجة لانحدار السطح تجاه المجرى عند بدايته، ومن أمثلتها بالوعة الحلفاوي ٧، والبعض الآخر بيضاوي بالقرب من نهاية المجرى، ومنها بالوعات الحلفاوي ٨ و٩ و١٠ و١١ و١٢، وفيما يلي دراسة تفصيلية لهذه البالوعات:

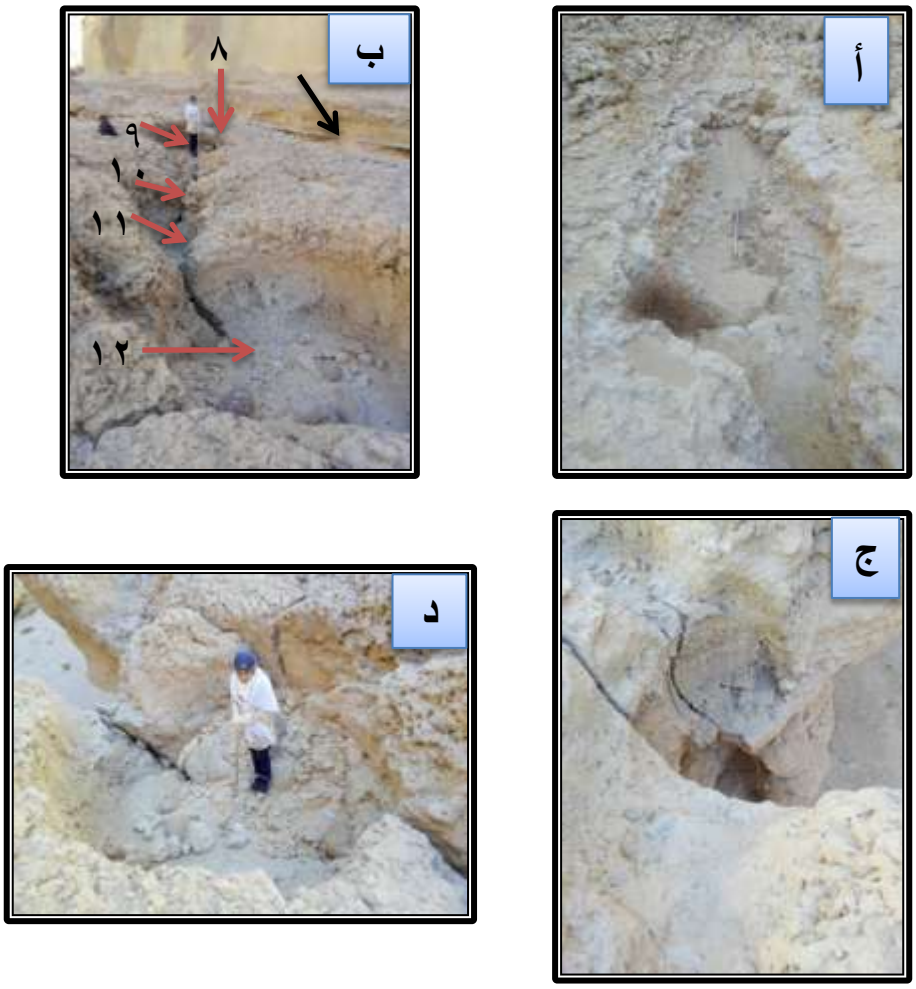
– **بالوعة الحلفاوي٧:** تتميز البالوعة بالشكل الطولي؛ حيث يبلغ طولها ٦,١م، وعرضها ٢,٦م في حين لا يزيد عمقها عن ١,٣م، تتميز جوانب البالوعة بالتعرج نتيجة لغنى تكوين الحجر الجيري الذي نشأت فيه بالحفريات البحرية، وهو التكوين الذي يطلق عليه تكوين درنكة، ونتيجة لانحدار السطح الذي نشأت عليه تجاه الأسفل نحو المجرى الجوفي؛ فقد أدى ذلك إلى عدم تماثل البالوعة في درجة انحدار وتعرج جوانبها، حيث يتميز جانبها المتماشي مع اتجاه المياه بالانحدار والتعرج الهين، أما جانبها المعاكس لاتجاه المياه؛ فيتميز بدرجة انحدار وتعرج أكبر، وبالنسبة لقاع البالوعة فهو يختفى أسفل طبقة رقيقة من رواسب السيول (لوحة٣أ، شكل٦).



شكل (٦) القطاع الطولي والعرضي لبالوعة الحلفاوي ٧

– **بالوعات الحلفاوي ٨ و٩ و١٠ و١١ و١٢:** نشأت أعلى مجرى الحلفاوي١ مستوى هـ جهة اليسار قرب نهاية المجرى، وتمثل هذه البالوعات نموذجًا للبالوعات التي نشأت على امتداد صدع يقطع تكوين درنكة، وتتكون هذه السلسلة من ست بالوعات؛ خمس منها سليمة؛ أما البالوعة السادسة فهي منهارة جهة المجرى، تتباين هذه البالوعات في أبعادها، ولكنها تتصف بصفة عامة بالشكل البيضاوي وقلة العمق، وتبدأ هذه السلسلة ببالوعة الحلفاوي ٨ وهي أكبر البالوعات ضمن هذه السلسلة؛ حيث يبلغ طولها ٣,٣م، وعرضها ٣,٤م، وعمقها ١,٧م، تليها بالوعة الحلفاوي ٩، ويبلغ طولها ٢,٤م، وعرضها ١,٦م، وعمقها ١م، ثم بالوعة الحلفاوي ١٠ وهي أصغر بالوعات هذه السلسلة، ويبلغ طولها ١,٥م، وعرضها ١,٧م، وعمقها ٠,٩م، ثم بالوعة الحلفاوي ١١، ويبلغ طولها ٢,٤م، وعرضها ٢,١م، وعمقها ٠,٨م، تليها بالوعة الحلفاوي ١٢، ويبلغ طولها ١,٧م، وعرضها ٢,٢م، وعمقها ٠,٧م، وهي أقل البالوعات عمقًا، وتنتهي هذه السلسلة ببالوعة منهارة كما ذكرنا سابقًا (لوحة ٣ ب،ج، د).

