الكارست ودوره فى تشكيل وادى بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج، مصر

د. أشرف أبوالفتوح مصطفى*

الملخص :

تباين تفسير نشأة أشكال السطح فى الصحارى الحارة، ومنها الصحارى المصرية، تباينا واضحا مع تطور الفكر الجيومورفولوجى، فقد كان سائدا أن التعرية الرياحية والتجوية بفعل الإشعاع الشمسي هى العمليات الرئيسية المشكلة لهذه الصحارى، وقد تبين بعد ذلك أن الصحارى المصرية لم تكن بسماتها المناخية الحالية قبل منتصف عصر الهولوسين حيث شهدت العديد من الفترات المطيرة، ومن هنا بدأ الإهتمام بدور التعرية المائية وتأثيرها فى تشكيل سطح الصحارى بوجه عام والصحارى المصرية بصفة خاصة، وقد لاقت دراسة الأودية الجافة اهتماما كبيرا خلال العقود الثلاثة الأخيرة، وترى أغلب الدراسات التى تمت فى هذا الصدد أن هذه الأودية قد نشأت بفعل الجريان المائي السطحى، إلا أن الدراسة الحالية تقترح أن التعرية الكارستية، من خلال عملية الإذابة والعمليات المرتبطة بها قد أدت دورا مهما فى نشأة مثل هذه الأودية فى مناطق الحجر الجيري كما هو الحال فى وادى بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج.

تعرض الدراسة الحالية العديد من مظاهر الكارست كالمجارى الجوفية وبالوعات الإذابة وبرك الكارست والخوانق والينابيع النشطة والجافة ورواسب الطوفا ومتبقيات الكارست. وترى الدراسة أن نشأة وادى بير العين وتشكيله بفعل عملية الكارست قد تم من خلال عمليتين: الأولى من خلال نشأة المجارى الجوفية وما يرتبط بها من بالوعات فى قيعان الروافد والمجرى الرئيسي ثم انهيار أسقفها، حيث يؤدى ذلك إلى تعميق القاع بشكل متتالى فى مراحل مختلفة، وقد أمكن رصد ثلاث مراحل على الأقل. أما العملية الثانية فمن خلال نشأة بالوعات الإذابة ومنخفضات الكارست ثم انفتاح هذه المظاهر على بعضها لتكون مجرى وادى بير العين وبعض روافده.

وكشفت الدراسة عن أن عملية الكارست لاتزال تؤثر فى وادى بير العين من خلال كميات المياه الضخمة التى لا يستهان بها بعد حدوث السيول، حيث تحتفظ بها المجارى الجوفية والبالوعات فى شكل برك كارست لمدة قد تتعدى العام، فضلا عن ما يترتب عليها من نمو نباتى ونشاط للطحالب، وكل ذلك يزيد من نشاط معدل الإذابة بالرغم من سيادة ظروف الجفاف.

الكلمات الإفتتاحية : الأودية الجافة، الكارست، المجارى الجوفية، بالوعات الإذابة

---

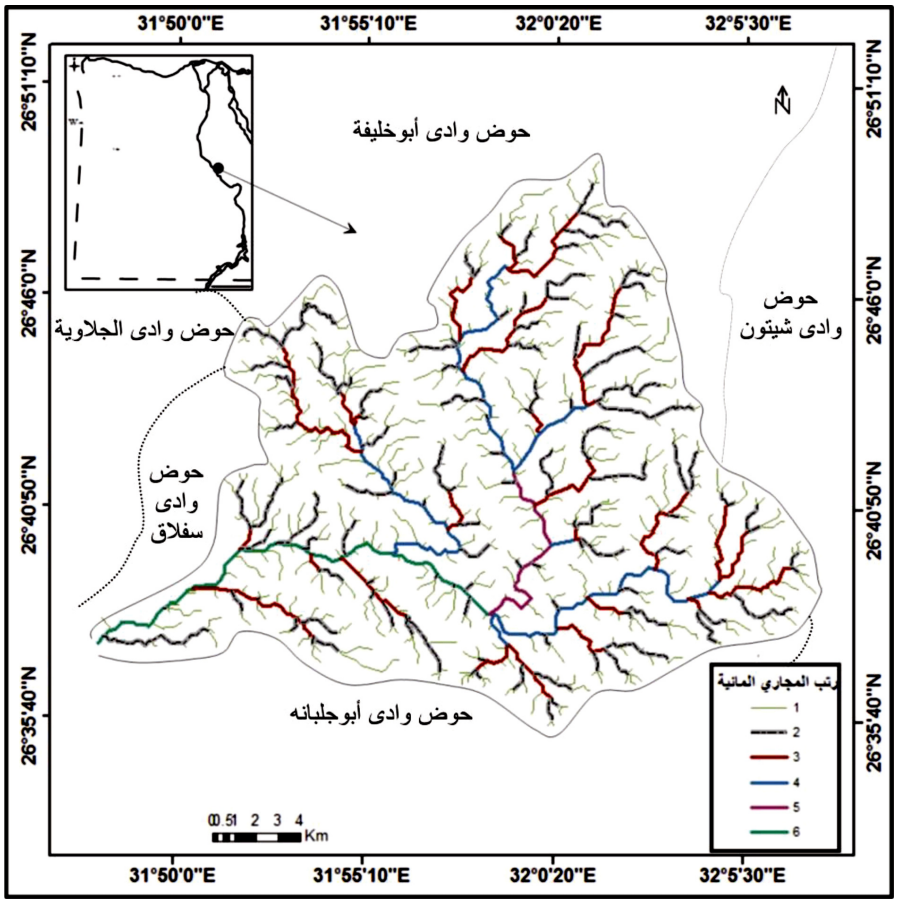
* أستاذ مساعد، قسم الجغرافيا والخرائط، كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة السويس.

المقدمة :

تباين تفسير نشأة أشكال السطح فى الصحاري الحارة، كالصحارى المصرية، تباينا واضحا مع تطور الفكر الجيومورفولوجي، فحتى أربعينيات القرن السابق كان الإعتقاد السائد أن عمليات التعرية الرياحية والتجوية الميكانيكية بفعل الإشعاع الشمسي هى العمليات الرئيسية المشكلة لسطح الأرض فى مثل هذه الصحاري (Waugh, 2002)، وظل هذا الفكر سائدا فى مصر لفترة طويلة حتى تبين أن مناخ هذه الصحاري الحارة لم يكن بسماته المناخية الحالية قبل ٧٠٠٠ سنة من الآن، أى قبل منتصف عصر الهولوسين تقريبا، وقد شهدت الصحاري المصرية العديد من الفترات المطيرة كان أحدثها تأثيرا تلك التى تخللت عصر البليستوسين وبداية الهولوسين وأواسطه (جودة حسنين جودة، ١٩٨١: Said,1983a، جودة حسنين جودة، ٢٠٠٧). منذ ذلك الحين أصبح من السهل قبول فكرة أن الرياح لم تكن العامل الوحيد المؤثر فى شكل سطح الصحاري، وأن التعرية المائية قد أثرت بوضوح فى جيومورفولوجيتها، وقد تم الاستدلال على ذلك من شبكات التصريف المائي الضخمة المنتشرة فى الصحاري.

لاقت دراسة الأودية الجافة اهتماما كبيرا بين الجيومورفولوجيين على مستوى مصر حتى أصبحت من أكثر المظاهر الجيومورفولوجية التى جذبت اهتمام الباحثين لاسيما خلال العقود الثلاثة الأخير، وتكاد تتفق الدراسات التى تناولت الأودية الجافة فى مصر على أنها نتاج التعرية المائية خلال الفترات المطيرة، وأن الجريان السطحي للمياه هو العامل الرئيسي المكون لشبكات تصريف هذه الأودية Salem, 1976; Issawi, 1983; Said, 1983b; Issawi, & McCauley, 1993; El-Baz et al., 1998).

ترصد الدراسة الحالية دور نوع آخر من التعرية، هو التعرية الكارستية، وتأثيرها فى تشكيل الأودية الصحراوية ونشأتها فى مناطق الحجر الجيري فى مصر، وقد استدل على ذلك من خلال العديد من الأدلة الجيومورفولوجية المميزة لأراضي الكارست مثل: المجاري الجوفية والكهوف وبالوعات الإذابة وآبار الكارست ومظاهر الكارست صغيرة الحجم والينابيع الكارستية وبرك الكارست والخوانق، هذا فضلا عن الرواسب وثيقة الإرتباط بعملية الكارست مثل الطوفا. من ناحية أخرى فإن الدراسة الحالية تلقى الضوء على دور الظروف المناخية الحالية فى نشاط عملية الكارست لاسيما بعد فترات السيول، وأنه بالرغم من سيادة الجفاف فى الوقت الحالي، إلا أن عملية الكارست لا تزال تعمل وتؤثر فى تشكيل السطح، وإن كانت بدرجة ومستوى مختلفين عن دورها أثناء الفترات المطيرة، فى هذا الصدد تم دراسة وادى بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج (شكل ١) كدراسة حالة فى التعرف على دور الكارست فى تشكيل الأودية الصحراوية وتطورها بمناطق الحجر الجيري.



شكل (١) : خريطة موقع وادى بير العين وحوض تصريفه.

تهدف الدراسة الحالية إلى حصر مظاهر الكارست ودراستها فى وادى بير العين، ومناقشة إلى أى مدى أسهمت عملية الكارست وبعض العمليات المرتبطة بها فى نشأة الوادى، وإلى أى مدى يمكن التمييز بين دور التعرية الكارستية والتعرية المائية فى نشأة مثل هذه الأودية.

من أجل ذلك اعتمدت الدراسة على الصور الفضائية المتاحة على موقع Google Earth فى سنوات مختلفة، ومرئيات القمر الصناعى الأمريكى Landsate TM 1987، وتم الاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM-3 بدقة ٩٠م واستخدم برنامج Global Mapper 11 يضاف إلى ذلك الاعتماد على خرائط المسح الفنلندى ١ : ٥٠٠٠٠ لسنة ١٩٨٩ لوحة بير العين ووادى قصب، والخريطة الجيولوجية مقياس ١ : ٥٠٠٠٠٠ لسنة ١٩٨٧ لوحة أسيوط.

من خلال تحليل الوسائل السابقة أمكن تحديد بعض مظاهر الكارست وبعض الأماكن المحتمل تأثرها بالكارست، ونظرا لصغر أحجام أشكال الكارست كان للدراسة الميدانية النصيب الأكبر فى التعرف على تفاصيل مثل هذه المظاهر، فقد تم إجراء ثلاث زيارات ميدانية أيام ٧ يناير ٢٠١٤، و٢-٥ أبريل ٢٠١٤، و ١٢ أبريل ٢٠١٥. تم خلال هذه الزيارات تحديد مواقع مظاهر الكارست وقياس أبعادها، وعمل قطاعات تضاريسية تفصيلية، ووصف لقطاعات جيولوجية، وجمع عينات للرواسب، وأخيرا قياس معدل تصريف الينابيع الكارستية.

بناء على ما سبق فإن البحث الحالى يناقش ما يلى:

أولا: الخصائص الجيولوجية لمنطقة وادى بير العين.

ثانيا: الخصائص الجيومورفولوجية لحوض وادى بير العين.

ثالثا: أشكال الكارست فى وادى بير العين:

أ- المجاري الجوفى المنهارة وأشكال الكارست المرتبطة بها.

ب- ينابيع الكارست والبرك.

رابعا: رواسب الكارست:

أ- الطوفا.

ب- متبقيات الكارست (الكتل المنهارة وحصى الصوان وعقد البطيخ).

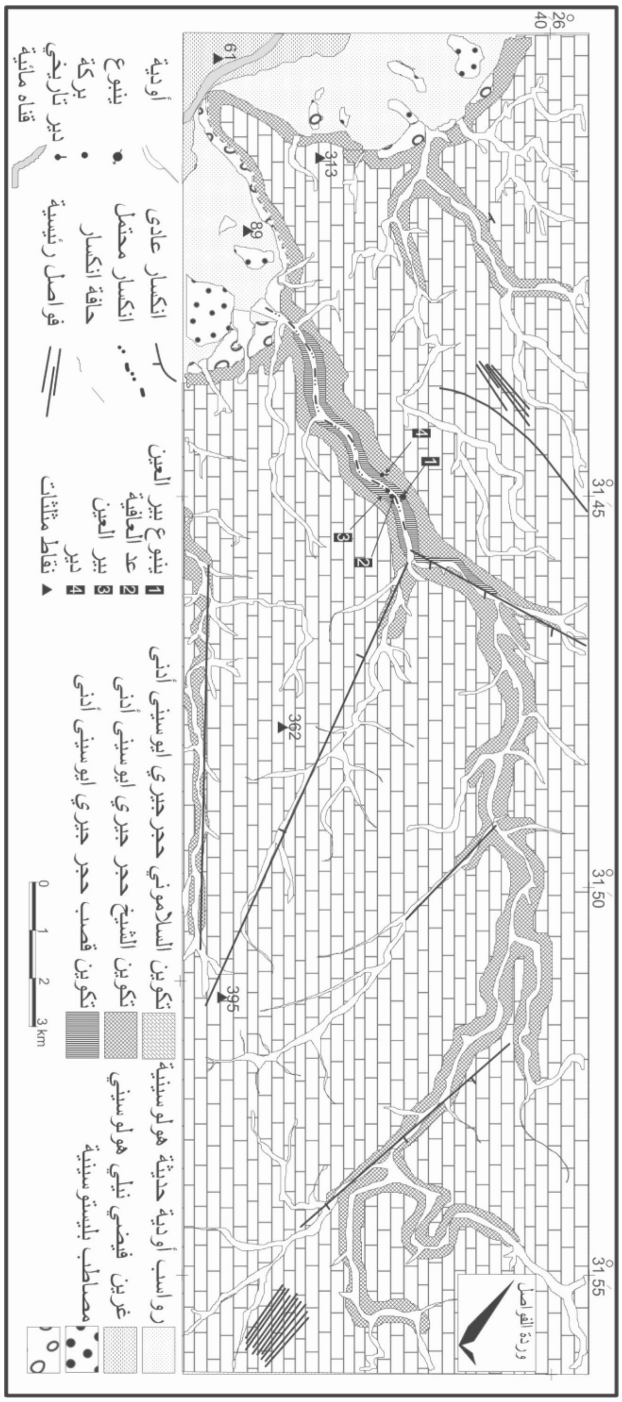
خامسا: المناقشة والاستنتاجات.

أولا - الخصائص الجيولوجية لمنطقة وادى بير العين :

يتكون حوض وادى بير العين من تكوينات الحجر الجيري التى يرجع عمرها إلى عصر الإيوسين الأدنى، ونظرا لوجود اختلاف ليثولوجي فى قطاع الإيوسين الأدنى بالمنطقة فقد تم تقسيمه إلى ثلاث وحدات صخرية متتابعة من أسفل إلى أعلى كما يلي: (Abdelkireem, 1972; Omara, et al., 1973; El-Gamily, 1975) (شكل٢).

١) تكوين قصب :

يرجع هذا التكوين إلى عصر الإيوسين المبكر السفلي، ويوجد القطاع النموذجى لهذا التكوين على الحافة الشمالية لوادى قصب جنوب سوهاج بحوالى ٥٥ كم، يبلغ أقصى سمك لهذا التكوين ٥٦ مترا، ويبلغ سمكه فى وادى بير العين ٤٠ مترا، يتكون من حجر جيري رمادى فاتح يتسم بوجود



شكل (٢) : الخريطة الجيولوجية لوادى بير العين.

المصدر: (Omara, et al.; 1973) مع بعض التعديل.

أشرطة من الصوان لونها رمادى داكن إلى بنى، يبلغ سمك هذه الأشرطة ٢ سم والفاصل بين كل شريط ١٥ سم، وقد يوجد أحيانا بعض عقد الصوان التى يتراوح قطرها بين ١ سم إلى ١ مترا، ويفتقد هذا التكوين بشكل عام لوجود الحفريات. الجدير بالذكر أن أغلب المجارى الجوفية على قاع الوادى وما بها من بالوعات إذابة قد نشأت فى تكوين قصب، كما إن ينبوع بير العين قد نشأ فى هذا التكوين.

