



## تأثير مظاهر الكارست على الجريان السطحي في وادي بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج - مصر

أشرف أبو الفتوح مصطفى \*

معوض بدوي معوض بدوي \*\*

\*أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد - قسم الجغرافيا والخرائط- كلية الآداب - جامعة السويس  
\*\*أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد- قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية- كلية الآداب - جامعة عين شمس

### المستخلص:

جرت العادة بين الدراسات التي تناولت الأودية الجافة بالهضاب الجيرية في الصحراء الشرقية أن التعرية المائية السطحية تعد المتحكم الرئيسي في نشأة وتشكيل مثل هذه الأودية. إلا أن انتشار مظاهر الكارست بشكل نموذجي مثل الكهوف وبالوعات الإذابة والمجاري الجوفية المنهارة وأوعية الإذابة والينابيع والخوانق وبرك الكارست والطوفا والتربة الحمراء ، داخل أحواض هذه الأودية مثل وادي بير العين قد جعل الدراسة الحالية تتساءل إلى أي مدى تؤثر مظاهر الكارست الموجودة داخل المجرى الرئيسي لوادي بير العين وروافده على طبيعة الجريان السطحي.

واعتمدت الدراسة على منهج النظام القائم على وجود مدخلات تتمثل في كمية المطر التي يمكن أن يتلقاها حوض وادي بير العين خلال أحد العواصف المطرية، وبالتحديد العاصفة المطرية التي حدثت في يومي ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤، أما المخرجات فقد تمثلت في صافي محصلة الجريان السطحي. ويعد الفارق بين المدخلات (كمية المطر) والمخرجات (صافي الجريان) هو نتاج ما تم من عمليات داخل حوض الوادي أثناء انتقال المياه من المنبع إلى المصب، وقد تمثلت هذه العمليات في التسرب والتبخر- نتح والابتلاع، والتي تمثل في مجملها محصلة الفوائد المائية. تم تقدير مقدار الابتلاع والذي يعد المؤشر الأهم على التصريف الجوفي لنظام الكارست، من خلال معلومية التسرب وحساب التبخر- نتح، هذا فضلا عن معلومية كمية المطر الساقطة على الحوض، ومحصلة صافي الجريان.

استنتجت الدراسة أن ٨٦.٤١ ٪ من إجمالي المياه التي سقطت على حوض وادي بير العين في ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ قد تم ابتلاعها بفعل مظاهر الكارست المميزة مثل بالوعات الإذابة والشقوق والمجاري الجوفية. ويشير ذلك إلى ضرورة إعادة النظر في دراسة طبيعة الجريان السطحي داخل أحواض الأودية أثناء العواصف المطرية في أراضي الحجر الجيري.

**الكلمات المفتاحية:** وادي بير العين، هضبة المعازة، الصحراء الشرقية، مظاهر الكارست، الميزانية المائي

## المقدمة

تشغل الصخور الجيرية مساحة كبيرة على خريطة مصر الجيولوجية تقدر بحوالي ٣٤%\* من مساحة مصر، وقد أدى امتداد هذه الصخور في شكل هضاب متسعة، فضلاً عن تعرضها لفترات مطيرة في عصور سابقة، ولمياه السيول في الوقت الحالي إلى نشأة العديد من مظاهر الكارست بهذه الهضاب (محمد صفى الدين أبو العز ١٩٧٧، Hume, Embabi, ٢٠١٨; Embabi, ٢٠٠٤; Embabi, ١٩٢٥). وتعد هضبة المعازة أكبر هذه الهضاب الجيرية بالصحراء الشرقية في مصر، حيث تمتد لمساحة ٥٦,٧٦٠ كم<sup>٢</sup>\* فيما بين وادي قنا جنوباً وشرقاً حتى منطقة المقطم شمالاً ووادي النيل غرباً.