بالرغم من أن هذه البالوعات بيضاوية الشكل إلا أنها تتسم بتضرسها؛ نتيجة لمحتوى تكوين درنكة من الحفريات المقاومة لعملية الإذابة مقارنة بالحجر الجيري الموجودة فيه، تغطي أرضية البالوعات بطبقة رقيقة من رواسب السيول، والحصى المنقول بفعل مياه الأمطار، ومن المتوقع أنه بمرور الوقت فإن هذه البالوعات سوف تنهار تجاه المجرى الواقع أسفل منها؛ نتيجة لازدياد اتساع الصدع الذي نشأت عليه من جهه، ونشاط عمليات التقويض السفلي في أرضية المجرى من جهه أخرى؛ مما يجعلها عرضة أكثر من غيرها للانهيار(لوحة٣/ ب، ج، د).



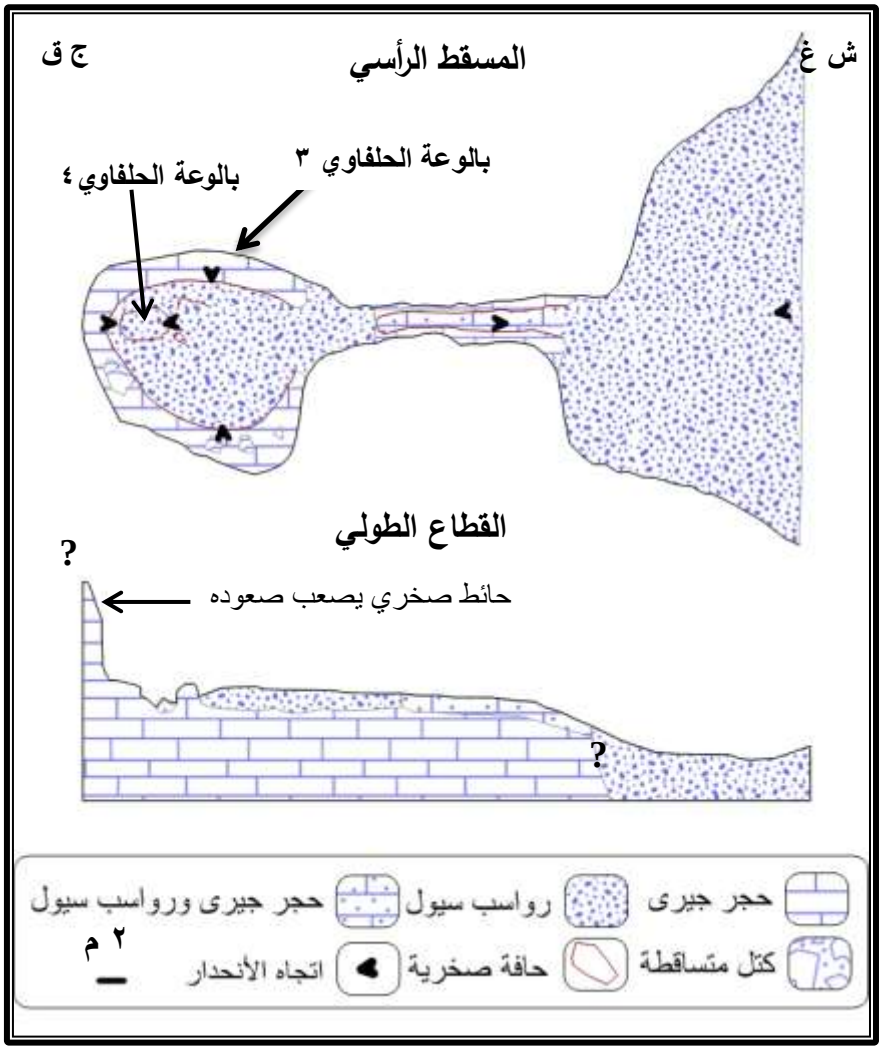
لوحة (٣) البالوعات المرتبطة بمجرى الحلفاوي١ مستوى هـ، (أ) التعرج الواضح لجوانب بالوعة الحلفاوي ٧ نتيجة لنشأتها في تكوين غني بالحفريات، (ب) المظهر العام لبالوعات الحلفاوي ٨ و٩و١٠و١١و١٢ يوضح خط الضعف الذي نشأت عليه، السهم الأسود يشير إلى المجرى تحت السطحي، والسهم الأحمر يشير إلى بداية نطاق البالوعات، (ج) البالوعة المنهارة في نهاية السلسلة تجاه المجرى الجوفي، (د) بالوعة الحلفاوي١٢؛ وتتسم بالشكل البيضاوي، والجوانب، والقاع غير المنتظم.

٤-٢-٣-٢ الحلفاوي ٢ مستوى ز

تعد من النماذج المثالية للمجاري تحت السطحية المرتبطة بالبالوعات، ويبلغ طول المجرى ٦٠م، وعرضه ١٨م في المتوسط، ولكنه يضيق كثيرًا في القسم الأوسط؛ حيث يصل عرضه إلى ٢,٤م، وهو يمثل الجزء الذي اتصلت فيه البالوعة بالأخرى التي تقع بعدها، ولكنها أقل انتظامًا في شكلها، أما عمق المجرى فهو يصل إلى ١٨م مما جعل هذا المستوى هو نهاية المستويات التي يمكن الوصول إليها ضمن مجرى الحلفاوي ٢، والذي ما زال يمتلك عددًا من المستويات التي لم يتمكن من الوصول إليها من اتجاه المصب، ويتخذ هذا المستوى اتجاهًا عامًا من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي، وقد نشأ في تكون طيبة، والطوفا التي تعلوه (شكل ٧، ولوحة ٤).