٢) تكوين الشيخ :

ينتمي هذا التكوين إلى الإيوسين المبكر الأوسط، ويوجد القطاع النموذجى عند قرية أولاد الشيخ على بعد ٣٣ كم جنوب شرق سوهاج، وأقصى سمك لهذا التكوين حوالى ١٧٣,٥ مترا، ويبلغ سمكه فى وادى بير العين ٤٣ مترا، قوام تكوين الشيخ حجر جيري طباشيري أصفر فاتح إلى بني فاتح غني بالحفريات، تتخلله أحيانا عقد صوان وأحيانا أشرطة (طبيقات) رفيعة من الصوان، القطاع السفلي من تكوين الشيخ يتحول عند اتصاله مع تكوين قصب إلى حجر جيري سيليكى صلب غنى بالنيموليت. وينتشر فى هذا التكوين بعض الكهوف والينابيع الجافة الموجودة داخل وادى بير العين، كما تغطى رواسب الطوفا بعض من هذا التكوين.

٣) تكوين السلامونى :

يرجع عمر هذا التكوين إلى الإيوسين المبكر العلوي، ويوجد القطاع النموذجى له عند قرية السلامونى جنوب شرق سوهاج بحوالي ١٥ كم، ويبلغ أكبر سمك له حوالى ٩٦ مترا، وسمكه فى وادى بير العين حوالى ٧٠ مترا. يرتكز تكوين السلامونى على تكوين الشيخ، ويتسم تكوين السلامونى بغناه بالنيموليت وقوامه حجر جيري طباشيري أصفر فاتح وذو نسيج سكرى يميل إلى الإحمرار عند القمة. والجدير بالذكر أن سطح الهضبة المحيطة يتكون من تكوين السلامونى الذى ينتشر عليه بعض مظاهر الكارست أهمها بالوعات ومنخفضات الإذابة.

أما **البنية الجيولوجية** لصخور عصر الإيوسين الأدنى فى منطقة وادى بير العين فقد تم دراستها من قبل Abdel-Kereem, 1972; Omara, et al., 1973 وقد تبين أن المنطقة تتسم بالسمات البنيوية التى يتسم بها الرصيف الثابت فى مصر طبقا لدراسة Said, 1962 حيث تسود الصدوع متباينة الأطوال والتى قد تمتد لعدة كيلومترات، والاتجاهات السائدة لهذه الصدوع هى: الشمالية الغربية–الجنوبية الشرقية، والشمالية الشرقية–الجنوبية الغربية، والشرقية–الغربية، والشمالية– الجنوبية. ويعد الإتجاه الشمالي الغربي هو السائد بين هذه الإتجاهات. يتفق أغلب القطاع الطولي لوادى بير

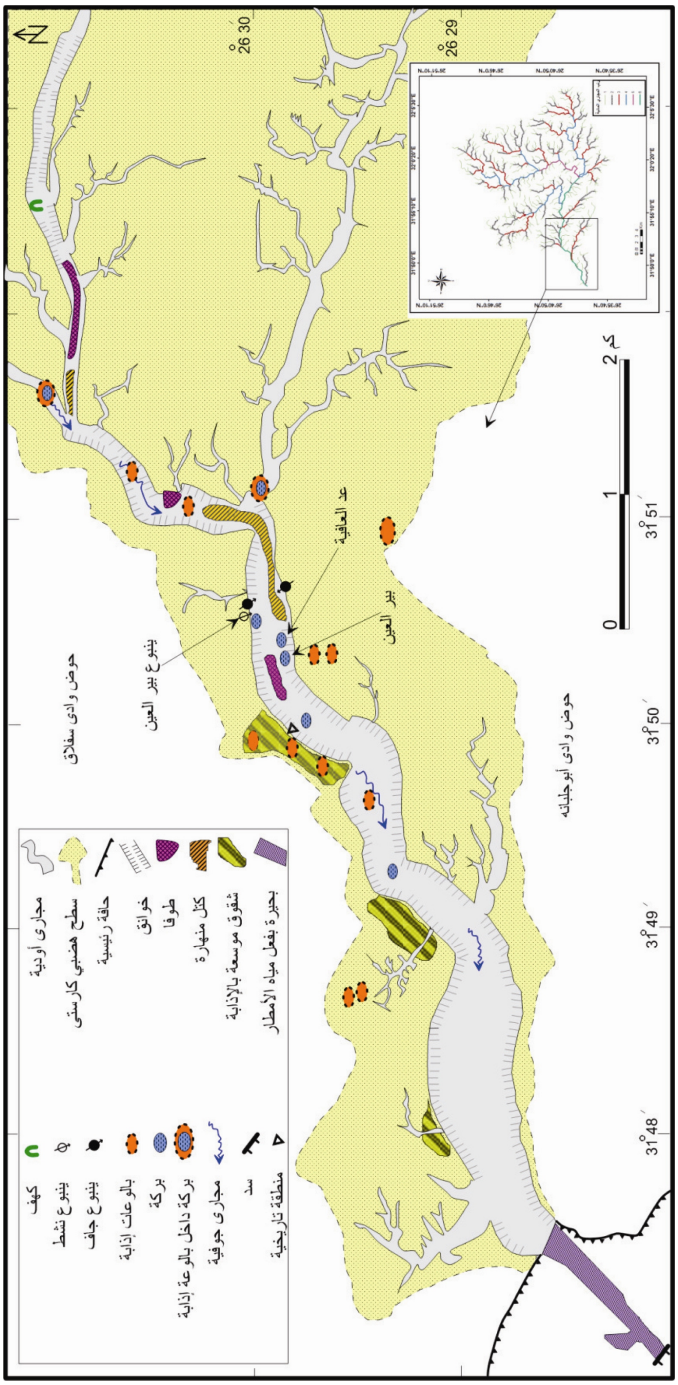
العين وروافده مع خطوط صدوع رئيسية، وبوجه عام يمكن اعتبار وادى بير العين بأنه خانقى له قطاع طولي زجزاجى بفعل الصدوع، وقد اعتبر Abdel-Kereem, 1972 أن الصدوع هى العامل الرئيسي المؤثر فى نشأة وادى بير العين. وتتخذ الفواصل الموجودة بالمنطقة نفس اتجاه الصدوع السائدة، وتتسم الفواصل بأنها توسعت بفعل نشاط الإذابة إلى شقوق (شقوق إذابة) Grikes عبر قاع وادى بير العين وجوانبه، وكذلك على سطح الهضبة المحيطة.

ثانيا – الخصائص الجيومورفولوجية لحوض وادى بير العين :

يقع مصب وادى بير العين شمال شرق مدينة سوهاج بحوالى ١٢ كم، وتحديدا شرق قرية السلامونى. تبلغ مساحة حوض الوادى حوالى ٤٦٠ كم^{٢}، ومحيط الحوض ١٣٥ كم، وطوله ٣٤ كم، وأقصى عرض ٣١ كم (شكل ١). تشترك حدود حوض وادى بير العين مع العديد من أحواض الأودية الأخرى بالمنطقة، ففى الشمال والشمال الغربي حوض وادى أبوخليفة أحد أكبر روافد وادى أبوشيح، وفى الشمال الشرقي والشرق حوض وادى شيتون أحد أكبر روافد وادى قصب، وفى الشمال الغربي والغرب حوض وادى سفلاق والجلاوية، فضلا عن بعض الأودية الصغيرة الأخرى غير المسماه. ويعد حوض وادى بير العين ثالث أكبر الأودية بعد وادي قصب جنوبا ووادى أبوشيح شمالا.

تنقسم منطقة الدراسة جيومورفولوجيا إلى ثلاثة أقسام رئيسية: (شكل ٣) سطح الهضبة، وجوانب الوادى، وقاع الوادى. يتراوح منسوب سطح الهضبة ما بين ٣٠٠م إلى ٥٠٥م، وأكثر أجزء سطح الهضبة ارتفاعا فى منطقة الدراسة توجد أقصى الشمال الشرقى والشمال، لهذا فإن الانحدار العام لسطح الهضبة نحو الجنوب الغربي والغرب، وهو تقريبا الاتجاه العام للقطاع الطولى لوادى بير العين. يتخلل سطح الهضبة خطوط صدوع وفواصل تحكمت فى نشأة العديد من أشكال الكارست على سطحها مثل شقوق الإذابة Grikes ومنخفضات الكارست، وبالوعات الإذابة، وعادة ما تمثل الظواهر السابقة مواضع لتصريف مياه السيول إلى تحت السطح.

أما جوانب الوادى فتتسم بارتفاعها المميز لاسيما بإمتداد المجرى الرئيسي، حيث يتراوح ارتفاعها ما بين ١٥٠–٢٢٠ مترا، وتتسم الجوانب بشدة انحدارها ويظهر القطاع العرضي للوادى خانقي الشكل فى كل قطاعاته لاسيما مع صغر عرض الوادى الذى يتراوح ما بين ٦٠ و٢٦٠ مترا. تتسم جوانب الوادى بوجود العديد من الروافد التى تبدو كأودية معلقة، حيث لم تستطع مصباتها أن تصل إلى قاع الوادى الرئيسي. كما رصد على جوانب الوادى فى بعض القطاعات بقايا بالوعات إذابة، وكهوف، فضلا عن رواسب عديدة من الطوفا.



شكل (٣) : خريطة أشكال الكارست فى الجزء الأدنى من وادى بير العين.

يتسم قاع وادى بير العين بقلة عرضه الذى قد لا يتعدى ١٧٠م، ويتراوح منسوب قاع الوادى الرئيسي ما بين ٧٢ و ٣٠٠ مترا. جدير بالذكر أن أغلب ظواهر الكارست التى تم رصدها قد تركزت بشكل واضح على قاع الوادى مثل بالوعات الإذابة وآبار الكارست والمجارى الجوفية المنهارة وشقوق الإذابة ورواسب الكارست وبرك الكارست. كما يتسم قاع الوادى بوجود العديد من نقاط التجديد التى ارتبط بها عديد من ظواهر الكارست.

ثالثا – أشكال الكارست فى وادى بير العين :

يتسم وادى بير العين بتنوع ظواهر الكارست فيه بشكل واضح، حيث تباينت الظواهر ما بين أشكال إذابة صغيرة الحجم (كارن) مثل أوعية الإذابة وشقوق الإذابة وآبار الكارست، إلى ظواهر كبيرة مثل بالوعات الإذابة والمجارى الجوفية، وينابيع وبرك الكارست والكهوف، وتأتى أهمية هذه الظواهر ليس فقط من تنوعها وانتشارها داخل وادى بير العين فقط، بل ومن اقترابها من النموذجية التى توجد بها هذه الأشكال فى مناطق الكارست النشطة حاليا كما فى مناطق الكارست الكلاسيكية فى سلوفينيا وأوربا عموما. وقد ارتبط بهذه الأشكال العديد من رواسب الكارست مثل الطوفا، والكتل المنهارة بفعل الإذابة ومواد أخرى متبقية عن عملية الإذابة مثل الصوان وعقد البطيخ. وكما سوف يتضح فإن الهدف من الدراسة ليس فقط حصر ودراسة هذه الأشكال بل ومناقشة دور عملية الكارست ذاتها فى نشأة وادى بير العين كأحد أودية مناطق الحجر الجيري، هذا فضلا عن دور الظروف المناخية الحالية فى نشاط عملية الكارست. تجدر الإشارة إلى أن أغلب ظواهر الكارست فى وادى بير العين تكاد تتركز فى الجزء الأدنى من حوضه حيث المجرى الرئيسي للوادى وروافده الرئيسية (شكل ٣).

١) المجاري الجوفية والأشكال المرتبطة بها :

تعد المجارى الجوفية Subsurface or underground streams من الأشكال التى لم يرد الحديث عنها كثيرا داخل الأودية الصحروية، والحقيقة أن هذه المجارى قد تكون شائعة الانتشار إلا أن تصنيفها كأشكال أخرى، أو استبعاد فكرة أنها مجارى جوفية نشأت بفعل عملية الكارست، قد جعلها بعيدة عن الدراسة تحت هذا المسمى. ويقصد بالمجارى الجوفية تلك المجارى التى تنشأ أسفل السطح كجزء من كهف أو كهوف وقد تتدفق بها مياه، وليس بالضرورى أن تكون كبيرة (EPA, 2002). أمكن رصد سبعة مجارى جوفية على المرئيات الفضائية، وتم التأكد من ستة مجارى منها والوصول إليها ميدانيا، وقياس أبعادها (جدول ١). اتسمت المجارى الجوفية فى وادى بير العين بالعديد من الخصائص المورفولوجية المميزة، أول هذه الخصائص هى انهيار أسقفها بشكل كامل أو

جزئي، وسمح ذلك بظهور هذه المجارى على السطح لتصبح جزءا من قيعان الأودية التى انفتحت عليها (شكل ٤–أ)، وقد اتاح ذلك دراستها بشكل تفصيلي.

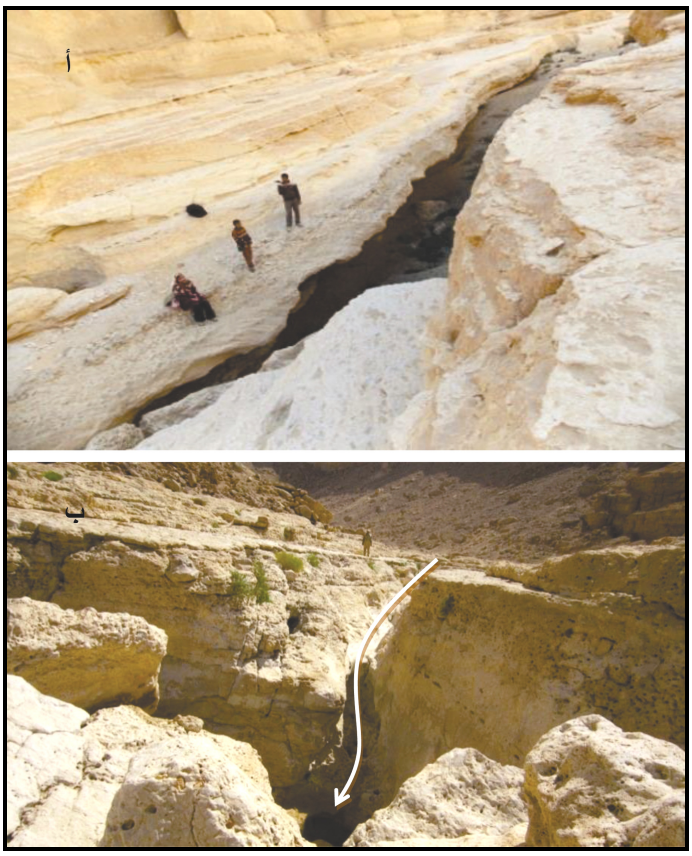
تتركز المجارى داخل وادى بير العين إما على القاع الرئيسي للوادى، حيث رصد به خمسة مجارى جوفية، أو قد تنشأ فى قاع الروافد الرئيسية لا سيما عند اتصالها مع الوادى الرئيسي كما فى مجرى رقم (١). تباينت أطوال المجارى ما بين ٢٧ إلى ٣٧٠ مترا، والعرض ما بين ٢ إلى ٦٧ مترا، وتراوح العمق ما بين ٢,٥ إلى ٦٠ مترا (جدول ١).

جدول (١) : أبعاد المجارى الجوفية فى وادى بير العين.

	الطول (م)	العرض (م)	العمق (م)	المكان
مجرى رقم ١	٣٧٠	٢–١٨	٦٠	قاع رافد
مجرى رقم ٢	١٨٧,٥	١١	٨,٥	قاع المجرى الرئيسي
مجرى رقم ٣	١٣٥	٢١	٨	قاع المجرى الرئيسي
مجرى رقم ٤	٢٩٦	٨	١١,٥	قاع المجرى الرئيسي
مجرى رقم ٥	١٢٣	٦٧	١١	قاع المجرى الرئيسي
مجرى رقم ٦	٢٧	٧	٢,٥	قاع المجرى الرئيسي

المصدر: قياسات حقلية، وصور Google Earth.