تتميز أرضية المجرى بأنها مغطاة بالرمال في أغلب أجزائها باستثناء مناطق الأطراف، حيث تظهر أرضية البالوعة الصخرية، ويعلوها طبقة رقيقة من الرمال، والكتل المنهارة أحيانًا، وتتصف أرضية المجرى في القسم الداخلي بالانحدار الطفيف نحو الخارج باستثناء الجزء الذي تحتله بالوعة الحلفاوي٤؛ حيث تمتلك البالوعة جوانب شديدة الانحدار، ولا يزيد الانحدار بعد ذلك إلا في القسم الخارجي من المجرى، وترتفع أرضية المجرى بعد ذلك في النطاق الذي تحتله كتل متساقطة كبيرة الحجم سواء من الحجر الجيرى أم الطوفا. وتتميز جوانب المجرى في القسم المتسع بأنها متعرجة في الأعلى، وتتسع في الأسفل؛ بينما تتميز في القسم الضيق بانحدارها الشديد في صورة رأسية، وأهم ما يميزها في هذا الجزء هو كتلة الطوفا التي تظهر معلقة أعلى الجانب الأيمن، ومن المرجح أنها متبقية من مستوى طوفا يعلو مستوى المجرى تحت السطحي الحالي، ولكنه تعرض للانهيار، ويؤكد ذلك الحجم الكبير لكتل الطوفا المنهارة أمام المجرى.

لوحة (٤) مجرى الحلفاوي٢ مستوى ز، (أ) أضيق أجزاء المجرى يلاحظ ترسب كتلة طوفا أعلى المجرى جهة اليمين، ويتضح من الصورة السمة الخانقية للمجرى، (ب) القسم الداخلي من المجرى؛ حيث الجدران الرأسية والمفتوحة من الأعلى على البالوعة التي تعلوها، (ج) تدرج جوانب بالوعة الحلفاوي ٤ مما يرجح نشأتها على مرحلتين، (د) تراكم كتل منهارة من الحجر الجيري والطوفا في الجزء الخارجي من المجرى.



شكل (٧) المسقط الرأسي والقطاع الطولي للقسم الداخلي من مجرى الحلفاوي ٢ مستوى ز

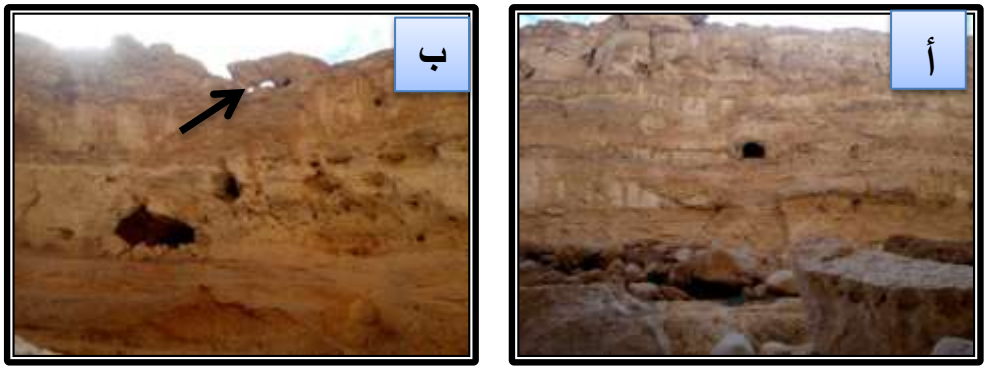
– **البالوعات المرتبطة بمجرى الحلفاوي ٢ مستوى ز:** يمثل هذا المجرى نموذجًا مثاليًا للبالوعات المركبة؛ نتيجة لالتحام بالوعات من أجيال مختلفة، حيث نشأت البالوعة الرئيسة أولًا، وهي بالوعة الحلفاوي٣، والتي يبلغ طولها ١٩م، وعرضها ١٨م، وعمقها ١٨م، تبعها بعد ذلك نشأة عدد من البالوعات في أرضيتها منها ما يختفي معظمه تحت

طبقة الرمال التي تغطي أرضية البالوعة، ولا يظهر منها سوى حافة البالوعات مما يعيق التعرف على أبعادها بدقة، ومن المحتمل أن البالوعات التي نشأت في قاع البالوعة الرئيسة ليست متعاصرة مع بعضها، ولكنها من جيلين مختلفين، وذلك نتيجة لاختلاف ملامحها، وتدرج بالوعة الحلفاوي ٤ إلى مستويين، وهي البالوعة الوحيدة التي تظهر بوضوح، ويبلغ طولها ٤,١م، وعرضها ٢,٥م، وعمقها ١,٨م، وهي تحتل القسم الداخلي من البالوعة الأكبر حجمًا، ويدل وجود حافة لبالوعة مستطيلة في القسم الضيق من المجرى إلى أن عملية اتصال البالوعة الرئيسة بتلك التي تليها حدث قبل نشأة الجيل الثاني من البالوعات.

٤-٣ الكهوف

تُعرف الكهف بأنه " فتحة طبيعية نشأت في الأرض، ومتسعة بشكل يكفي لدخول الإنسان " أما الفجوات أو الفتحات الأقل حجمًا؛ فيطلق عليها الكهوف الأولية، وقد اتسع المفهوم في الوقت الحاضر ليشمل الكهوف التي صنعها الإنسان، والتي تنقسم إلي كهوف المقابر الصخرية، وكهوف المحاجر القديمة" (أشرف أبو الفتوح، ٢٠٠٧). وتتدرج الكهوف جميعًا في الوادي تحت مسمى كهوف المياه الجوية التي يمكن تعريفها بأنها" الكهوف التي تكونت في صخور قابلة للإذابة بفعل المياه المتسربة إلى الصخر من السطح، حيث يمتص الماء_ خلال حركته إلى أسفل_ غاز ثاني أكسيد الكربون سواء المتواجد في الغلاف الجوي أم في التربة، وبالتالي تتحول المياه إلى حمض الكربونيك الذي تكون له قدرة كبيرة على إذابة كربونات الكالسيوم. وتنشأ هذه الكهوف تحت سطح الأرض مباشرة أو بالقرب من/ أو في مستوى الماء الجوفي، وتحتوي هذه الكهوف على رواسب ميكانيكية وكيميائية متميزة أهمها الصواعد والهوابط"(إيمان عفيفي محمد، ٢٠١٨).