تتوزع هذه المجارى إما منعزلة كما فى المجرى رقم (١) والمجرى رقم (٦)، أو قد يتجاور مجريين لا يفصلهما سوى حافة بينية من قاع الوادى الرئيسي قد يصل طولها ٤٠ مترا، مثال ذلك المجريين رقم ٢ و ٣ والمجريين رقم ٤ و ٥، وفى كل الأحوال تبدو هذه المجارى كموضع ابتلاع أو مصيدة لمياه الأمطار والسيول التى تأتى إليها من اتجاه المنابع (شكل ٤–ب)، وتجدر الإشارة إلى أنه فى حالة وجود مجريين متتاليين فإن المياه بعد أن تملاء المجرى الأول، تفيض وتجتاز الجزء البيني المرتفع من خلال قناه كونتها المياه المتدفقة، لتسقط مرة ثانية فى المجرى الجوفى التالى، وقد يؤدى ذلك إلى التحام المجريين، ففى المجريين رقم (٤ و ٥) وبعد أن تفيض مياه المجرى رقم (٤) تتدفق المياه عبر قناه سطحية إلى هذا المجرى رقم (٥) وتسقط مباشرة فى إحدى بالوعات الإذابة من ارتفاع يزيد عن ١١ مترا (شكل ٤–ب)، وبعد امتلاء البالوعة بالمياه تفيض لتجري إلى باقى المجرى الجوفى ويرتفع منسوبها إلى أن تتدفق خارجه باتجاه مصب وادى بير العين.



شكل (٤) : بعض المجارى الجوفية على قاع المجرى الرئيسي لوادى بير العين، حيث توضح صورة (أ) مجرى رقم ٢ الذى لا يزال محتفظا بجزء من سقفه فى شكل معلق، وتم التقاط هذه الصورة من على القاع الرئيسي لوادى بير العين، أما صورة (ب) فتوضح مجرى رقم ٥ حيث إنهيار سقفه بالكامل ونتج عن ذلك العديد من الكتل المنهارة داخل المجرى، كما توضح الصورة فارق المنسوب بين قاع وادى بير العين الرئيسي الذى يقف عليه الشخص وقاع المجرى الجوفى الذى يتسم بوجود بالوعة إذابة، والسهم يشير إلى مسار تدفق المياه إلى بالوعة الإذابة على قاع المجرى.

أما فى حالة المجارى الجوفية التى تنشأ بالروافد، وتحديدا عند إلتقاءها مع المجرى الرئيسي، فإن المياه تنتقل من الرافد إلى المجرى الجوفى فى شكل مسقط مائي مميز (شلال)، ثم تتدفق بعده إلى الوادى الرئيسي. فالمجرى الجوفى رقم (١) الذى يقع على بعد ٨ كم من مدخل وادى بير العين (شكل ٣)، يجرى أسفل سطح الرافد لمسافة لا تقل عن ٣٧٠ مترا ثم يخرج إلى المجرى الرئيسي

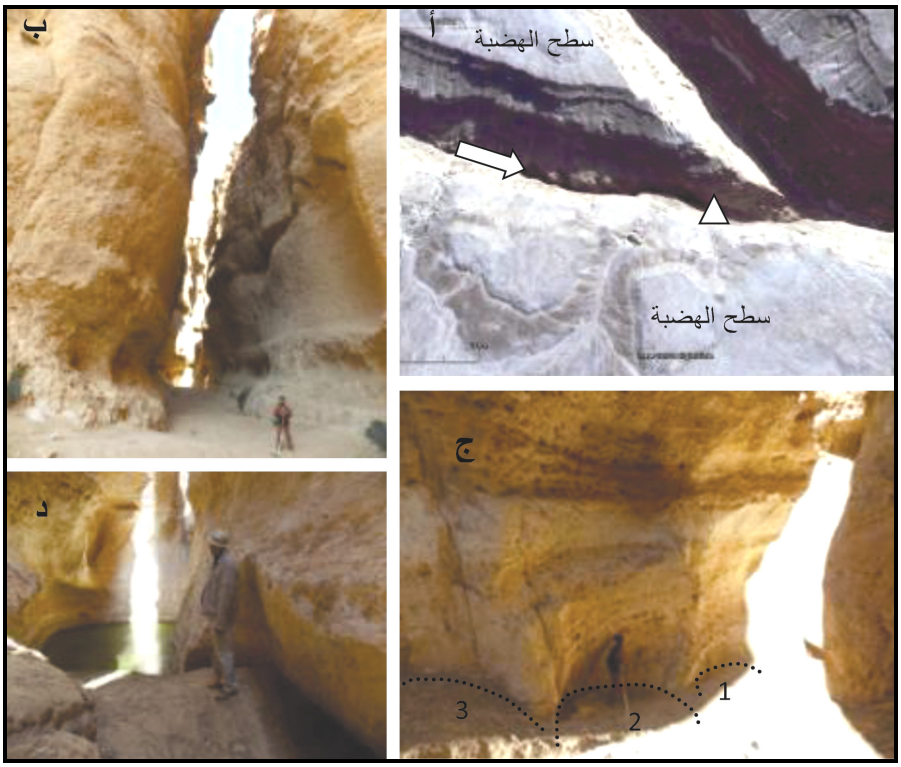
لوادى بير العين. يبلغ الفارق بين قاع الرافد (الذى يقع على منسوب ٢٩٠ مترا) وقاع المجرى الجوفى (الذى يقع على منسوب ٢٣٠ متر تقريبا) حوالى ٦٠ مترا وهذا الفارق هو ذاته عمق المجرى الجوفى، كما أنه يمثل أيضا ارتفاع المسقط المائي داخل هذا المجرى الجوفي، ويتراوح عرض هذا المجرى ما بين ١٨ مترا من أعلى، و٢ متر من أسفل (جدول١)، وعند الدخول إلى هذا المجرى الجوفي من الوادى الرئيسي يبدو كخانق ضيق جدا canyon لا يزيد عرضه عن ٢ متر، وقد نشأ هذا الخانق بإمتداد أحد الصدوع الممتدة عبر الرافد (شكل ٥)، ويتسم المدخل الضيق للمجرى بإنسداده أحيانا بكتل منهارة يمكن تسلقها.

اتسمت أغلب قيعان المجارى الجوفية التى تم دراستها بوجود بالوعات إذابة متباينة الأحجام، بلغ قطر أكبرها أربعة أمتار، ويعد وجود هذه البالوعات على قيعان المجارى الجوفية بمثابة نقاط تصريف لمياه الأمطار والسيول، إلا أن قدرة هذه البالوعات على تصريف المياه فى الوقت الحالى قد تكون محدودة نظرا لامتلاءها بالرواسب الناعمة مثل الصلصال، بالإضافة إلى الحصى وعقد البطيخ المصقول الناتجة المتخلفة عن عملية الإذابة، هذا فضلا عن نمو النبات الطبيعي بفعل رطوبة التربة، والمرجح أن هناك عددا من البالوعات قد يكون مختفيا أسفل هذه الرواسب.

تشير الخصائص المورفولوجية الداخلية للمجارى الجوفية إلى أن أغلب قطاعاتها الطولية قد نتج عن التحام العديد من بالوعات الإذابة المتجاورة، وقد يفسر ذلك الجوانب السفلى المتعرجة لهذه المجارى، والمرجح أن نشأة بالوعات الإذابة واتساعها والتحامها على قيعان المجارى الجوفية يمثل أحد العملية الرئيسية لإنهيار أسقف هذه المجارى وامتلاءها بالعديد من الكتل المنهارة التى قد يصل طولها خمسة أمتار(شكل ٤-ب، ٥-ج).

ونظرا لأن هذه المجارى الجوفية تمثل مواضع أو أواحواض منخفضة عما حولها، لهذا كانت أماكن مناسبة لتجمع المياه داخلها، وقد انطبع ذلك على جوانبها التى احتفظت بعلامات تشير إلى المستويات التى استقرت عندها المياه لمدة طويلة، وهو ما يسمى بحزوز التقويض الناتجة بفعل فجوات الإذابة (Water notches or nip) (شكل ٥-ب و ٥-د). وقد تراوح عدد هذه الحزوز ما بين ٢ إلى ٤ مستويات، ففى المجرى رقم (٤) أمكن تمييز أربعة مستويات مختلفة هى ٢,٧٥ و ٣,٠٥ و ٣,٦٥ و٤,٥٥ أمتار فوق مستوى القاع الحالي، وقد ارتبط المستوى الأول الأدنى فى الغالب بأقصى طاقة استيعاب لبركة الكارست الموجودة فى الوقت الحالي على قاع المجرى الجوفى. تجدر الإشارة إلى أن هذه المستويات يقتصر وجودها على جوانب العد والخانق ولم ترصد على جوانب الوادى الرئيسي، ولهذا دلالات أهمها أن هذا المجرى الجوفى، وما به من بالوعات إذابة وبرك، قد نشأ منفصلا عن المجرى الرئيسي للوادى ثم اتصل به فى فترة تالية. أمكن تمييز مستويين مختلفين من حزوز التقويض داخل المجرى الجوفى رقم (٤) نتجت بفعل الإذابة، المستوى العلوى الأقدم يوجد على ارتفاع ٣,٣٠ مترا فوق مستوى القاع، والجدير بالذكر أن

هذا المستوى أعلى من منسوب القناه التى تنقل المياه من هذا المجرى إلى المجرى التالى المجاور (رقم ٥)، وهذا يعنى أن المستوى العلوى قد نشأ عندما كان المجرى مغلقا ومعزولا تماما عن المجرى الثاني ثم حدث اتصال بعد ذلك. أما المستوى السفلي فيقع على منسوب ٢,١٠ مترا من القاع، ويعد هذا المستوى الإرتفاع الفعلي للمياه بعد حدوث السيول فى الوقت الحالي، فقد تم رصد ذلك بعد سيول مارس ٢٠١٤. تشير الدلائل السابقة إلى أن المجارى الجوفية بوادى بير العين لم تنشأ فى فترة زمنية واحدة لاختلاف عدد مستويات حزوز التقويض واختلاف ارتفاعاتها، حتى على مستوى المجارى المتجاورة.



شكل (٥) : المجرى الجوفى رقم ١ حيث يوضح (أ) مرئية فضائية توضح مسقط رأسي للمجرى والسهم يشير إلى بدايته ويبدو المجرى كشق فى الرافد عند اتصاله مع المجرى الرئيسي لوادى بير العين، المثلث يشير إلى موقع صورة ب التالية (ب) صورة توضح المجرى الجوفى الذى يبدو كخانق، (ج) مجموعة من بالوعات الإذابة الملتحمة تشير إليها الخطوط المقطعة وذلك عند مدخل الخانق (د) بركة الكارست المتكونة على قاع الخانق.

اتسمت قيعان بعض المجارى الجوفية بوجود برك مياه تتركز فى أخفض أجزاءها لاسيما داخل بالوعات الإذابة الموجودة بها، وقد تستمر مياه هذه البرك لعدة شهور، وقد تصل لسنوات دون أن تجف. يطلق على هذه البرك اسم محلى وهو "العد" أو "العدل" وهوعبارة عن حوض صغير مناسب لتجمع المياه خاصة بعد حدوث المطر، وتتركز المياه داخله لمدة قد تصل عدة شهور أو بضع سنين، ويعد المصطلح الأول "العد" هو الأكثر شيوعا على الخرائط الطبوغرافية القديمة، مثل خرائط المساحة المصرية مقياس ١ : ٥٠٠٠٠٠ لعام ١٩٤٤. وتجدر الإشارة إلى أن هذه البرك لا تقتصر على قيعان المجارى الجوفية فقط، بل تظهر أيضا على قاع المجرى الرئيسي أو روافده كما هو الحال فى حالة بير العين ذاته الذى يمثل أحد هذه التجمعات وكذلك عد العافية الذى سوف يأتى ذكره.

تعد بركة أو عد الخانق المتكون على قاع المجرى الجوفى رقم (١) أكثر برك الكارست جاذبية فى وادى بير العين نظرا لموقعه الطبوغرافي المميز داخل أحد الخوانق التى ترتفع حوائطه الرأسية ٦٠ مترا وعرض يتراوح ما بين ٢ إلى ١٨ مترا، هذا فضلا عن استدامة مياهه طول فترة الدراسة ونمو الطحالب الخضراء على سطحها (شكل ٤-أ). وحقيقة الأمر فإن هذا الخانق يمثل جوانب المجرى الجوفي الذى إنهار سقفه، ويرجع عدم ذكر هذا العد بين الدراسات السابقة إلى صعوبة الوصول إليه. يمثل هذا العد بركة دائمة للمياه منذ بداية دراستها فى يناير ٢٠١٤. أبعاد هذا العد تختلف تبعا لحجم المياه المنصرفة إليه، إلا أن عرضه يكاد يكون ثابتا (١,٩٥ متر) نظرا لإنحساره بين جانبي الخانق، أما الطول فمن المتوقع أن يصل ٥,٥ مترا وهو أقصى طول متوقع طبقا لحزوز تقويض الإذابة، وأقصى عمق فى ضوء الأبعاد السابقة فى حدود ٢,٧٥ متر. وعندما تتجاوز المياه طاقة العد تجتاز مخروط من الرواسب يحجز مياه البركة، ثم تنساب المياه عبر الخانق لتتجه نحو الوادى الرئيسي. يفصل هذا العد عن باقى قاع المجرى الجوفى حافات صغيرة هى فى الأساس بقايا الحافات الفاصلة بين لبالوعات متتالية بالمجرى، وقد تم رصد بعض بقايا بالوعات الإذابة فى المسافة بين العد وموضع إلتقاء الرافد مع مجرى الوادي الرئيسي، ولا تزال بقايا الحوائط التى كانت تفصل هذه البالوعات موجودة. الواضح أن المصدر الرئيسي لمياه العد يتمثل فى ماء المطر المتدفق من الجريان السطحى إلى المجري الجوفى، والماء المتسرب من هضبة الحجر الجيري المحيطة، إلا أن هناك بعض العوامل المهمة التى أسهمت فى الحفاظ على مياه العد سنوات عديدة، أهمها الوضع الطبوغرافي حيث ارتفاع جوانب الخانق الذى يصل ٦٠ مترا وضيق جوانبه التى قد تصل ٢ متر، وهو ما ساعد على حجب أغلب أشعة الشمس المباشرة والحرارة من الوصول إلى مياه العد خاصة أثناء فصل الصيف، لهذا فإن التبخر قليل جدا. يضاف إلى ما سبق احتمالية قرب منسوب هذا العد من منسوب الماء الأرضي.

٢) بالوعات الإذابة Sinkholes :

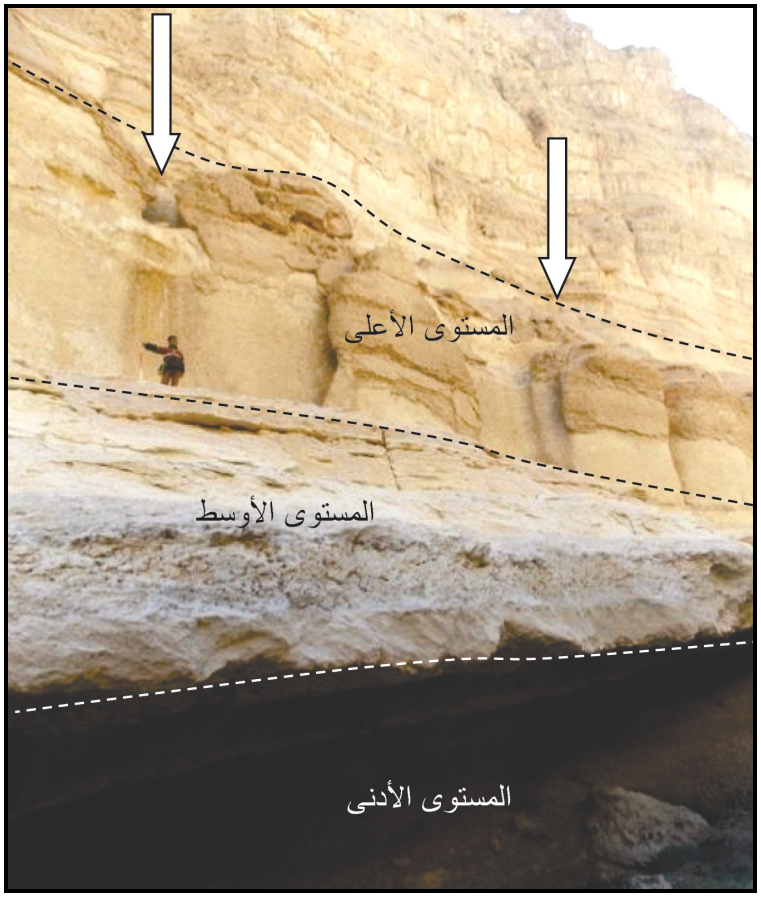
تعد بالوعات الإذابة إحدى أهم الظاهرات المميزة لأراضى الكارست، كما تشير بشكل واضح إلى دور عملية الإذابة فى تشكيل السطح المحيط بها. رصدت هذه الظاهرة فى وادى بير العين بشكل نموذجى قد يضاهى وجودها فى مناطق نشأتها النموذجية الآن كما فى سلوفينيا وغيرها من مناطق الكارست النشط حاليا. وتأتى أهمية هذه البالوعات من كونها أهم مدخلات المياه لنظام الكارست أسفل السطح، ويترتب على اتساع حجم البالوعات وزيادة عددها تحول تصريف المياه من تصريف سطحى إلى تصريف جوفى، وبالتالى نشاط الإذابة تحت السطح.