جدير بالذكر أن كهوف المياه الجوية هي النوع السائد في المنطقة مع عدم توافر أي أدلة سواء داخل الكهوف أم خارجها على وجود أنواع أخرى، ونظرًا لقلة عدد الكهوف التي تم دراستها بالنسبة للكهوف الموجودة في الوادي من جهة (لوحة ٥)، وما اتسمت به من أبعاد محدودة ومورفولوجية بسطية من جهة أخرى، فإن إجراء تحليل مورفومترى ومورفولوجى بصورة تفصيلية لها غير معبر عن الصورة الواقعية، ولذلك سوف يتم الاكتفاء في هذا الجزء بدراسة لأحد الكهوف في وادي أبو شيح.



لوحة (٥) نماذج من الكهوف التي لم يتم دراستها لصعوبة الوصول إليها نظرًا لوقوعهما في منتصف الحافة، (أ) كهف أم شوش١٤ و(ب) كهف أم شوش١٩، السهم الأسود يشير إلى أحد الكباري الكارستية(أم شوش١).

٤-٣-١ كهف أم شوش ٢٢

يتكون الكهف من حجرتين تعلو إحداهما الأخرى، وتتصلان من الداخل من خلال قناة صغيرة تصل الحجرة السفلية التي يمكن الوصول إليها بالحجرة العلوية التي يصعب الوصول إليها، وبالنسبة للحجرة السفلية، فهي عبارة عن حجرة طولية ضيقة يبلغ عرض مدخلها٢,٤م، وارتفاعه ٧م؛ بينما يبلغ عرض الحجرة نفسها ٢,٣م، وارتفاعها ٦م،

وعمقها ١٠م، ويتخذ محور الكهف الاتجاة الشمالي–الجنوبي، وقد نشأ في تكوين طيبة (لوحة ٦).

يقع الكهف على ارتفاع ٣م من أرضية الوادي، ولكن يمكن الصعود إليه نتيجة لتدرج هذه المسافة نحو الكهف، وتتميز أرضية الكهف بالتضرس مع الانحدار الواضح نحو الخارج، وتظهر الأرض صخرية في المناطق شديدة الانحدار؛ بينما تغطيها المفتتات، والكتل المتساقطة في المناطق هينة الانحدار، وخاصة في القسم الداخلي الواقع أسفل القناة التي تصله بالحجرة العلوية، أما جدران الحجرة فتتسم بالتعرج متأثرة في ذلك بتكوين طيبة الذي نشأت فيه، والذي يتميز بوجود طبقات من راقات من الصوان الأكثر مقاومة من الحجر الجيري الموجودة فيه، وبالنسبة للسقف فهو الأكثر انتظامًا في أجزاء الكهف حيث يتماشى في أغلبه مع طباقية الحجر الجيري.

لوحة (٦) كهف أم شوش ٢٢، السهم الأسود يشير للحجرة العلوية صعبة الوصول، والسهم الأحمر يشير إلى الحجرة السفلية للكهف، والتي تتسم بالضيق، وانحدار الأرضية نحو الخارج مع تضرس جدران الكهف، وتنحدر الحافة التي تسبق الكهف تدريجيًا مما يسهل الوصول إليها.

٤-٤ الكباري الكارستية

تعددت المصطلحات المستخدمة للإشارة إلى هذه الظاهرة، بالإضافة إلى الكباري الكارستية Karst bridge هناك الأقواس الطبيعية Natural arch والكباري الطبيعية Natural bridge ويعد المصطلح الأول هو الأكثر ملائمة لهذه الظاهرة نظرًا لكونه يوضح ارتباطها بالكارست، وتعرف الكباري الكارستية بأنها " الجزء المتبقي من سقف مجرى تحت سطحي لم يَنْهَرْ بعد، ويوجد في صورة كوبري يعلو الوادي، ويمكن اعتباره مظهرًا من مظاهر الكارست السطحية، ولكن يمكن استخدامه لوصف المظاهر المماثلة المرتبطة بالأنظمة الكهفية" (EPA, 2002). ويضم وادي أبو شيح ثلاثة كبارى كارستية هي الحلفاوي١، وأم شوش١، وأم شوش٢، توجد جميعها في أعلى الحافة مما يجعل الوصول إليها لدراستها بالتفصيل أمرًا غير ممكنٍ(لوحة٧).

لوحة (٧) نماذج من الكبارى الكارستية بوادي أبو شيح، (أ) كوبري الحلفاوي١، (ب) كوبري أم شوش٢.

تنشأ الكبارى الكارستية نتيجة لانهيار مظاهر كارست أخرى، وعلى وجه التحديد الأنظمة الجوفية والبالوعات. ففي حالة الأنظمة الجوفية، والتي تضم كلًّا من الكهوف والمجاري تحت السطحية؛ فإن تطورها بصورة كبيرة يزيد الحمل الواقع على السقف مما يؤدي إلى انهيار جزء من السقف دون الآخر، ونشأة الكباري الكارستية، أما في حالة

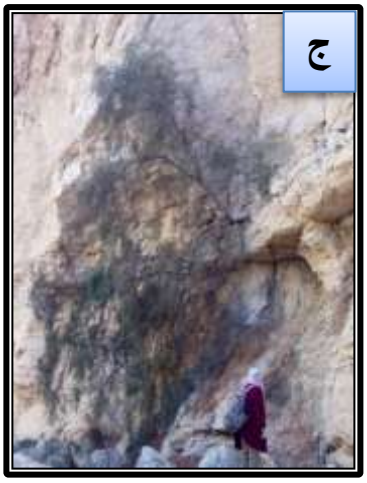
البالوعات فإنه في حالة نشأتها على حافة الوادي، ونتيجة لتحرك المياه باستمرار نحو المصب؛ فإن المياه تقوم بنحت الجزء السفلي من البالوعة تجاه الوادي مكونة فتحة تعمل على تصريف المياه من البالوعة إلى المناطق الواقعة أسفل منها مع بقاء الجزء العلوي من جانب البالوعة معلقًا فى صورة كوبري كارستي، وبالرغم من أن الكباري المرتبطة بالأنظمة الجوفية هي الأكبر حجمًا، والأكثر انتشارًا إلا أن تلك المرتبطة بالبالوعات هي الأكثر انتظامًا في شكلها نظرًا لنشأتها بفعل عملية الإذابة التي تحدث بصورة تدريجية، وتستغرق وقتًا طويلًا وهو ما يختلف عن عملية الانهيار التي تحدث بصورة مفاجئة، وتستغرق فترة زمنية قصيرة.