أمكن رصد ثلاثة مستويات مختلفة لبالوعات الإذابة، يشير كل مستوى منها إلى مرحلة تطورية مختلفة لقاع وادى بير العين، أو بمعنى آخر مراحل تخفيض مختلفة (شكل ٦). وقد وجدت هذه المراحل بشكل نموذجى وكامل عند المجرى الجوفى رقم (٢)، المستوى الأول لهذه البالوعات هو الأدنى والأحدث ويوجد على قاع المجرى الجوفى ذاته، وتتسم بالوعات هذا المستوى بأنها الأكبر حجما، حيث يتراوح قطرها ما بين ٣–٤ أمتار، أغلب هذه البالوعات مملوء بالرواسب المنقولة مع المياه إلى المجرى الجوفى أثناء السيول، ويغلب على هذه الرواسب الصلصال والرمال التى يتباين لونها ما بين الرمادى والأسود، وقد اكتسبت هذا اللون بفعل الطحالب المتحللة وبقايا النباتات، كما يختلط مع الرواسب أحيانا عقد بطيخ وحصى من الصوان تخلف عن عملية الإذابة، وقد عمل توافر الرطوبة فى هذه الرواسب على نمو نبات طبيعى داخل البالوعات (شكل ٧أ). وكما سبق القول فإن وجود البالوعات داخل المجارى الجوفية كان عامل أساسي فى نشأتها أولا، ثم اتساعها وإنهيار سقفها فى مرحلة تالية.

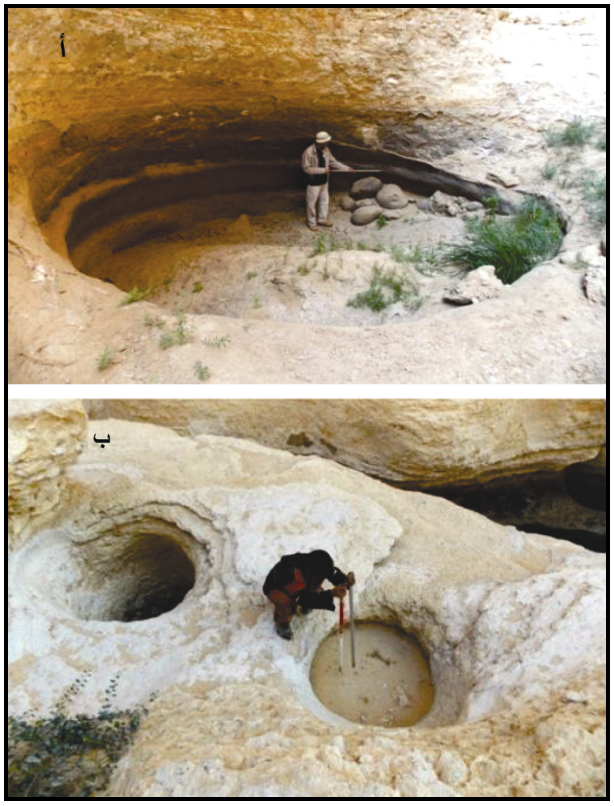
أما بالوعات المستوى الثانى الأوسط فتوجد على القاع الحالي لوادى بير العين، وقد تم رصد أكبر عدد من بالوعات الإذابة على سطح هذا المستوى، حيث بلغ عددها عند المجرى الجوفى رقم (٢) حوالى ثماني بالوعات، وقطرها فى حدود ١ متر، كما تراوح عمقها ما بين ٢,٥–٣ أمتار (شكل ٧–ب). ويرجح أن بالوعات هذا المستوى مرتبطة بشبكة تصريف تحت سطحية ليس لها علاقة بالمجارى الجوفية المجاورة لها، ويظهر ذلك من خلال القنوات التى تخرج عند قاع هذه البالوعات وغير متصلة بالمجرى الجوفى المجاور.

أما المستوى الثالث الأعلى فيرتفع قرابة ستة أمتار ويوجد به بالوعات مميزة لم تظهر بكاملها، بل توجد بقاياها على الجوانب السفلي شديدة الانحدار لوادى بير العين، يمتد عمق هذه البالوعات لحوالى ٦ أمتار، وقطرها فى حدود ١,٥ متر، والمؤكد أن هذه البالوعات هى الأقدم بين المستويات الثلاثة، ويرجح نشأتها على قاع سالف لوادى بير العين، ثم تعرضت للتعرية والتغيير بعد تخفيض

قاع وادى بير العين، لهذا تظهر بقاياها على السفوح الدنيا للوادى (شكل ٦). يستدل من المستويات السابقة للبالوعات أن عملية تخفيض قاع وادى بير العين قد تمت بفعل عملية الإذابة والعمليات المرتبطة بها، وأن اتساع هذه البالوعات فى مرحلة تالية أدى إلى انفتاحها على بعضها وقد يتبع ذلك حدوث إنهيار للأسقف المحيطة بهذه البالوعات.



شكل (٦) : يوضح المستويات المختلفة لبالوعات الإذابة عند المجرى الجوفى رقم (٢) فى وادى بير العين، فالمستوى الأدنى يوضح قاع المجرى الجوفى وسقفه المعلق المنهار، ويشير المستوى الأوسط إلى القاع الحالى لوادى بير العين الذى يقف عليه الشخص، والمستوى الأعلى يشير إلى القسم السفلي من الحائط الرأسي لجوانب وادى بير العين حيث توجد بقايا بالوعات إذابة تشير إليها الأسهم، وفى المجمل تشير هذه المستويات إلى مراحل تخفيض متتالية فى قاع وادى بير العين تشير إلى تطوره بفعل الإذابة.



شكل (٧) : بعض بالوعات الإذابة فى وادى بير العين، حيث توضح صورة (أ) إحدى أكبر بالوعات الإذابة وقد تم رصدها على قاع المجرى الجوفى رقم (٢) حيث بالوعات المستوى الأول الأدنى، وتوضح صوره (ب) بالوعات المستوى الأوسط على القاع الحالي لوادى بير العين.

٣) ينابيع الكارست :

الينابيع الكارستية هى تلك المواضع التى تتدفق عندها المياه الجوفية إلى السطح فى أراضي الحجر الجيري الكارستى (EPA, 2002) ويشمل هذا المفهوم تلك المياه المتدفقة من جوانب التلال أو من جوانب الأودية فى أرضي الحجر الجيري. يتشابه مفهوم الينبوع والعين فى اللغة العربية حيث يؤديان تقريبا نفس المعنى. يعد ينبوع بير العين أكثر معالم وادى بير العين شهرة نظرا لاستمرار تدفق مياهه حتى الوقت الحالي، وقد جرت العادة فى الدراسات الجيولوجية والهيدرولوجية السابقة التى تناولت ينبوع بير العين، دراسة مظهرين مميزين آخرين هما بير العين وعد العافية وذلك لوجود هذه

المظاهر الثلاثة فى حيز مكانى واحد (شكل ٣ وشكل ٨)، وللإعتقاد بأن ينبوع بير العين يمثل مصدر رئيسي لمياه بير العين وعد العافية.

شكل (٨) : يوضح التجمعات المائية الثلاثة بمنطقة بير العين، حيث توضح صورة (أ) ينبوع بير العين، و(ب) عد العافية، أما (ج) فتوضح بير العين ذاته.

٤) ينبوع بير العين :

يعد ينبوع بير العين أكثر الملامح المميزة لوادى بير العين لما له من أهمية جيومورفولوجية وجيولوجية وبشرية عبر العصور، كما يعد هذا الينبوع من الينابيع الكارستية القليلة التى تتدفق منها المياه بالصحراء الشرقية فى الوقت الحالى بل وعلى مستوى مصر، وكما سوف يتضح فإن هناك العديد من الينابيع الأخرى التى تم التعرف عليها فى وادى بير العين إلا أنها جافة فى الوقت الحالى.

يقع ينبوع بير العين على مسافة ٥,٥ كم من مدخل الوادى الرئيسي باتجاه المنبع على الجانب الشمالي شديد الانحدار لوادى بير العين (شكل ٣)، يرتفع الينبوع عن قاع الوادى بحوالى ٢,٥ مترا (شكل ٨-أ). يقع الينبوع على منسوب ٢١٠ متر تقريبا بفارق يبلغ ١٥٠ مترا عن منسوب السهل الفيضي فى محافظة سوهاج، كما يبلغ منسوب سطح الهضبة فوق الينبوع ٢٨٠ مترا، وأعلى منسوب للهضبة فى هذا الجزء يبلغ ٣٤٠ مترا. تنساب المياه من الينبوع على الحائط الرأسي لجانب الوادى لمسافة ١,٢٠ مترا، وتتدفق بعدها على مخروط من رواسب ومواد عضوية نباتية، ومنه إلى قاع الوادى المغطى أغلبه بالركام الصخرى، ومنه تتدفق أغلب المياه إلى المستوى الأدنى من قاع الوادى بعد الهبوط من إحدى نقاط التجديد لتكون بركة مؤقتة للمياه لاسيما بعد التساقط المطري.

نشأ ينبوع بير العين فى تكوين قصب بمخرج شبه دائري ارتفاعه ٣٧ سم، وعرضه ٣٢ سم، وعمقه ٣٦ سم. وجدير بالذكر أن المياه تتدفق إلى هذا المخرج من خلال أربعة فتحات صغيرة موزعة رأسيا، أكبرها يبلغ اتساعه ١٤ سم، والفتحات الثلاثة الأخري أصغر حجما ومتوسط قطرها ٣,٥ سم. المياه المتدفقة من هذه الفتحات الأربعة تتجمع فى حوض صغير داخل مخرج الينبوع، طول هذا الحوض ٢٤ سم، وعرضه ١٨ سم، وأقصي عمق للمياه داخله يبلغ ١٦ سم. تنساب المياه للخارج عبر مخرج الينبوع بعد تجمع مياه الفتحات الأربعة داخل الحوض. الجدير بالذكر إن فتحات ينبوع بير العين الأربعة قد ارتبطت بشكل رئيسي بمواضع ضعف ليثولوجى فى تكوين قصب، حيث نشأت فيما بين طبيقات الصوان الأفقية التى تميز هذا التكوين. يتسم خط انسياب المياه من الينبوع على الحائط الرأسي بغناه باللون الأخضر الناتج عن الطحالب التى تنمو مرتبطة بالمياه، يتحول هذا اللون إلى البنى أوالأصفر عندما ينخفض تدفق المياه أو مع البعد عن المسار الرئيسي للمياه المتدفقة. ينمو حول الينبوع، خاصة فى المواضع المنخفضة على قاع الوادى، العديد من النبات الطبيعي المرتبط بمياه الينبوع، تختلف كثافة هذه النباتات من وقت لآخر تبعا لكمية المياه المتدفقة.

اتسم تصريف مياه ينبوع بير العين بالإنخفاض والتباين الواضح خلال الفترة من مايو ١٩٧٣ حتى أبريل ٢٠١٥ (جدول ٢)، فقد تراوح تصريف الينبوع ما بين ٧٣ لتر/يوم و١٦٥ لتر/يوم (ما يعادل ١٩,٠٢ إلى ٤٣,٥٩ جالون/يوم أو ٢,٥٤ إلى ٥,٨٣ قدم مكعب/اليوم على الترتيب)، لهذا فإن ينبوع بير العين

يمكن أن يصنف طبقا لحجم تصريفه على مقياس أو تصنيف Meinzer (1932) بأنه من ينابيع الدرجة الثامنه (الدرجة قبل الأخيرة)، أى ينبوع ذو تصريف قليل جدا. كما يصنف على أنه ينبوع نز مياه seepage spring (EPA, 2002). يتحكم فى تصريف مياه الينابيع العديد من العوامل أهمها، حجم حوض التصريف الذى يقع فيه الينبوع، وكمية التساقط وفصليتة، وضغط المياه فى الخزان الجزفي، وخصائص موصلات المياه بين الخزان والينبوع، وحجم فتحات مخرج الينبوع، يضاف إلى ذلك مقدار السحب من الخزان الجوفي للإستخدامات البشرية (William & Ford, 1989).

جدول (٢) : تصريف المياه من ينبوع بير العين فى فترات مختلفة.

كمية تصريف المياه (لتر/يوم)	تاريخ قياس التصريف	المصدر
١٣٠	مايو ١٩٧٣	El-Gamili, 1975
١٣٠	أكتوبر ١٩٨٧	Abdel-Moneim, 1988
٧٨	أكتوبر ١٩٩٣	Abdel-Moneim & Fahim, 1994
١٣٥	أكتوبر ٢٠٠٣	Abdel-Moneim, 2004
١٦٤,٦	٢ أبريل ٢٠١٤	الدراسة الحالية (بعد ٢٤ يوما من سيل مارس ٢٠١٤)
٧٣	١٢ أبريل ٢٠١٥	الدراسة الحالية (بعد سنة من سيل مارس ٢٠١٤)

تبين من قياسات تصريف مياه ينبوع بير العين خلال عامي ٢٠١٤ و٢٠١٥ (جدول ٢)، أن كمية التصريف بعد ٢٤ يوما من السيل الذى حدث فى يوم ٢٠١٤/٣/٩ فى وادى بير العين قد بلغ ١٦٥ لترا/يوم، وهى أعلى كمية تصريف تم رصدها منذ عام ١٩٧٣، إلا أنه بعد عام من هذا السيل وتحديدا فى ٢٠١٥/٤/١٢ تبين أن كمية التصريف قد بلغت ٧٣ لترا/يوم فقط، وهى أدنى كمية تصريف تم رصدها، كما إنها بعد عام كامل بدون أى تساقط مطري. يشير ذلك إلى أن المصدر الرئيسي لمياه ينبوع بير العين هو الأمطار، والمؤكد أن الأمطار تمثل المصدر الرئيسي لتغذية الخزان الجوفى الكارستى بالمنطقة، أى أن موسم المطر يتحكم بشكل رئيسي فى مقدار تصريف الينبوع، فبعد التساقط المطري مباشرة يرتفع التصريف، ثم يأخذ فى الإنخفاض مع الوقت لاسيما خلال فترات الجفاف. كما يستدل من خلال معدل تناقص التصريف خلال هذا العام والبالغ ٠,٢٥٥ لترا/اليوم أن مياه الينبوع يحتمل أن تجف بحلول يوم ١٨ يناير ٢٠١٦ مع افتراض عدم سقوط أى أمطار خلال هذه الفترة، كما يرجح أن معدل التصريف وقت حدوث السيل قد بلغ ١٧٠,٧ لترا/اليوم. فى ضوء قياسات فترة الدراسة ومعدل تناقص تصريف المياه فإنه

يمكن القول بشكل عام أن كل مياه ينبوع بير العين يحتمل أن تجف بعد ٦٤٧ يوما من حدوث أى سيل قادر على ملاء الخزان، أي بعد قرابة عام وتسعة أشهر.

فى ضوء انخفاض تصريف ينبوع بير العين يرجح أن الخزان الجوفى المغذي للينبوع محدود الإمتداد، ويرجح ذلك صغر مساحة سطح الهضبة التى تنتمى لحوض وادى بير العين فوق الينبوع مباشرة، فهى لا تتجاوز ١ كم^{٢}، كما أن عرضها لا يتجاوز ١كم. وهذه النتيجة تتفق مع دراسة El Gamili, 1975 التى أرجعت انخفاض نسبة أيونات البيكربونات–الكربونات فى مياه الينبوع إلى قصر المسافة التى تقطعها مياه الينبوع عبر الخزان الجوفى. ما سبق قد يفسر غياب رواسب الطوفا حول ينبوع بير العين نظرا انخفاض نسبة كربونات الكالسيوم المذابة.