وبناءً على ذلك يمكن اعتبار الكباري الكارستية من مظاهر الكارست التي تنشأ في المراحل المتقدمة من دورة التعرية الكارستية في المنطقة، حيث تتطلب نشأتها وصول المظاهر المسببة لها إلى مرحلة الشيخوخة والانهيار، كما أنها من المظاهر المعرضة للتلاشي بسرعة مقارنة بغيرها خاصة المرتبطة منها بالأنظمة الجوفية.

٤-٥ آبار الكارست

تُعد الآبار الطبيعية واحدة من أهم مظاهر المياه المرتبطة بمناطق الكارست، ويقصد بها " الآبار التي تخرج منها المياه بصورة طبيعية دون تدخل الإنسان لرفع المياه من خزاناتها الجوفية إلى سطح الأرض حيث تنشأ نتيجة لتقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض" كما هو الحال في بير العين (أشرف أبو الفتوح، ٢٠١٧). ويضم وادي أبو شيح بئرين هما بئر الحلفاوي، وبئر أم دود، ويمثل بئر الحلفاوي نموذجًا مثاليًا للآبار، وقد سمي نسبة إلى الوادي الذي يقع فيه، ويوجد البئر في منتصف أرضية الوادي في أكثر أجزائها انخفاضًا، ويبلغ طوله ١,٥، وعرضه ١م، وعمقه ٠,٧م، وقد نشأ هذا البئر في ركام رواسب الوادي. وتتميز أرضية الوادي في هذه المنطقة بالانحدار نحو

منطقة البئر، وهي مغطاة بنبات الحلفا على نطاق واسع، خاصة جهة اليمين نتيجة لحدوث نز للمياه من جانب الوادي بصورة موسمية عقب فترات سقوط الأمطار، بينما تجف هذه المواضع مع طول الفترة التي ينعدم فيها سقوط الأمطار، وقد تم رصد نطاق نز المياه الذي يعلو أرضية الوادي بحوالي ١,٤م، أما بالنسبه للمنطقة الواقعة يسار البئر فتتميز بانتشار أشجار النخيل؛ حيث انخفاض المنسوب، واستواء السطح.



لوحة (٨) بئر الحلفاوي بالرافد الرئيس لوادي أبو شيح، (أ) الشكل العام للبئر الذي نشأ في ركام رواسب الوادي، (ب) المظهر العام للمناطق المحيطة بالبئر يلاحظ تباين الانحدار، وطبيعة الغطاء النباتي على جانبي البئر، السهم يشير إلى موقع البئر، (ج) نمو نباتات كبيرة الحجم في مواضع نز المياه في جانب الوادي الأيمن.

يتمثل المصدر الرئيس لمياه البئر في الماء الجوفي الذي يتغذى من مياه الأمطار، ولذلك فإن البئر يحتوي على المياه بصفة مستمرة حتى في حالة عدم سقوط الأمطار، وهو ما اتضح من خلال ثلاث زيارات ميدانية على مدار سنة كاملة، وجدير بالذكر أن عملية نز المياه في هذا الجزء من الوادي تمتد لمسافات طويلة بعد البئر، ويستدل عليها من خلال نمو عدد من الأشجار عند هذه المواضع؛ حيث تظهر معلقة على حافة الوادي عند الموضع الذي تحدث عنده عملية النز، وفي مناسيب أعلى من تلك التي توجد قريبة من بئر الحلفاوي (لوحة٨). وبالنسبة لبئر أم دود الواقع في أحد المجاري تحت السطحية بوادي أم دود، فلم يتم رصده، حيث إنه قد تعرض غالبًا لعملية ردم بفعل الرواسب التي تنقلها مياه المطر.

٥ رواسب الكارست

٥-١ الطوفا

يستخدم مصطلح طوفا لوصف" جميع رواسب كربونات الكالسيوم الناتجة بفعل المياه الباردة، والتي تكون عالية المسامية، أو إسفنجية، وغنية بالمواد العضوية، والأنسجة النباتية" ويعادل مصطلح طوفا مصطلح kalktuff في الكتابات الألمانية (Pedley, 1990, Gandin and Capezzuoli, 2008, EPA, 2002).

مثلت رواسب الطوفا أهم أشكال الترسيب الكيميائي في وادي أبو شيح، حيث انتشرت على امتداد أجزاء كبيرة منه، وخاصة في أودية الحلفاوي، وأم شوش، والعدابية، وتظهر رواسب الطوفا في وادي أبو شيح في شكلين؛ الأول يظهر في كلٍّ من وادي الحلفاوي، وأم شوش في صورة نطاقات متقطعة من كتل الطوفا المعلقة على جانبي الوادي، ومن المرجح أن هذه الكتل نشأت في صورة نطاقات متصلة عند مواضع نز المياه، ولكنها تقطعت فيما بعد بواسطة المياه الجارية، كما أن وجود هذه الكتل من الطوفا

معلقة على جوانب الأودية يعني أن هذه المناطق كانت هي منسوب قاع الوادي الذي تعرض لعمليات تعميق في فترات لاحقة بواسطة المجاري تحت السطحية التي تتعرض في نهاية الأمر للانهيار تاركةً الطوفا معلقة(لوحة٩). أما الشكل الثاني لرواسب الطوفا فيظهر بوادي العدابية في صورة شلال ضخم ومميز نشأ على أحد نقاط التجديد في قاع الوادي، ونظرًا لكونه الأكثر أهمية فسوف يتم دراسته بصورة تفصيلية.

لوحة (٩) نماذج لرواسب الطوفا بوادي أبو شيح، (أ) كتلة طوفا ضخمة بوادي أم شوش تعلو مجرى جوفيًا منهارًا، يُلاحظ اختلاط الجزء السفلي منها برواسب بطون الأودية، (ب) إحدى كتل الطوفا المنسابة على جانب الوادي، وهي تعلو مجرى جوفيًا منهارًا برافد وادي الحلفاوي، ومن المرجح أن تنهار هذه الكتلة في فترات لاحقة حيث تعمل مياه الأمطار على نحت موضع التحام الكتلة وتوسيعه بجانب الوادي.

جدير بالذكر أن رواسب الطوفا قد تعرضت بعد نشأتها إلى نشاط عملية الإذابة مما نتج عنه مجموعة من التكهفات التي شهدت في فترات لاحقة ترسب مجموعة مميزة من أشكال الترسيب الكيميائي، وهي الأشكال التي لم يتم رصدها في أي من الكهوف التي تم دراستها.

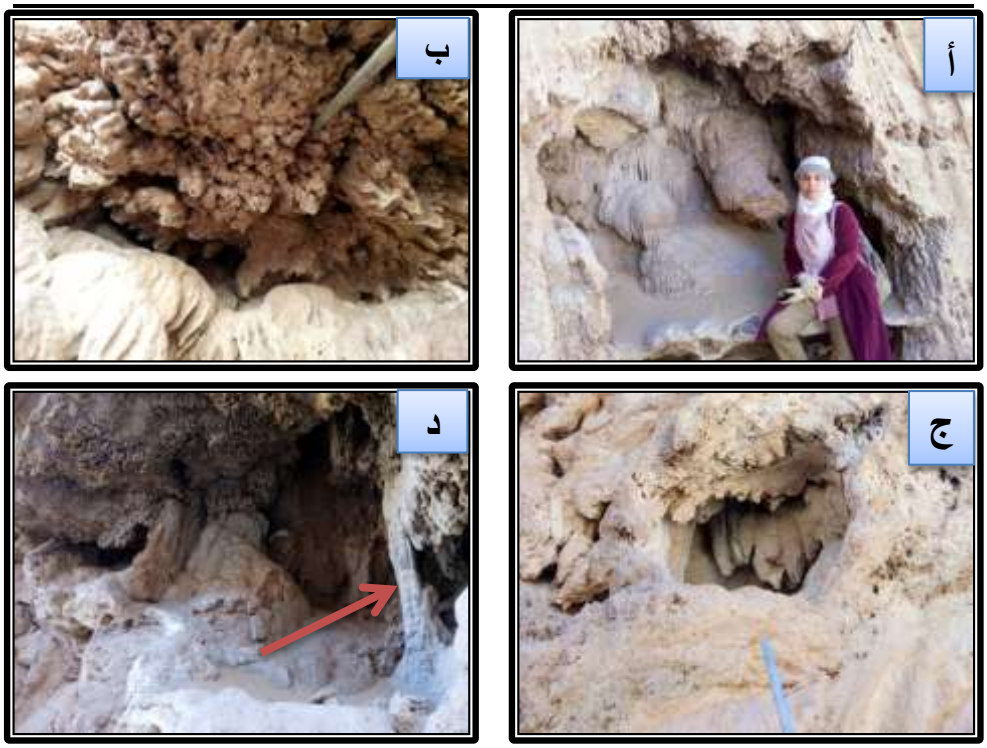
٥-١-١ شلال الطوفا بوادي العدابية

يُعد هذا الشلال من أهم نطاقات الطوفا ليس في وادي العدابية فقط، ولكن في الصحراء الشرقية بصفة عامة، ويرجع ذلك إلى امتداده الكبير، واحتفاظه بملامحة الأصلية، وعدم تعرضة للانهيار، نشأ هذا الشلال على أحد نقاط التجديد الموجودة بالقرب من مصب وادي العدابية ليظهر في صورة عائق يقطع الوادي بصورة عرضية، يبلغ ارتفاع هذا الشلال ١٦م، ويمتد عرضيًا من اليمين إلى اليسار في شكل قوس لمسافة ١٦٠م، ومن المرجح أن امتداده العرضي أكبر من ذلك، ولكن تختفي أجزاء منه تحت الرمال والمواد المتساقطة على جانبي الوادي. وترجع نشأة شلالات الطوفا إلى ما ذكرناه منذ قليل من أن مناطق الشلالات والعقبات تشهد تباطئًا لحركة المياه المتسارعة، وتحرر كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي ترسيب كربونات الكالسيوم.

ونظرًا للحجم الكبير لهذا الشلال، فإنه من المرجح أن نشأته تمت على عدة مراحل خاصة، وأن رواسب الطوفا به أظهرت تباينًا في خصائصها مما يوضح مراحل ترسيب مختلفة، وبعد نشأة الشلال تعرض مرة أخرى لعملية الإذابة، ونشأت به العديد من التكهفات التي يصل عرضها إلى ٣م، وعمقها للداخل ٢,٥، وارتفاعها ٢م، ولم تظهر هذه التكهفات إلا بعد تعرض كتلة الطوفا لعمليات النحت المستمرة بفعل المياه الجارية التي نحتت في مواضع الضعف في هذه الكتلة، وأظهرت ما بها من تكهفات(لوحة١٠).

لوحة (١٠) شلال الطوفا بوادي العدابية، (أ) الشكل المقوس للشلال، المصدر Google Earth، (ب) الامتداد العرضي للشلال في صورة عائق عند نهاية الوادي، (ج) أحد الأجزاء التي تعرضت لعملية النحت بفعل المياه الجارية، والتي أظهرت التكهفات الموجودة داخل الطوفا.