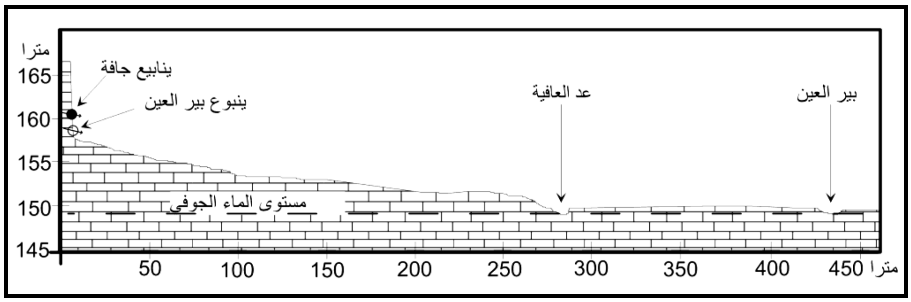
بالنظر إلى مصدر مياة الينبوع المتمثلة فى الأمطار، وصغر حجم الخزان الجوفى المغذى لينبوع بيرالعين، وإلى استمرار تدفق مياة الينبوع لمدة من المتوقع أن تقترب من العامين فى حال غياب أى إمداد مائي، فإن استمرار التصريف أثناء هذه الفترة قد يشير إلى أن الموصلات المائية التى تنقل المياه من الخزان إلى الينبوع صغيرة بشكل سمح بالتحكم فى تدفق المياه خلال هذه المدة، ومن ناحية أخري فإن عدم تأثر الينبوع نفسه بأى صدوع واضحة يشير إلى أن المتحكم الرئيسي فى تدفق المياه هو مواضع ضعف ليثولوجى فى الصخور الجيرية التابعة لتكوين قصب، والمرجح أنها مرتبطة بمواضع ما بين الصوان أو طبيقات الصوان. تجدر الإشارة إلى أن ظهور ينبوع بير العين على جانب الوادى عند هذا الموضع يشير إلى أنه متقاطع مع منسوب الماء تحت السطحى، أو يقع دون منسوبه، كما يعنى ذلك أن الينبوع نتاج امتلاء الخزان تحت السطحى الذى يصرف مياهه إلى سطح الأرض عبر الينبوع، إلا أن السؤال الذى يطرح نفسه هو هل هذا الخزان المغذى للينبوع خزان صغير منعزل أم متصل بالخزان الرئيسي الموجود أسفل وادى بير العين؟ الإجابة عن هذا التساؤل سوف تتضح من النقاش التالى. تجدر الإشارة إلى أن ينبوع بير العين ليس الوحيد المتدفق الآن، بل يوجد بعض الفتحات الأخرى النشطة، فأسفل مخرج ينبوع بير العين بحوالى ٢٠ سم يوجد فتحة أخرى قطرها ٤ سم كان مقدار الماء المتدفق منها فى أبريل ٢١٠٤ (بعد ٢٤ يوم من حدوث سيل) حوالى ١١٥ لترا/اليوم، وهى كمية لها اعتبارها إذا ما قورنت بكمية تصريف الينبوع الرئيسي فى ذات اليوم والبالغة ١٦٥ لترا/اليوم. كما تم رصد العديد من الفتحات الأخرى التى تدفقت منها المياه بعد حدوث السيل حول ينبوع بير العين.

علاوة على الينابيع النشطة حاليا، فقد تم التعرف على العديد من الفتحات التى كانت تمثل ينابيع قديمة إلا أنها جفت فى الوقت الحالي، حيث يوجد فوق ينبوع بير العين بحوالى ٢ متر مخرج ينبوع قديم تم

الاستدلال عليه من خلال اللون الأسود لطحالب المياه المتحللة التى كانت تنمو مع انسياب المياه، هذا فضلا عن أثر مسار المياه، كما تم الاستدلال على مخارج ينابيع جافة أخرى على جانب الوادى الآخر المواجه لينبوع بير العين عند مستوى أعلى من ينبوع بير العين بما يتراوح ١–٢,٥ متر، كما إنها أكثر عددا وأكبر حجما، ويبدو أن كميات المياه المتدفقة من هذه الينابيع كانت كبيرة بالنظر إلى حجم مخارج مياهها التى قد يصل طولها المتر. يري El-Gamili, 1975 أن وجود ينابيع جافة على منسوب أعلى قد يشير إلى هجرة للمياه من القنوات (الموصلات) ذات المناسيب العليا إلى تلك ذات المناسيب الأدني بفعل عملية الإذابة. وتقترح الدراسة الحالية أن هجرة مخارج الينابيع من المناسيب العليا إلى المناسيب الأدني يمكن تفسيره من خلال تعرض قاع الوادى لمرحلة من التعميق تبعها هجرة مياه الينابيع إلى أسفل سالكة ممرات جديدة من خلال عملية الإذابة من أجل التوافق مع المنسوب الجديد لقاع الوادى، أى أن تعميق قاع الوادى يؤدى إلى هجرة مخارج الينابيع لأسفل. من ناحية أخرى فقد تم حفر ممر بطول ٧ أمتار داخل جانب الوادى عند أكبر هذه الينابيع الجافة على الجانب الجنوبي للوادي، بفعل الباحثين عن الآثار، وعند نهاية هذا الممر تم حفر بئر بعمق يزيد عن ١٠ أمتار وبقطر واحد متر، والمهم هنا أن المياه تحت السطحية قد بدأت تتدفق عند هذا العمق، ولهذا الكشف العديد من النتائج المهمة، فالفارق فى الإرتفاع بين موضع مستوى الماء تحت الأرضي داخل البئر المحفور وينبوع بير العين مابين ٩,٥–١٠ أمتار، وهذا يرجح أن المياه تحت السطحية داخل هذا البئر المحفور وتلك المتدفقة من ينبوع بير العين مختلفة المصدر، على الرغم من تواجدهما بامتداد قطاع عرضي واحد للوادى بمسافة لا تزيد عن ٢٠ مترا. إن هذا يشير إلى أن أحد هذين التجمعين ما هو إلا تجمع مائي جوفي ثانوى، لا يتعدى كونه أحد الجيوب المائية الصغيرة التى تتخلل الحجر الجيري، مثل الكهوف الصغيرة التى تتجمع فيها المياه، أما الخزان الآخر فمن المرجح أن يكون امتدادا للخزان الجوفى الرئيسي أسفل قاع الوادى.

يتضح مما سبق أن الفارق بين منسوب الماء عند ينبوع بير العين ومنسوب الماء داخل البئر المحفور قد تراوح ما بين ٩,٥–١٠ أمتار، وبوضع منسوب الماء داخل عد العافية وبير العين فى الإعتبار يتضح أن هناك فارقا بين منسوب قاع العد وينبوع بير العين يبلغ حوالى ١٠ أمتار (شكل ٩)، وهو ما يعنى أن قاع العد يقع بالقرب من أو يقطع منسوب الماء الأرضي الذى تم التعرف علية من خلال البئر المحفور. ذات الأمر قد يكون متشابها فى حالة بير العين، فمنسوب قاعه أقل من منسوب قاع عد العافية بحوالى ٢,٢ مترا، وبمعنى آخر فإن منسوب قاعه يقع دون منسوب ينبوع بير العين بحوالى ٩,٢٠ مترا (شكل ٩). ما سبق يعنى أن منسوب التجمعات المائية الثلاثة، البئر المحفور، وعد العافية، وبير العين، تقع كلها تقريبا على منسوب متقارب، فى حين يقع ينبوع بير العين على منسوب أعلى منهم بحوالى ١٠ أمتار، ويرجح ذلك احتمالية أن ينبوع بير العين ما هو إلا

جيب مائي منعزل قد يقع على مسار مجرى جوفى متجه نحو منسوب المياه الجوفى الرئيسي أسفل قاع الوادى، وقد يفسر ذلك صغر تصريف مياهه. تجدر الإشارة إلى وجود صدع طولى بإمتداد قاع الوادى جعل منسوب الجانب الجنوبي للوادى، وما أسفله من تجمعات مائية مثل عد العافية وبير العين، مختلف عن منسوب الجانب الشمالي الموجود به ينبوع بير العين، وقد استدل على ذلك من اختلاف وضع الطبقات على الجانبين. من ناحية أخرى فإن موضع ينبوع بير العين يقع بين الينابيع الجافة الأعلى منه فى المنسوب، ومنسوب الماء الأرضي الحالي.



شكل (٩) : قطاع تضاريسي يوضح العلاقة بين موقع بير العين وعد العافية والينابيع وعلاقتها بمنسوب الماء الجوفى.

يوجد بجوار ينبوع بير العين واحد من أشهر المظاهر فى بير العين وهو عد العافية، وقد أرتبط الحديث عن عد العافية بينبوع بير العين فى الدراسات السابقة للاعتقاد بأن الأخير هو مصدر مياه العد. والعد أو ما يطلق عليه أحيانا "عدل" كما سبق القول، عبارة عن حوض صغير مناسب لتجمع المياه خاصة بعد حدوث المطر، وعد العافية عبارة عن بركة مياه طولية تكونت على قاع الوادى عند أقدام الجانب الجنوبي لوادى بير العين، وعلى مسافة ٢٨١ مترا من ينبوع بير العين باتجاه المصب (شكل ٣). يبلغ طول العد ٧ أمتار، وعرضه ١,٢ مترا، وعمقه ٢,٨٥ مترا أغلب السنة (شكل ٨–ب). إلا أن أبعاد عد العافية تزداد بعد تساقط الأمطار، فبعد سيول مارس ٢٠١٤ بلغ طوله ٢٠ مترا، وعرضه ٤,٥ مترا، وعمقه ٣,٨٠ مترا. والمؤكد أن الأبعاد الأخيرة هى أقصى طاقة لاستيعاب المياه داخل عد العافية، بعدها تتدفق المياه على قاع الوادى نحو المصب وتحديدا باتجاه بير العين الذى سوف يأتى ذكره. يرى El-Gamili (1975) أن المصدر الرئيسي لعد العافية هو المياه المتسربة seepage من ينبوع بير العين، ولهذا اعتبر أن هذا العد بمثابة effluent pool. فى ضوء ما سبق التوصل إليه فى شكل (٩)، فإنه لا يرجح أن يكون المصدرالرئيسي لمياه عد العافية المياه المتدفقة من ينبوع بير العين، وإنما المصدر الرئيسي للمياه يرجع إلى

قرب منسوب قاع العد من منسوب الماء الجوفي، ولا شك أن ماء المطر المباشر والجريان السطحى وكذلك المياه المتدفقة من ينبوع بير العين تمثل هى الأخرى مصادر إضافية للمياه داخل العد. المرجح أن حوض عد العافية قد نشأ كجزء من مجرى جوفى تكون أسفل أحد نقاط التجديد فى وادى بير العين ثم حدث له انهيار، بقايا سقف هذا المجري الجوفى لا تزال موجودة كجوانب معلقة، كما أن نقطة التجديد ذاتها موجودة على مسافة لا تتعدى المترين من العد. وأخيرا فإن لعد العافية أهمية للسكان المحليين، فلا يزال يستخدم للإستحمام من قبل القرويين اللذين يعتبرون مياه العد شافية من بعض الأمراض، ومن هنا سمي بأسم عد "العافية"، كما يعتقد البعض أن مكان العد بما فى ذلك ينبوع بير العين وبير العين بمثابة مكان ديني ومقدس، لاسيما مع وجود مقام لأحد الأولياء.

أما بير العين ثانى أهم المظاهر بجوار ينبوع بير العين فهو البئر الذى سمي الوادى الرئيسي باسمه، وهوعبارة عن حوض ماء طبيعي يبعد عن عد العافية بحوالي ١٦٢ مترا باتجاه المصب وأسفل الجانب الجنوبي للوادى. حوض البئر ذو شكل قمعي قطره العلوى ٣ أمتار وعمقه ١,٧٠ مترا. تكون حوض البئر فى ركام رواسب الوادى، لهذا فإن جوانبه حجرية، الجزء الغربي منه (باتجاه المصب) مستظل بكتلة ضخمة منزلقة من الحجر الجيري يبلغ ارتفاعها ١٩ مترا، وعرضها ٨ أمتار (شكل ٨-ج). اعتبر El-Gamili (1975) أن هذه الكتلة قد انزلقت عبر خط صدع، إلا أن الدراسة الحالية تقترح أن عملية التقويض السفلي الناتجة عن الإذابة بفعل مياه البئر هى السبب الرئيسي فى إنهيار هذه الكتلة، وأن الجزء السفلي من الكتلة تم تعديله بفعل الإنسان لتسهيل استخراج المياه من البئر. يرى Abdel Moneim (2004) Abdel Moneim & Fahim (1994) El-Gamili (1975) أن مصدر المياه داخل بير العين هو تلك المتدفقة من ينبوع بير العين، أى أن بير العين بركة effluent كما هو الحال فى عد العافية. من ناحية أخرى يرى Abdel Moneim & Fahim (1994) من خلال التجربة الحقلية التى أجراها أنه بسحب كل مياة بير العين بواسطة الطلمبة اليدوية، لم يحدث أى تغيير فى مياه عد العافية، واستدل من ذلك على عدم وجود اتصال هيدروليكى بين بير العين وعد العافية، كما لاحظ أن المياه عند بدء تدفقها إلى البئر تدفقت من اتجاه الشمال وليس من اتجاه الشرق حيث يوجد عد العافية. إن اعتبار مياه الينبوع هى المصدر الرئيسي لمياه بير العين وعد العافية كما أشارت الدراسات السابقة قد يختلف مع ما توصلت إليه الدراسة الحالية كما سبق توضيحه فى حالة عد العافية، فمياه الينبوع قد تمثل أحد المصادر، إلا أنها فى ضوء ما تم مناقشته فى شكل (٩) فإن المصدر الرئيسي لمياه العد وبير العين هو اقتراب منسوبهما من منسوب الماء الجوفى، وهذا الخزان قد يتغذى بشكل مباشر من مياه الأمطار، أو بشكل غير مباشر من الينابيع التى تتلقى مياهها من الأمطار، مثل ينبوع بير العين. والمرجح أن كلا من بير العين وعد العافية يستمدان مياههما من ذات

الخزان الجوفى، وليس شرطا أن تتدفق المياه إلى بير العين من اتجاه الشرق حيث موقع عد العافية وإنما الأمر هنا يرتبط بظروف الخزان أكثر من الارتباط بعد العافية.

تشير نتائج درجة الأس الهيدروجيني pH (مدى حامضية المياه) لمياه التجمعات الثلاثة (جدول ٣)، أنها تتراوح ما بين ٧,٣٨ و٨,٤٨ درجة، أى تميل قليلا إلى القلوية (Abdel Moneim, 2004; Abdel Moneim & Fahim, 1994; El-Gamili, 1975)، وهذا يعنى عدم قدرة مياه هذه التجمعات الثلاثة على إحداث إذابة قوية إلا إذا توافر لها ظروف أخرى محفزة مثل وجود نبات طبيعى أو طحالب خضراء تزيد من تصاعد وتوليد غاز ثاني أكسيد الكربون. انعكس ما سبق على انخفاض نسبة أيونات البيكربونات–الكربونات فى المياه والذى أرجعه El-Gamili (1975) إلى انخفاض كمية ثانى أكسيد الكربون فى المياه، فضلا عن قصر المسافة التى تنتقلها المياه عبر الخزان الجوفى.

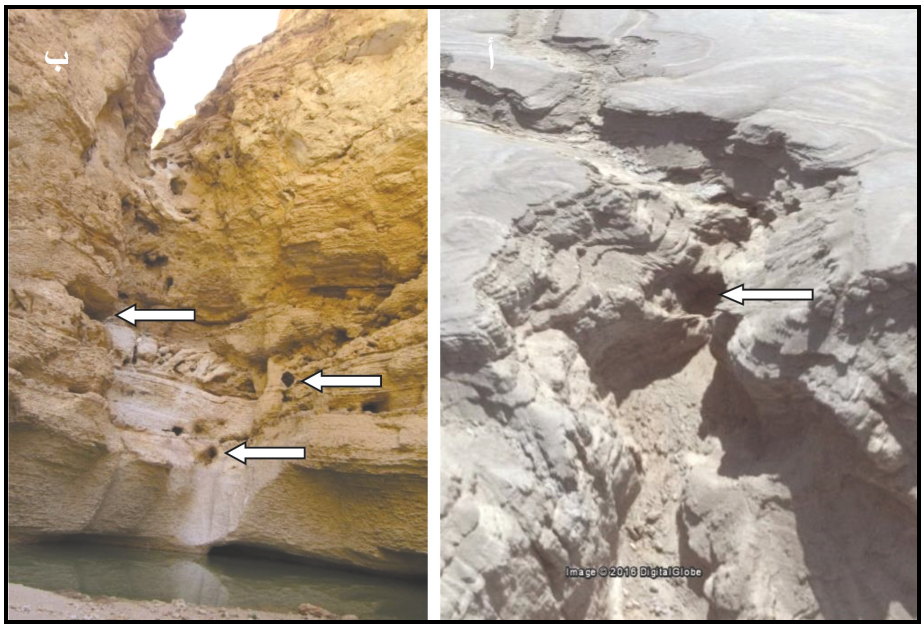
جدول (٣) : قيمة الأس الهيدروجيني فى مياه التجمعات المائية فى نطاق بير العين.