وتضم التكهفات الموجودة داخل شلال الطوفا مجموعة متنوعة من أشكال الترسيب الكيميائي؛ أهمها الهوابط Stalactites سواء الإصبعية (الأسطوانية) Soda straw stalactites (لوحة١١/أ)، أوالمدببة (الجزرية) Carrot-shaped stalactites(لوحة١١/ب)، بالإضافة إلى الأعمدة columns (لوحة١١/ج)، والمتدفقات الكلسية Flowstone(لوحة١١/د).



لوحة (١١) الأشكال المرتبطة بشلال الطوفا بوادي العدابية، (أ) أحد التكهفات التي تضم مجموعة مميزة من المتدفقات، (ب) التحام عدد كبير من الهوابط الإصبعية الرفيعة نتيجة لنموها قريبة جدًا من بعضها البعض مع ظهور القنوات عند أطرافها، يلاحظ وجود نطاق من المتدفقات في الأسفل منها، (ج) مجموعة من الهوابط المدببة المتجاورة التي نشأت في أحد التكهفات صعبة الوصول، (د) أحد الأعمدة التي توجد في يمين أحد التكهفات، بينما القسم الأيسر تحتله المتدفقات.

للتعرف على الخصائص الكيميائية لرواسب الطوفا بهذا الشلال، فقد تم إجراء تحليل XRF الخاص بتحديد عناصر التكوين، ونسبها لعدد ثلاث عينات طوفا ذات خصائص مختلفة، وجدير بالذكر أن هذا النوع من التحليل يمتلك مدى معينًا للعناصر التي تظهر في التحليل، أما العناصر الخارج نطاق التحليل فتتمثل في نسبة الفواقد LOI-HCNO (Loss of lgnition) وهي خاصة بالعناصر الخفيفة والمتمثلة في الهيدروجين،

والكربون، والنيتروجين، والأوكسجين، ويمكن التخلص من هذه العناصر عن طريق حرق العينة قبل تحليلها، ولكن من الأفضل الاحتفاظ بها نظرًا لكونها جزءًا من العينة.

جدول(٥) نتائج تحليل XRF الخاص بتحديد عناصر التكوين ونسبها لعدد تسع عينات طوفا

العناصر الكيميائية		عينة ١	عينة ٢	عينة ٣
ماغنيسيوم	MgO	٠,٧٨٩	٠,٧٥٦	٠,٢٥٢
الومنيوم	AL2O3	٣,٠٦٣	١,٤٦١	٠,٥١
سليكون	SiO2	٧,٤٥١	٤,٤٢٥	١,٢٧٤
فسفور	P2O5	٠,١٠٩	٠,٠٩٦	٠,٠٧٤
كبريت	SO3	٠,١٢٢	٠,٢٢٩	٠,٣٢٢
كلور	CI	٠,٠١	٠,٠١١	٠,٠١
بوتاسيوم	K2O	٠,٢٦٩	٠,١٦٢	٠,٠٦٧
كالسيوم	CaO	٤١,٠٣	٤٧,٤٣	٤٥,٦١
تيتانيوم	TiO2	٠,١٨٦	٠,١٥٥	–
منجنيز	MnO	٠,٠٢٥	٠,٠٢٥	–
حديد	Fe2O3	١,٢٣٦	٠,٦٩٥	٠,٢٤٦
سترونتيوم	SrO	٠,١٢٢	٠,١١٨	٠,١
زيركونيوم	ZrO2	–	٠,٠١٣	–
نسبة الفواقد	LOI-HCNO	٤٥,٥٨	٤٤,٤٢	٥١,٥٤
عدد عناصر العينة		١٢	١٣	١٠

المصدر: من إعداد الطالبة بالاعتماد على نتائج تحليل XRF التي أجريت بمعامل قسم التعدين، كلية الهندسة، جامعة أسيوط.

اتضح من نتائج التحليل أن الاختلافات بين العينات الثلاث ليست جوهرية، وأن العنصر الرئيس بعد الفواقد هو كربونات الكالسيوم، وهذا أمر طبيعي نظرًا لكون المياه التي أرسبتها محملة به. أما باقي العناصر فقد تواجدت بنسب قليلة مقارنة بكربونات الكالسيوم، ومن أهم هذه العناصر السليكون، والألومنيوم، والحديد، والماغنيسيوم (جدول٥).

المناقشة والاستنتاجات

تميز وادي أبو شيح بوجود عدد كبير من مظاهر الكارست، والتي من أهمها البالوعات والمجاري تحت السطحية، والكهوف، والكباري الكارستية؛ بالإضافة إلى رواسب الطوفا، والكتل المنهارة، وقد توزعت هذه الأشكال بدرجات متفاوتة بين روافد الوادي، حيث استحوذ وادي الحلفاوي، وروافده، وخاصة أبو حليفة على النسبة الأكبر من المجاري تحت السطحية، والبالوعات، وبئر الحلفاوي؛ بالإضافة إلى رواسب الطوفا، والكتل المنهارة، بينما اتسم وادي أم شوش بأن الكهوف هي الشكل الرئيس المنتشر مع رواسب الطوفا، في حين ضم وادي أم دود عددًا من المجاري تحت السطحية، والبالوعات المرتبطة بها، وعددًا ليس بالقليل من الكهوف، أما أشكال الكارست في وادي العدابية فقد اقتصرت على شلال الطوفا، وعدد من الكهوف.

لم تنشأ هذه الأشكال في الوقت نفسه، ولكنها نشأت خلال دورات تعرية كارستية مختلفة، وقد مثلت الكهوف أقدم أشكال الكارست في الوادي، ويرجع ذلك إلى أنها نشأت قبل نشأة الوادي، ولكنها ظهرت على السطح بعد نشأة الوادي الذي قطع الحافة، وأظهر ما بها من كهوف، أما مظاهر الكارست الأخرى فقد نشأت جميعها مع/ بعد نشأة الوادي، ومن أبرزها المجاري تحت السطحية التي نشأت تدريجيًا مع الوادي، وكانت عاملًا مهمًا في تعميق الوادي، فكلما انخفض مستوى القاعدة نشأ مجرى تحت سطحي أحدث في

منسوب أقل، حيث تهاجر المجاري تحت السطحية تدريجيًا نحو المصب، وقد مثلت المجاري تحت السطحية أكثر أشكال الكارست تأثيرًا في تطور الوادي؛ نظرًا لامتدادها الطولي الكبير، وغالبًا ما تنتهي هذه المجاري إلى الانهيار تاركة قطاعات كبيرة من الوادي تحتلها الكتل المنهارة. وكما اتضح فقد ارتبطت البالوعات بالمجاري تحت السطحية خاصة الأسطح التي تعلو المجاري، أو مثلت هذه البالوعات جزءًا من بعض المجاري التي تنشأ من التحام سلسلة من البالوعات، وتتمثل أهمية هذه البالوعات في أنها أهم مدخلات نظام الكارست حيث تسمح بانتقال المياه من التصريف السطحي إلى تحت السطحي بسهولة.