	Gamili, 1975	Abdel Moneim, 2004	Abdel Moneim & Fahim, 1994	المتوسط
ينبوع بير العين	٧,٩	٧,٨	٨,٤٨	٨,٠٦
عد العافية	–	٧,٨	٨,١٨	٧,٩٩
بير العين	٧,٨	٧,٩	٧,٣٨	٧,٦٩

تشير نتائج التحليل الكيميائي لمياه ينبوع بير العين إلى غناها بمركبات بيكربونات الصوديوم ($NaHCO3$) وهو ما يعنى أن أصل مياه الينبوع ماء جوي مرتبط بالأمطار، فى حين مياه عد العافية وبير العين يقتربان إلى كلوريد الماغنيسيوم ($MgCl_2$) وهذا يرجح احتمالية أن تكون نتاج عملية غسيل التكوينات والرواسب بفعل مياه الينبوع ذات أصل جوى (Abdel Moneim, 2004). كما تميزت المياه بالإرتفاع النسبي لتركيز الماغنسيوم الذى يرجع إلى إرتفاع نسبة كربونات الماغسيوم فى تكوين قصب (El-Gamili, 1975).

على بعد ١ كم من ينبوع بير العين باتجاه المنبع (حوالى ٦,٢ كم من مدخل الوادى) وتحديدا عند إلتقاء أطول الروافد على الجانب الجنوبي مع وادى بير العين يقع عد الشلال (شكل ٣)، ويرجح عدم وجود أى اتصال بين عد الشلال والتجمعات المائية الثلاثة عند بير العين. أطلق اسم العد الحالى نظرا لوقوعه أسفل أحد المساقط المائية "الشلال" التى تنشط أثناء التساقط المطري ويبلغ ارتفاعه ١٣ مترا. تجدر الإشارة إلى أن عد الشلال تكون على قاع بالوعة إذابة يبلغ قطرها ٦٥ مترا، وتلتحم هذه البالوعة مع بالوعة ثانية باتجاه المصب يبلغ قطرها حوالى ٩٠ مترا (شكل ١٠ أ و ب)، ويصل بين البالوعتين ممر ضيق عرضه

١متر هو نتاج لنحت الحافة الفاصلة بين البالوعتين. يبلغ طول العد حوالى ١٣ مترا، وبلغ العرض بعد ٢٤ يوما من سيول مارس ٢٠١٤ حوالى ٣,٦ أمتار، وقد يتغير العرض تبعا لكمية المياه المنصرفة للعد، ويبلغ أقصى عمق للعد ٤ أمتار. اتسم حائط الشلال بغناه بالعديد من مخارج الينابيع القديمة التى كانت نشطة فى فترات سالفة، ومن المؤكد أنها كانت تغذى عد الشلال بالمياه، ويرجح نشاط بعض هذه الينابيع فى الوقت الحالي أثناء السيول. الجدير بالذكر أن مياه عد الشلال قد جفت بعد أقل من عام من حدوث سيل مارس ٢٠١٤، وذلك خلال زيارة ١٣ أبريل ٢٠١٥، وهذا يشير إلى أن عد الشلال غير دائم المياه، وأنه أقل احتفاظا بالمياه مقارنة بعد العافية وبير العين وعد الخانق حيث تمتعوا بالمياه فى نفس فترة جفاف عد الشلال.



شكل (١٠) : يوضح عد الشلال، حيث توضح صورة (أ) منظر فوقى لبالوعة الإذابة التى يقع فيها عد الشلال ويشير إليها السهم (المصدر Google Earth)، كما توضح صورة (ب) عد الشلال داخل بالوعة الإذابة، وتشير الأسهم إلى فجوات عيون قديمة قد تنشط بعد حدوث السيول.

رابعا – رواسب الكارست والمتبقيات :

اتسم وادى بير العين بوجود العديد من رواسب الكارست التى تباينت ما بين رواسب كيميائية مثل الطوفا، وأخرى ميكانيكية تخلفت عن عملية الإذابة (متبقيات) مثل حصى الصوان وعقد البطيخ

فضلا عن مواد منهارة بفعل عملية الإذابة. واللافت للنظر أن أغلب قطاعات وادى بير العين تفتقد لوجود رواسب فيضية بفعل الجريان المائي تتناسب مع عمقه الكبير وحجم حوض تصريفه، وهو ما سوف يفسر فيما بعد.

١) رواسب الطوفا Tufa :

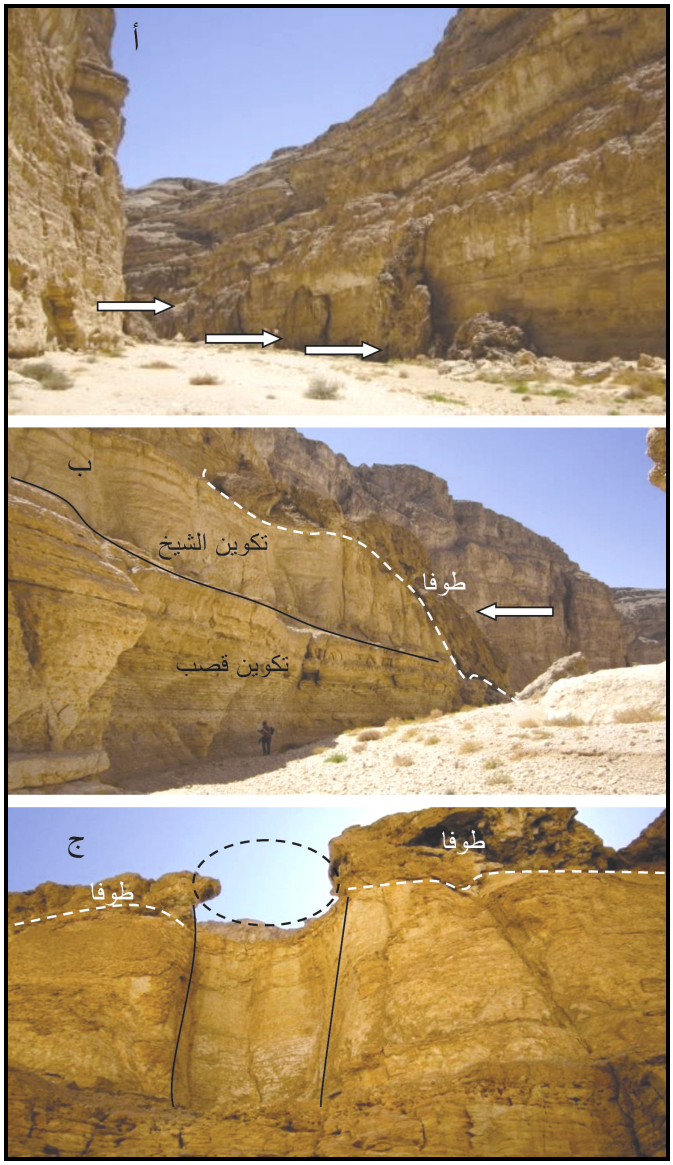
الطوفا عبارة عن رواسب كيميائية من كربونات الكالسيوم نشأت بفعل مياه منخفضة الحرارة مشبعة بكربونات الكالسيوم ناتجة عن إذابة الصخور الجيرية (EPA, 2002)، وغالبا ما يشترك فى عملية النشأة والإرساب عمليات طبيعية–كيميائية وبيولوجية تعمل معا، ومثل هذه العمليات يتحكم فيها الظروف المناخية لدرجة كبيرة، لهذا فإن الطوفا تعد مؤشرا مهما للتعرف على الظروف البيئية القديمة (Ford & Pedley, 1996; Dominguez-Villar et al., 2011). تعد الطوفا أكثر رواسب الكارست انتشارا فى وادى بير العين، وتشير خصائصها إلي بيئة غنية بالنبات (شكل ١١–أ)، وبالرغم من انتشارها الواسع بالوادى إلا أن الدراسات السابقة لم تشر إليها. تنتشر الطوفا فى ثلاثة مواقع رئيسية بالوادى (شكل ٣)، الأول يمتد لمسافة ٢ كم على قاع الرافد الرئيسي لوادى بير العين وجوانبه، والموقع الثاني بعد عد الشلال مباشرة داخل المجرى الرئيسي للوادى، أما الموقع الثالث فهو ثانى أكبر امتداد للطوفا بعد الموقع الأول حيث تمتد الطوفا لمسافة ٥٠٠ مترا بين عد العافية والمنطقة التاريخية.

يمكن تصنيف الطوفا طبقا لموقعها إلى نوعين: الأول نشأت فيه الطوفا وترسبت على قاع وادى بير العين أو روافده، كما فى الموقع الأول والثالث، وقد ترسبت الطوفا فى الموقع الأول على منسوب يتراوح بين ٢٧٥–٢٨٨ مترا، وفى الموقع الثالث ما بين ١٧٣ و١٨١مترا، حيث ترسبت طوفا هذا النوع على ترسبات أودية عديمة الطباقية من الصوان وكسر من الحجر الجيري مما أدى إلى تماسكها وتصلبها (شكل ١١–ب)، ويطلق على مثل هذا الخليط مصطلح "طوفا كونجلوميريت" Tufaconglomerete (Or tufa-cemented conglomerate). تظهر الطوفا فى بعض الأحيان فى شكل جيوب بين الرواسب الحصوية حيث تدفقت الطوفا من السطح عبر مجارى صغيرة تخترق الرواسب. أما الموقع الثالث فإن الطوفا كونجلوميريت تظهر فى شكل مصطبه ترتفع عن القاع الحالى للوادى بما يتراوح ما بين ٢,٥ إلى ٤ أمتار، بلغ أقصى عرض للمصطبة حوالى ٢٠ مترا وذلك فى المنطقة المحصورة بين عد العافية وبير العين، وقد تختفى المصطبة بالكامل فى بعض الأجزاء الأخرى بفعل التعرية (شكل ١١–ج). تشير كثافة سيقان وجذوع النباتات فى الطوفا إلى غنى هذا الموقع بالمياه والغطاء النباتى مقارنة بباقى المواقع الأخرى (شكل١١–أ). جدير بالذكر أنه قد رصد

فى رواسب الجزء العلوى من مصطبة الطوفا كونجلوميريت بقايا فحم نباتى يرجح رجوعها إلى فترة أوائل الهولوسين أو منتصفة وهذا يشير إلى أن هذه الفترة قد عاصرها فترة استيطان بشري قديمة داخل الوادى، كما رصد على سطح هذه المصطبة قطع من الفخار المرجح رجوعها إلى العصرين الرومانى والقبطي وهى الفترة التى يرجع إليها الدير التاريخي الذى توجد بقاياه داخل الوادى. يستنتج من سمات طوفا النوع الأول المتكونة على قاع وادى بير العين وروافده، أن المنطقة قد شهدت أولا فترة تساقط مطري قوى أدى إلى جريان مائي سطحى أسهم فى نقل الحصى وترسيبه، ويرجح أن يكون هذا الحصى بليستوسيني، وقد تلى ذلك نشاط ينبوعى نتج عنه ترسيب الطوفا لتختلط مع رواسب الأودية، والمرجح أن تكون هذه المرحلة أثناء بداية الهولوسين أو منتصفه.

أما النوع الثاني فهو الطوفا المتكونة على جانب وادى بير العين وروافده، كما هو الحال عند الموقع الأول والثاني، حيث انسابت الطوفا فى الموقع الأول من ارتفاع ١٣ مترا (شكل ١٢-أ) كحائط رأسى منفصل نسبيا عن جانب الوادى بمسافة تتراوح ما بين ١-٢ متر، ويشير ذلك إلى حدوث تراجع فى جوانب الوادى يقدر بحوالى ٢ متر منذ نشأة ترسبات الطوفا حتى الآن. أما عند الموقع الثانى فقد ظهرت الطوفا على الجانب فى شكل شلال يمتد لحوالى ١٢ مترا (شكل ١٢-ب). وجدير بالذكر أن هناك فارقا بين قاعدة رواسب الطوفا فى هذا الموقع والقاع الحالي لوادى بير العين يقدر بحوالى ٣,٥ أمتار، وهو مقدر التعرية فى قاع الوادى المتكون من الحجر الجيري منذ تكون الطوفا حتى الآن. تتسم رواسب الطوفا باختلاطها مع عقد من الصوان وقطع من الحجر الجيرى المستديرة، ويبدو أن رواسب الطوفا قد تعرضت بعد فترة من الوقت لعملية إذابة أدت إلى تكون مجارى داخلها نقل خلالها مواد حصوية فيضية بفعل المياه الجارية، وقد ملاءت هذه الرواسب بعض الجيوب داخل الطوفا الأصلية، فضلا عن الجيوب الموجودة ما بين الطوفا والصخر الأصلي، وبشكل عام فإن طوفا هذا الموقع معقدة التركيب حيث يوجد تداخل بينها وبين رواسب الأودية وكتل حجر جيري. وتجدر الإشارة إلى أن أكثر ما يميز رواسب طوفا هذا الموقع هو وجود بالوعات إذابة تقطع رواسب الطوفا والصخر الأصلى لعمق يصل ٣ أمتار (شكل ١٢-ج)، وهذا يؤكد أن بعد فترة ترسيب الطوفا حدث فترة من الإذابة كونت هذه البالوعات.

شكل (١١) : يوضح رواسب الطوفا فى وادى بير العين، حيث توضح صوره (أ) نمط مثالى لرواسب الطوفا الغنية بسيقان النباتات المتحجرة عند الموقع الثالث، وتوضح صوره (ب) الطوفا كونجلوميريت على قاع الرافد الرئيسي لوادى بير العين عند الموقع الأول، وتوضح صوره (ج) مصطبة الطوفا كونجلوميريت عند الموقع الثالث.



شكل (١٢) : يوضح أشكال مختلفة للطوفا المترسبة على جوانب وادى بير العين وروافده، حيث توضح صوره (أ) حوائط الطوفا على جانب الرافد الرئيسي عند الموقع الأول، وتوضح صوره (ب) انسياب الطوفة فى شكل شلال عند الموقع الثانى، أما صوره (ج) فتشير إلى بالوعة إذابة تقطع رواسب الطوفا عند الموقع الثاني بوادى بير العين.

٢) متبقيات الكارست :

أ- الكتل المنهارة Collapsed material :

تعد الكتل المنهارة إحدى متبقيات أو نواتج عملية الكارست وأكثرها انتشارا فى وادى بير العين، وتنتشر هذه الكتل بشكل واضح على قاع الوادى بعد عد العافية باتجاه المنابع، والجدير بالذكر أن أصل الكتل المنهارة قد يرجع إلى عمليات جيومورفولوجية مختلفة، إلا أن هناك العديد من الدلائل التى تؤكد نشأة هذه المواد بفعل التقويض السفلي فى قاع الوادى بفعل عملية الإذابة بالدرجة الأولى، يصل طول هذه الكتل فى بعض قطاعات الوادى إلى خمسة أمتار، إلا أن الحجم السائد يتراوح ما بين ١-٢ متر. يرتبط انتشار الكتل المنهارة بمظهرين جيومورفولوجيين على درجة كبيرة من الأهمية: الأول بإمتداد المجارى الجوفية المنهارة، فعند وصول المجارى الجوفية إلى مرحلة معينة من الاتساع والتقويض السفلى لجوانبها ينهار سقفها الذى قد يصل سمكه فى بعض الأحيان ٣ أمتار (شكل ٤).

أما المظهر الثانى المرتبط به هذه الكتل المنهارة فهو سطح نقاط التجديد، حيث سمح وجود فارق فى المنسوب عند هذه النقاط بنشاط عملية الإذابة السطحية وتحت السطحية، فهذا الفارق بمثابة إعادة نشاط وتجديد لعملية الإذابة على سطح هذه النقاط، لهذا ينتشرعلى سطحها حفر وأوعية الإذابة وشقوق الإذابة، وللمظهر الأخير أهمية كبيرة نظرا لدوره كممرات نقل المياه من السطح إلى تحت السطح وبالتالي نشاط الإذابة ونشأة مجارى جوفية، وقد تتطور هذه المجارى مع اتساعها بفعل عمليات الإذابة ويحدث انهيار لأسقفها.

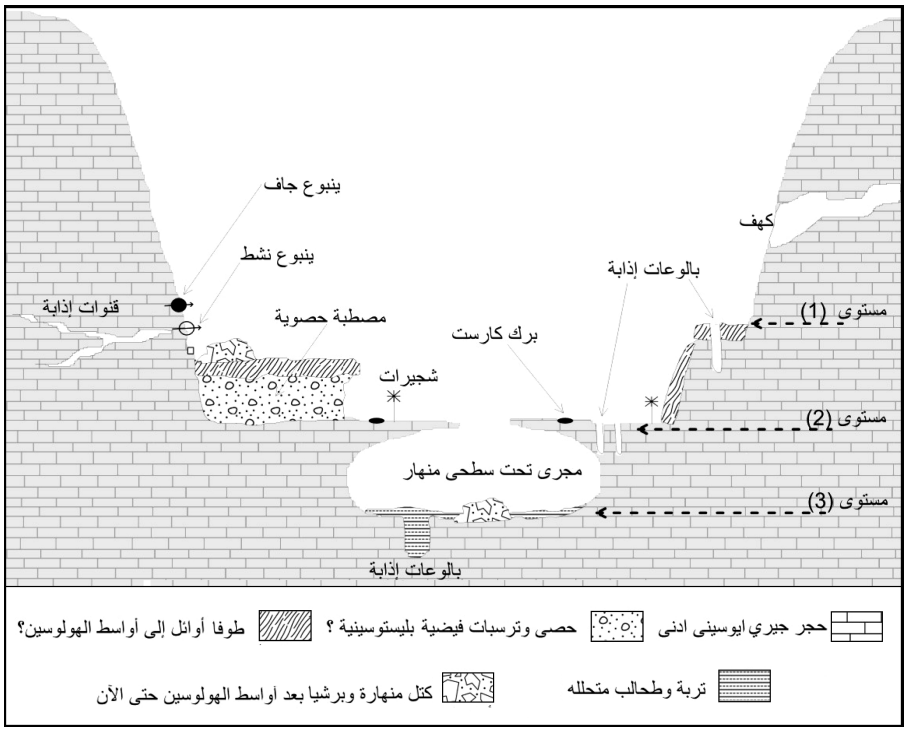
ب- حصى الصوان وعقد البطيخ Flint gravel and melon concretions :

ارسابات

تنتشر رواسب الصوان وعقد البطيخ بشكل متقطع على وادى بير العين، ويعد المصدر الرئيسي لهذه الرواسب تكوين قصب الغنى بها. وتعد عملية الإذابة العملية الرئيسية المسئولة عن اشتقاق الصوان وعقد البطيخ من الحجر الجيري، حيث أدت هذه العملية إلى إذابة الحجر الجيري، وقد تخلفت هذه المواد نتيجة شدة صلابتها (Embabi, 2004 and Mostafa, 2013)، وبعد اشتقاق هذه الرواسب بفعل الإذابة، أعيد نقلها مرة ثانية بفعل المياه الجارية حيث انتشرت هذه الرواسب فى ثلاثة أشكال إما كرواسب نقلت على قاع وادى بير العين وترسبت فى شكل فرشات منعزلة، أو كرواسب أودية متماسكة بفعل الطوفا، أو كرواسب نقلت إلى قيعان المجارى الجوفية.

خامسا – المناقشة والاستنتاجات :

إن وجود هذا التنوع الواضح فى مظاهر الكارست وتكرارها فى وادى بير العين مثل المجارى الجوفية، وبالوعات الإذابة، وينابيع الكارست، وبرك الكارست (العد)، ورواسب الطوفا، وحفر وأوعية الإذابة، وشقوق الإذابة (شكل ١٣)، يطرح تساؤلا مهما وهو إلى أى مدى أسهمت عملية الكارست، والعمليات المرتبطة بها مثل التقويض وتساقط الكتل، فى تشكيل الأودية الصحراوية فى أراضي الحجر الجيري وتحديدا وادى بير العين. للإجابة عن هذا التساؤل لابد من توضيح الفارق بين الأودية العادية المتكونة بفعل الجريان السطحى للمياه (التدفق الهورتونى)، وتلك المتكونه بفعل الكارست.



شكل (١٣) : قطاع توضيحى لمظاهر الكارست ومستويات التعرية على قاع وادى بير العين والأجزاء الدنيا من جوانبه.

ظلت عملية تفسير نشأة الجريان السطحى للمياه وتكون الأودية العادية أمرا مطروحا للنقاش لوقت طويل إلى أن وضع Horton (1945) نظريته عن الجريان المائي التى تنص بشكل عام على

"أن الجريان السطحى للماء ينشأ عندما تتجاوز كمية التساقط طاقة تسرب السطح" إن هذه النظرية على الرغم من بساطتها إلا أنها توجز الفارق بين الأودية العادية وأودية الكارست، بمعنى آخر ماذا يحدث لو تجاوزت طاقة التسرب كمية التساقط؟ ومتى يحدث ذلك؟، هنا يكمن الفارق الرئيسي بين الأودية العادية وأودية الكارست، ففى حالة أودية الكارست يتحول أغلب الجريان السطحى إلى تدفق باطني، ويساعد فى تحول نمط التصريف السطحى إلى تصريف باطني النفاذية العالية للحجر الجيري، وغناه بالفواصل والشقوق (أشرف أبوالفتوح، ٢٠٠٧). بالرغم من الدور المهم للعوامل السابقة فى تحول التصريف من تصريف سطحى إلى جوفى، إلا إن هناك واحدة من أهم المظاهر التى تزيد بقوة من هذا التأثير هو ظهور بالوعات الإذابة، سواء على السطح أو داخل المجارى الجوفية، ويصل التأثير أقصاه مع التحام هذه البالوعات، وقد يتبع ذلك انهيار أسقف الكهوف والمجارى الجوفية. الجدير بالذكر أن المياه التى تغوص فى أنظمة تصريف الكارست، أى أودية الكارست، يمكن أن تعود وتجرى على السطح مرة ثانية وذلك فى حالة امتلاء الخزان الجوفى وعدم قدرته على استيعاب أى كميات إضافية من المياه، لهذا يفيض الماء مرة ثانية فى شكل جريان سطحي لفترة محدودة، وعادة ما يتخلف عن ذلك بحيرات كارست أو برك. إن التطور السابق لأودية الكارست سوف يتأثر من حيث الدرجة والاستمرارية والانتشار تبعا لدرجة اختلاف العناصر المناخية من مكان لآخر، هذا فضلا عن النتائج المترتبة على الظروف المناخية، لاسيما فيما يتعلق بالنبات الطبيعى ومدى انتشار الطحالب وغطاء التربة، حيث تسهم هذه الظروف فى زيادة مقدار ثانى أكسيد الكربون المنبعث الذى يعد أهم العوامل المتحكمة فى عملية الإذابة.

على الرغم من سيادة الجفاف أغلب أيام السنة فى منطقة الدراسة، إلا أن حدوث السيول وما ينتج عنها من كميات مياه وفيرة، وبالتالى تأثيرات لها اعتبارها، قد يلقى بعضا من الضوء على عملية الكارست التى لا تزال تعمل فى ظل الظروف المناخية الحالية، كما تلقى الضوء على الطريقة التى أثرت بها عملية الكارست فى نشأة وتشكيل وادى بير العين قديما، وبالإضافة إلى ما سبق فإن وجود مظاهر الكارست الموروثة التى ترجع إلى تلك الفترات الرطبة مثل رواسب الطوفا والينابيع الجافة وغيرها من مظاهر، سوف تستخدم هى الأخرى فى التعرف على دور الكارست فى تشكيل وادى بير العين.

فعندما تسقط الأمطار لاسيما أثناء فترات السيول، كما حدث فى مارس ٢٠١٤، تجرى المياه إلى روافد وادى بير العين ومنها إلى الوادى الرئيسي، إلا أنه مع غنى الحجر الجيري بالفواصل والشقوق تبدأ تتسرب المياه من خلالها إلى أسفل السطح، ويحكم هذه العلاقة العديد من العوامل منها كمية الأمطار وعدد الفواصل وأحجامها، وإلى أى مدى اتسعت هذه الفواصل بفعل الإذابة، وانحدار السطح، فضلا عن مدى

وجود بالوعات الإذابة. إن مظاهر السطح الحالية فى روافد وادى بير العين ومجراه الرئيسي، كشقوق الإذابة وبالوعات الإذابة وآبار الكارست وأوعية الإذابة، وكلها تعد مدخلات مائية لنظام الكارست، تشير إلى أن وادى بير العين قد شهد هذه المرحلة ويشهدها فى ظل فترات السيول الحالية.

يؤدى استمرار نشاط عملية الإذابة السطحية وتحت السطحية إلى اتساع بالوعات الإذابة على حساب الأجزاء الفاصلة بينها إلى أن تتصل مع بعضها. ينشأ عن عملية اتصال بالوعات الإذابة واتساع شقوق الإذابة نشأة المظهر المميزة لقاع وادى بير العين وهو المجارى الجوفية، فقد تم رصد هذا الارتباط بين بالوعات الإذابة من ناحية ونشأة عدد من المجاري الجوفية التى تم دراستها من ناحية أخرى، وتجدر الإشارة إلى أن تثنى القطاع السفلي من جوانب هذه المجارى يمكن إرجاعه فى بعض الأجزاء إلى اتصال بالوعات الإذابة المكونة لهذه المجارى، والواقع أن هذه المجارى تمثل فى حقيقة الأمر كهفا أو جزءا من نظام كهفى محدود الامتداد أسفل السطح. تظل هذه المجاري مختفية تحت السطح، باستثناء البالوعات أو الشقوق التى تعد نافذتها على السطح، إلى أن يحدث انهيار لأسقف هذه المجاري لاسيما بفعل التقويض السفلي وتنفتح على السطح عبر قاع مجرى وادى بير العين الرئيسي. مع اتساع مجارى وممرات الإذابة من ناحية، ونشأة المجاري الجوفية وانهيارها من ناحية أخرى، تزداد قدرة السطح على ابتلاع المياه تباعا ويتحول التصريف إلى أسفل السطح، ويتحكم فى هذه العملية مدى قدرة الخزان الجوفى على استيعاب المياه المتدفقة إليه، فمجرد إمتلاءه يتحول أغلب الجريان إلى السطح مرة ثانية لتجرى على القاع وتتجه نحو مصب وادى بير العين، وهو ما يمكن رؤيته بوضوح فى منسوب البحيرة المتكونة أمام السد الذى أنشأ عند مصب الوادى لحماية السهل الفيضي من خطر السيول.

إن وجود ثلاثة مستويات مختلفة لبالوعات الإذابة فى وادى بير العين، الأول توجد بقاياه على المنحدرات السفلي لجانب الوادى، والثانى على قاع وادى بير العين الحالي، والثالث على قاع المجارى الجوفية (شكل ٦ وشكل ١٣)، يشير إلى دور هذه البالوعات وبالتالي دور عملية الإذابة فى تشكيل وادى بير العين، حيث أسهمت بشكل رئيسي فى تخفيض قاع وادى بير العين من خلال مراحل تطورية متتالية، آخر هذه المراحل يتمثل فى البالوعات الموجودة فى قيعان المجارى الجوفية أسفل القاع الرئيسي الحالى لوادى بير العين. مع استمرار الإذابة والعمليات المرتبطة بها، تتسع المجارى الجوفية هى الأخرى وتصبح جزءا من قاع الوادى الرئيسي، لهذا فإن تعميق وادى بير العين يرجح رجوعه إلى نشأة وتطور بالوعات الإذابة والمجارى الجوفية. وتجدر الإشارة إلى أن تعميق وادى بير العين من خلال عملية الإذابة وما نتج عنها من انهيارات قد يفسر شكله الخانقي وسبب هجرة ينابيع الكارست من مستويات عليا إلى مستويات أدنى فى وادى بير العين.

إن وجود عدة مستويات لحزوز التقويض الناتجة عن فجوات الإذابة على جوانب المجارى الجوفية والبالوعات الموجودة بها، وإرتباط المستوى الأدنى بالسيول الحديثة فى ظل الظروف المناخية الحالية، وإرتباط المستوي العلوى بمستويات أقدم للمياه، قد يدل على تدرج زيادة استيعاب الخزان الجوفي للمياه كنتيجة لاتساع ممرات المياه وسرعة وزيادة تصريف المياه المارة خلالها نحو الخزان الجوفي، أى أن المتحكم فى مدى قدرة المجاري والبالوعات على استيعاب المياه ونشأة حزوز التقويض على جوانب المجارى الجوفية هو تزايدة قدرة استيعاب الخزان الجوفي للمياه بفعل اتساع شقوق الإذابة والبالوعات. من ناحية أخرى فإن اختلاف عدد حزوز الاذابة فى المجارى والبالوعات يرجح أنها نشأت منفصلة أولا ثم اتصلت.

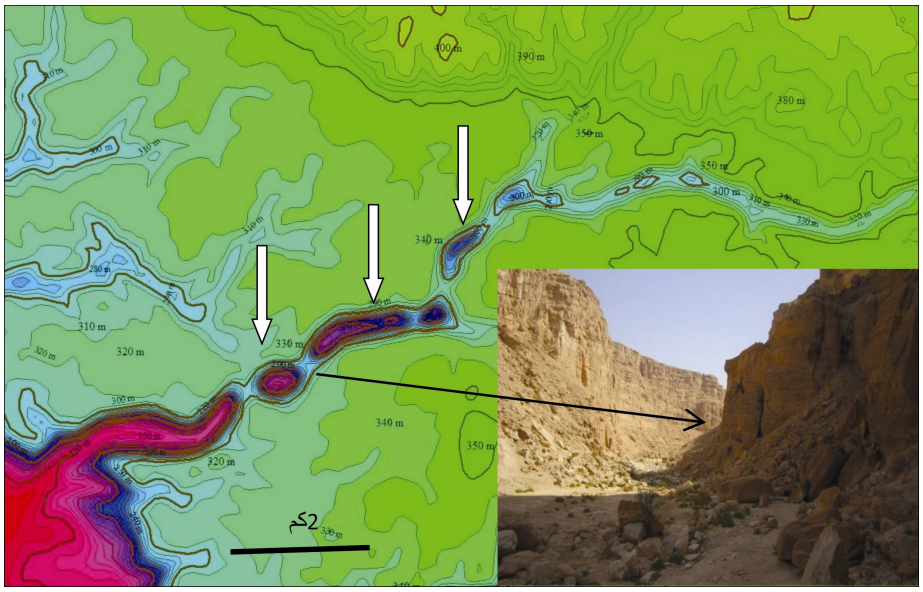
تجدر الإشارة إلى أن نشاط عملية الكارست وما يترتب عليها من مظاهر لا يتوقف على كمية المطر وخصائصها وسمات السطح من مظاهر وتكوينات جيولوجية، إنما الأثر الأكبر قد يتعدى ذلك متمثلا فى البيئة الحيوية التى قد تنتج عن التساقط المطري، فقد رصد إزدهار فى الحياه النباتية ونشاط واضح للطحالب الخضراء وانتشارها بعد سقوط الأمطار، والجدير بالذكر أن غاز ثانى أكسيد الكربون المتحكم الرئيسي فى مدى نشاط عملية الإذابة يتصاعد بكميات مضاعفة فى ظل توافر النبات والطحالب الخضراء، الأمر الذى يزيد من نشاط عملية الإذابة بمعدلات تفوق تأثير ماء المطر المذاب فيه ثانى أكسيد الكربون الجوى كما سبق الإشارة، وقد نتج عن ذلك بعض أشكال الإذابة الحديثة صغيرة الحجم (الكارن)، هذا الأثر قد يمتد فى ظل الظروف المناخية الحالية لعدة شهور بل وإلى موسم المطر التالي فى حال حدوثه، ومن المرجح أن كثافة الغطاء النباتى ونشاط الطحالب الخضراء قد اتسم بالانتشار الواسع والتأثير القوى وبالإستمرارية فى ظل الفترات المطيرة لا سيما خلال الزمن الرابع، وهو الأمر الذى يظهر من خلال أحجام سيقان النباتات المتحجرة فى تكوينات الطوفا الموجودة فى وادى بير العين، كما يشير اختلاط الطوفا مع رواسب الحصى إلى وجود فترة جريان سطحى قوى للمياه أسهم فى نقل هذه الرواسب، وفترة نشاط ينبوعى نتج عنها طوفه اختلطت مع رواسب الأودية.