كما أيدت الصورة التي انتشرت بها رواسب الطوفا تعرض الوادي لعمليات تعميق بصورة مستمرة خاصة أنها وجدت في صورة معلقة على جوانب الوادي في المناطق التي تعلو المجاري تحت السطحية المنهارة مما يدل على أن هذا النطاق كان هو منسوب قاع الوادي الذي تعرض في فترات لاحقة لعمليات تعميق. كما أن ما تضمنته هذه الرواسب من تكهفات، وما بها من أشكال ترسيب كيميائي مميزة تدل على تعرض هذه الرواسب إلى عملية إذابة وترسيب لاحقة.

أعطى وجود بئر الحلفاوي صورة واضحة عن طبيعة المياه الجوفية في الوادي؛ حيث إن وجود المياه بصورة مستمرة داخل هذا البئر يدل على أن مصدر المياه الرئيس لهذا البئر هو الخزان الجوفي الذي يغذيه ماء المطر، ويمثل بئر الحلفاوي أقل أشكال الكارست منسوبًا؛ حيث لا توجد أشكال أخرى في المناطق الأقل في المنسوب، وهو ما يدعم أن نشأة أشكال الكارست المختلفة ارتبطت بالانخفاض المستمر لمنسوب الماء الجوفي في الوادي، والذي يمثل مستوى القاعدة بالنسبة لعملية الإذابة، وأن حدوث انخفاض في

منسوب هذا الخزان مستقبلًا سيكون هو المحرك لنشاط عملية الإذابة، ونشأة أشكال كارست جديدة، ولكن بالطبع ليست بحجم الأشكال التي سبق ونشأت بالفعل.

هذا الانتشار الكبير لأشكال الكارست لا يعود بطبيعة الحال إلى الظروف المناخية الحالية، حيث إن نشأة هذه الأشكال وتطورها يتطلب ظروفًا مناخية رطبة ولفترات طويلة، وهو ما لا ينطبق على الظروف المناخية الحالية، حيث يتتسم مناخ المنطقة الحالي بالجفاف الشديد أغلب شهور السنة، ولا يحدث تساقط للأمطار إلا خلال عدة أيام فقط طوال العام، وهو ما يدل على أن عملية الإذابة ما زالت نشطة في الوقت الحالي، ولكن بمعدلات بسيطة جدًا مقارنة بما كانت عليه في الماضي.

المراجع

أولًا- المراجع العربية

- أشرف أبو الفتوح مصطفي (٢٠٠٧): **جيومورفولوجية أشكال الكارست في منخفض الفرافرة**، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- أشرف أبو الفتوح مصطفى(٢٠١٧): **الكارست ودوره في تشكيل وادي بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج، مصر**، المجلة الجغرافية العربية، العدد السبعون، الجزء الأول، ص ص ١- ٤١.

- أشرف أبو الفتوح مصطفى(تحت النشر): **المجاري تحت السطحية المنهارة في الأودية الصحراوية: مظهر كارستي مميز في هضاب الحجر الجيري بمصر**.

- إيمان عفيفي محمد(٢٠١٨): **جيومورفولوجية الكهوف وأشكال الكارست في محافظة أسيوط**، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة أسيوط.

ثانياً– المراجع الأجنبية

-Abu Bakr M (2005) **Hydrogeological studies on groundwater bearing formations at Assiut basin, Nile Valley, Egypt,** M.Sc. thesis, Department of geology, faculty of science, Al-Azhar University, Cairo.

- Ahmed A (1997) **Geoohysical and Hydeogeological studies in the area Southeast of Sohag, Egypt**, M.Sc. thesis, Department of geology, faculty of science (Sohag), South Valley University.

- Bögli A (1980) **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Springer-Verlag. Berlin, West Germany.

– Culver D, White W (Eds) (2005) Glossary, in **Encyclopedia of caves**. Elsevier Inc, New York.

– EPA (2002) **A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology**, environmental protection agency, office of research and development, digital version, www.Epa. Gov/ncea.

- Gandin A, Capezzuoli E (2008) **Travertine versus Calcareous tufa**: Distinctive petrologic features and stable isotopes signatures, Italian Journal of Quaternary Sciences, 21(1B), pp 125-136.

– Mansour H (1969) **The geology of the Environs of Assiut :Drunka and Wadi eimo areas**, M.Sc. thesis, Department of geology, faculty of science, assiut university.

- Pedley H (1990) **Classification and environmental models of cool freshwater tufas**, sedimentary Geology, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 68, pp143-154.

- Sauro U (2005) Closed Depressions. In **Encyclopedia of Caves**, Culver, D. and W. White (Eds) Elsevier Inc, New York, pp.108-122.

– Shama K (1972) **Geology of the area between Manfaliut and Dairut, Eastern Dasert**, M.Sc. thesis, Department of geology, faculty of science, assiut university.

- Soliman W (2016) **Mineralogical properties and industrial applications of the clay deposits, East of Sohag, Egypt**, M.Sc. thesis, Department of geology, faculty of science, Sohag University.

– Sweeting M (1972) **Karst Landformes**. Macmillan, London.

- Williams P (2004) Dolines. In **Encylopedia of Cave and Karst**, Editor: J. Gunn. Taylor & Francis Books, New York, pp. 628-641.