يشير الانتشار الواضح لرواسب الطوفا إلى الدور الرئيسي لعملية الإذابة فى تشكيل وادى بير العين، كما يشير إلى دور ينابيع الكارست فى تكوينها قديما، وهو ما يتضح من حجم الينابيع الجافة التى تم التعرف عليها بامتداد الوادى. من ناحية أخرى فإن وجود الطوفا يشير إلى نشاط عملية الإذابة ونشاط ترسيب كربونات الكالسيوم، ورغم وجود ينابيع متدفقة حاليا نتج عنها بعض مظاهر الكارست، إلا أن الظروف المناخية والجيومورفولوجية الحالية لم تمكنها من تكوين رواسب الطوفا كما

كان قديما أثناء الفترات المطيرة نظرا لاختلاف الظروف البيئية ودرجتها، ويمكن التعرف على بعض من الفارق بين دور العيون الحالية والعيون القديمة من أحجام فتحاتها التى قد تتعدى المتر فى الحالة الثانية. من ناحية أخري يشير تداخل رواسب الطوفا مع رواسب الوادى إلى جريان مائي سطحى (جريان عادى) تداخل معه نشاط إذابة.

من ناحية أخري فإن عدم انتشار رواسب الأودية الفيضية فى وادى بير العين بالشكل الذى يتناسب مع حجمه يمكن إرجاعه إلى أن العملية الرئيسية التى أثرت فى نشأته وتطوره هى الإذابة بالدرجة الأولى وليس التعرية المائية، والنتيجة الأخيرة يمكن أن تفسر ما توصلت إليه دراسة "كريم مصلح صالح" (٢٠٠٣) عن السبب فى الوضع المعكوس فى العلاقة بين مساحة المراوح الفيضية للأودية ومساحة أحواضها، فبالرغم إن وادى بير العين أكبر الأحواض التى تم دراستها شرق سوهاج، إلا أن نسبة مساحة مروحته الفيضية إلى حوضه كانت الأقل على الإطلاق، وعلى الرغم من وجود عوامل عديدة محتمله يمكن أن تسبب هذا الوضع، إلا أن الدراسة الحالية فى ضوء الملاحظات الحقلية ترجح دور عملية الإذابة فى قلة الرواسب الفيضية وانخفاض نسبة مساحة المراوح الفيضية إلى مساحة حوضها فى وادى بير العين. قد يؤكد النتيجة السابقة شيوع كربونات الكالسيوم فى رواسب المراوح الفيضية، وشيوع معدن الكالسيت (كريم مصلح صالح، ٢٠٠٣). من ناحية أخرى فإن ما وجد من رواسب كان قوامها الحصى ترجع فى الأساس إلى الصوان الناتج عن عملية الإذابة فى تكوين قصب الغنى به، أى أن المرجح أن هذا الحصي قد نشأ كمواد متبقية على قاع وادى بير العين بفعل الإذابة ثم تم نقله بالمياه بعد ذلك، وقد يؤكد ذلك غياب أى طباقية فى رواسب الوادى وغياب أي توجيه للحصي.

على المستوى الأكبر فإن أغلب القطاع الطولى لوادى بير العين يرجح نشأته كقطاعات منفصلة فى شكل منخفضات كارستية كبيرة نشأت بامتداد خطوط صدوع رئيسية تحكمت فى شكل القطاع الطولى الزجزاجى، وفى مرحلة تالية من التطور اتصلت وانفتحت هذه المنخفضات على بعضها مكونة وادى بير العين، وقد تم التعرف على مواقع انفتاح مثل هذه المنخفضات، أو البالوعات ميدانيا، حيث يضيق عندها مجرى وادى بير العين، كما إن بقايا الأجزاء الفاصلة بينها لا تزال موجودة بدرجات مختلفة بامتداد الوادى، يرجح ما سبق تكون بعض الروافد بذات الطريقة وهى التحام عدة بالوعات وهو ما تم رصده أثناء الدراسة. كما تشير حزوز التقويض داخل الروافد إلى أنه قد نشأت منعزلة بدرجة أو بأخرى عن الوادى الرئيسي ثم اتصلت به كما فى المجرى الجوفى رقم ١، ويوضح شكل (١٤) احتمالية نشأة وادى بير العين من خلال ديناميكية الالتحام بين منخفضات وبالوعات الإذابة.



شكل (١٤) : المجرى الرئيسي لوادى بير العين واحتمالية نشأته كقطاعات فى منخفضات منفصلة حدث اتصال بينها لتكون مجرى الوادى، الأسهم البيضاء تشير إلى مواقع المنخفضات التى اتصلت، والصورة تشير إلى بقايا أحد المرتفعات البينية التى كانت تفصل بين المنخفضات.

وتجدر الإشارة إلى أن تأثير الكارست، والعمليات المرتبطة به، فى نشأة الأودية قد تم تناوله فى بعض الدراسات (Lou, et al.; 1997, Sandford; 1928; Bennett, 1908; أشرف أبوالفتوح، ٢٠٠٧؛ Hill, 2008). وعموما يمكن تقسيم نشأة وادى بير العين وتطوره إلى ثلاث مراحل رئيسية: الأولى مرحلة ما قبل ترسيب الطوفا: وهى المرحلة التى تكون فيها أغلب خانق وادى بير العين، ومن المرجح أنها قد تمت منذ نهاية الميوسين نتيجة نشأة الخانق الايونيلي (كإستجابة للأزمة الميسينية) حتى عصر البليستوسين، وقد نشط فيها الجريان المائي فى المراحل الأولى، ثم سادت التعرية الكارستية فى أغلب فتراتها بعد ذلك. والمرحلة الثانية مرحلة ترسيب الطوفا ونشاط ينبوعى وإذابة: وفيها غطت الطوفا أجزاء من جوانب وادى بير العين أحيانا، واختلطت مع رواسب الوادى الموجودة على القاع فى أحيان أخرى، ومن المرجح أن نشأة رواسب الطوفا كان خلال عصر الهولوسين (أوائل الهولوسين أو أوسطه). أما المرحلة الثالثة فهى مرحلة ما بعد ترسيب الطوفا: وقد شهدت هذه المرحلة العملية الأخيرة من تشكيل قاع وادى بير العين وجوانبه، حيث تميزت بنشاط كارستى ظهر فى نشأة بالوعات إذابة قطع بعضها رواسب الطوفا والصخر الأصلي الجيري المكون لجوانب الوادى بعمق ٤

أمتار، كما إن جوانب الوادى تراجعت بمقدار ٢ متر منذ ترسب الطوفا. وفى مرحلة أحدث نشأ الجيل الأخير من بالوعات الإذابة والمجاري الجوفية فى القاع الرئيسي لوادى بير العين، ثم تلى ذلك انهيار أسقف هذه المجارى الجوفية وامتلاء قاع الوادى بالكتل المنهارة كملمح رئيسي يميز وادى بير العين، وحاليا يقتصر نشاط الكارست على فترات ما بعد السيول.

نستنتج مما سبق أن عملية الكارست والعمليات المرتبطة بها قد أثرت بشكل واضح فى نشأة وتشكيل وادى بير العين قديما أثناء الفترات المطيرة، وحديثا بفعل السيول، وقد انعكس ذلك فى العديد من أشكال الكارست النموذجية، ورواسب ذات دلالة مهمة على دور الإذابة مثل الطوفا. وعلى هذا فإنه يجب إعادة النظر فى الرأى السائد الذى مفاداه أن شبكات الأودية فى مناطق الحجر الجيري فى مصر هى نتاج للجريان السطحي للمياه فقط، كما إن الإعتقاد بأنها قد نشأت وتشكلت أثناء الفترات المطيرة فيه تقليل من دور السيول وما ينتج عنها من بيئة حيوية بفعل النباتات والطحالب. من ناحية أخرى فإن الإعتماد على التحليل النظرى (المورفومترى) لشبكات التصريف للتعرف على مدى خطورة أوديتها قد يشوبه بعض جوانب القصور فى مناطق الحجر الجيري، فمثل هذه التحليلات لم تأخذ فى اعتبارها الشق الآخر لتصريف المياه من خلال شبكات تصريف لا يستهان بها، مثل المجارى الجوفية وبالوعات الإذابة وشقوق الإذابة. وبوجه عام فإن البحث الحالي ما هو إلا بداية لإلقاء الضوء على دور الكارست فى نشأة الأودية الصحراوية وتشكيلها، والحاجة إلى المزيد من الدراسات المستقبلية.

المراجـع

أولاً : قائمة المراجع العربية.

١. أشرف أبوالفتوح مصطفى (٢٠٠٧)، جيومورفولوجية أشكال الكارست فى منخفض الفرافرة، الصحراء الغربية، مصر. رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

٢. جودة حسنين جودة (١٩٨١)، العصر الجليدى وعصور المطر فى صحارى العالم الاسلامي، الطبعة الثانية، دار النهضة العربية للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت.

٣. جودة حسنين جودة (٢٠٠٧)، الجغرافيا الطبيعية للزمن الرابع، زمن الجليد والمطر مع التطبيق على أراضي العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية.

٤. كريم مصلح صالح (٢٠٠٣)، المراوح الفيضية على الجانب الشرقي لوادى النيل (جنوب شرق سوهاج). المجلة الجغرافية العربية، عدد ٤٢، ج. ٢، الجمعية الجغرافية المصرية، ص ص ٢٩٥-٣٥٨.

ثانياً : المراجع الأجنبية.

1. Abdelkireem, H. H., 1972, Geology of the area east of the Nile Valley between Sohag and Girga, M.Sc. thesis, Dept. of Geology, University of Assiut, A. R. E., 126 P.
2. Abdel Moneim, A., 1988, Hydrogeology of the Nile Basin in Sohag Province. M.Sc.Thesis. Geology dept. Faculty of Science, Sohag. 150 p.
3. Abdel Moneim A. & S. Fahim (1994). Hydrogeology and Hydrogeochemistry of the Wadi Bir El Ain, Northeast of the Sohag City, Egypt. Jour. of Sohag Pure and Applied Sciences. Vol. 10, pp. 319-330.
4. Abdel-Moneim, A., 2004, Assessment of groundwater resource and its future impact from the industrial development in El-Kawther area, Sohag, Upper Egypt, Egyptian Journal of Geology, Vol.48, pp. 77-99.
5. Abdel-Rahman, M., & F. El-Baz, 1979, Deposition of a probable ancestral delta of the Nile River.-in: El-Baz, F. & D. Warner (eds.) Appolo-Soyuz Test Project, Vol. II, Earth Observations and Photography, NASA, Washington DC. pp. 511-520.
6. Ball, J., 1939, Contribution to the geography of Egypt. Survey & Mines Department, Government Press, Cairo, 308 p.
7. Bennett, F. J., 1908, Formation of valleys in porous strata, Geographical Journal, No. 3, September, pp. 277-288.

8. Bögli, A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology. Springer-Verlag. Berlin, West Germany. 284 p.
9. Butzer, K., 1959, Environmental and human ecology in Egypt during predynastic and early dynastic times. Bull. Soc. Géogr. d'Egypte, T. 32, pp. 43-88.
10. Dominguez-Villar, D., J. A. Vazquez-Navarro, H. Cheng, & R. L. Edwards, 2011, Freshwater tufa record from Spain supports evidence for the past interglacial being wetter than the Holocene in the Mediterranean region. Global and Planetary Chang, Vol. 77, pp. 129-141.
11. El-Baz, F.,C.A. Robinson, T. A. Mxwell & I. H. Hemida, 1998, Palao-chaneels of the Great Selima Sand Sheet in the Eastern Sahara and implications to ground water, Palaoecology of Africa, Vol. 26, pp.
12. EL-Gamily, M. M., 1975, Hydrogeology of wadi Bir EL-Ain, Eastern Desert, A.R.E. Bull. Fac. Sci., Assiut, Egypt, Vol. 4, No. 1, pp. 51-71.
13. Embabi, N., 2004, The geomorphology of Egypt: Landforms and Evolution, Vol. 1, The Nile Valley and the Western Desert. The Egyptian Geographical Society, Cairo, 447 p.
14. 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. 214 p.
15. Ford, D. C. & P.W. Williams, 1989, karst geomorphology and hydrology, Unwin Hyman, London, 601 p.
16. Ford, T. D. & H. M., Pedley, 1996, A review of tufa travertine deposits of the world, Earth-Science Review, Vol. 41, pp. 117-175.
17. Hill, C., N. Eberz, & R. Buecher, 2008, A Karst Connection model for Grand Canyon, Arizona, USA, Geomorphology, Vol. 95, pp. 316-334.
18. Horton, R. H., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. of the Geological Society of America, Vol. 56, pp. 275-370.
19. Issawi, B., 1983, Ancient Rivers of the Eastern Egyptian Desert of Egypt. Ann. Geol. Survey of Egypt, Vol. 9, pp. 56-66.
20. Issawi, B., & J. McCauley, 1993, The Cenozoic Landscape of Egypt and its River System. Annals Geol. Survey Egypt, Vol. 19, pp. 357-384.
21. Luo, W., R. E. Arvidson, M. Sultan, R. Becker, M. K. Crombie, N. Sturchio & Z. EL Alfy, 1997, Ground- water sapping processes, Western Desert, Egypt. Geological Society of America Bull. Vol. 109, pp. 43-62.
22. Meinzer, C. E., 1932, Outline of ground water hydrology, U. S. G. S., Water Supply Paper Vol. 949, 71 p.
23. Mostafa, A. A., 2013, Paleokarst Shafts in the Western Desert of Egypt: A unique landscape. ACTA CARSOLOGICA, Vol. 42, pp. 49-60.
24. Omara, S. M., M.R. El-Tahlawi, & H. H. Abdel Kireem, 1973, Geological mapping of the area east of the Nile Valley between Sohage and Girga, abstract in 11th Annual Meeting, Geological Society of Egypt, pp. 31-32.
25. Said, R., 1962, Geology of Egypt, Elsevier Publishing Co. Amesterdam-New York, 377 p.

26. Said, R., 1983a, Proposed classification of the Quaternary of Egypt. J. African Earth Sciences, Vol. 1, pp. 41-45.
27. Said, R., 1983b, Remarks on the origin of the landscape of the eastern Sahara. J. African Earth Sciences, Vol.1, pp. 153-158.
28. Salem, R., 1976, Evolution of Eocene-Miocene sedimentation pattern in parts of Northern Egypt. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., Vol. 60, pp. 34-64.
29. Sandford, K. S., 1928, The Wadi Um Dud in The Eastern Desert of Egypt. Geographical Journal, Vol. Lxxii, July to December, pp. 144-158.
30. Sweeting, M.M., 1972, Karst Landforms. Macmillan, London, 362 p.
31. Trudgill, S., 1985, Limestone geomorphology. Longman, London, 196 p.
32. Waugh, D., 2002, Geography an integrated approach, Nelson Thornes, Cheltenham, UK, 656 P.

Karst and its Role in Forming of Wadi Bir El-Ain in El-Maaza Plateau East Sohag, Egypt

ABSTRACT

Interpretation of the origin of the hot desert landforms, such as the Egyptian desert, has been changed with the development of the geomorphological thought. It was common that wind erosion and isolation weathering are the main controlled processes in forming the desert landforms. Then, it was discovered that the Egyptian deserts have experienced several wet periods before mid-Holocene. Since then, increasing importance has been induced to studying water erosion action in the Egyptian deserts. For this reason, the study of wadis has attracted the attention of many geomorphological studies during the last three decades. Almost all the previous studies of the wadis in the Egyptian deserts have attributed it to the running water only.

The present study provides some evidences of karstification, and its role in originating and evolution of Wadi Bir El-Ain (WBA) as a case study in limestone areas of the hot desert.

Several karst features have been evidenced in WBA, such as subsurface streams, sinkholes, karst pools, canyons, active and inactive springs, tufa, and karst residues. The present study suggests that karst processes played its role by two methods; the first is by forming of subsurface streams which have been collapsed in a later stage. This process led to deepening Wadi's bottom and its tributaries. The second is coalescence of the sinkholes and karst depression along the longitudinal sector of the WBA and its tributaries; As a result, there was connection between these sinkholes and depressions forming the Wadi's course.

Key Wards: dry valleys, karst, underground streams, melting sinks