وينحدر من هضبة المعازة العديد من الأودية التي تتجه غرباً باتجاه وادي النيل، مثل وادي قصب ووادي الشيخ ووادي الأسيوطي ووادي الإبراهيمي ووادي طرفه ووادي سنور، ويعد وادي بير العين واحداً من أكبر الأودية الواقعة إلى الشرق من مدينة سوهاج، والذي يتسم بالعديد من مظاهر الكارست المميزة مثل الكهوف وبالوعات وأوعية الإذابة والمجاري الجوفية ويناابيع وبرك الكارست وخوانق الأودية، هذا فضلاً عن العديد من رواسب ومتبقيات عمليات الكارست residual karst مثل الطوفا والتربة الحمراء وحقول الحصى وعقد البطيخ.

وقد جرت العادة بين الدراسات التي تناولت مثل هذه الأودية في الأراضي الجافة أنها قد نشأت بفعل الجريان السطحي للمياه أثناء الفترات المطيرة (Salem, ١٩٧٦; Issawi, ١٩٨٣; Said, ١٩٨٣; Issawi, & McCauley, ١٩٩٣; EL-Baz et al., ١٩٩٨). إلا أن انتشار مظاهر الكارست بشكل نموذجي داخل بعض هذه الأودية مثل وادي بير العين، واختلاف شكلها عن الشكل المعتاد لأودية الجريان السطحي المألوفة قد دعي للتساؤل عن مدى أثر عملية الإذابة في نشأة مثل هذه الأودية وتطورها، وقم تم مناقشة ذلك في دراسة سابقة عن وادي بير العين (أشرف أبو الفتوح، ٢٠١٧)، حيث خلصت هذه الدراسة إلى أن تأثير الكارست في نشأة الأودية يتلخص في عمليتين: الأولى تتمثل في نشأة مجاري جوفية بقيعان الأودية والروافد، يتبع ذلك انهيار أسقفها وهو ما تترتب عليه تعميق هذه الأودية رأسياً. أما العملية الثانية فتتمثل في نشأة منخفضات وبالوعات إذابة، أدى ازدياد اتساعها إلى اتصالها ومن ثم اتصال بعض الروافد وأجزاء من المجرى الرئيسي في أشكال غير معتادة لهذه الأودية.

وتتساءل دراستنا الحالية عن مدى تأثير مظاهر\* الكارست الحالية في طبيعة الجريان السطحي في أحواض الأودية، بمعنى آخر هل يمكن أن تؤدي مظاهر الكارست، بما تتسم به من تصريف المياه إلى تحت السطح عبر الشقوق وبالوعات والمجاري الجوفية، إلى التأثير على طبيعة الجريان السطحي المعتاد للأودية والمتمثل في تحول أغلب المياه من أحواضها إلى مصباتها. فصفة ابتلاع المياه water swallowing تتميز بشكل رئيسي أراضي الكارست التي تتسم بالتصريف الجوفي حيث تتحول أغلب مياهها إلى أسفل السطح.

تفترض الدراسة الحالية أن مياه الأمطار والسيول التي تسقط على وادي بير العين تفقد جزءاً كبيراً من مياهها أثناء عملية الجريان السطحي، هذا الجزء المفقود من المتوقع أن يتم ابتلاعه من خلال بالوعات الإذابة والشقوق والمجاري الجوفية التي رصدت في قاع روافد ومجرى وادي بير العين، أي أن كمية كبيرة من المياه قد تحولت من تصريف سطحي إلى تصريف جوفي أثناء عملية الجريان من المنابع حتى وصولها إلى المصب. لهذا اعتمدت الدراسة الحالية على منهج النظام، حيث تعاملت مع حوض وادي بير العين كنظام بيئي مائي له مدخلاته المائية المتمثلة في مياه الأمطار، يتبع ذلك مجموعة من العمليات الداخلية بحوض الوادي والمتمثلة في عمليات التسرب والابتلاع والتبخر-نتح، وذلك كفوائد للمدخلات المائية للحوض، وفي النهاية تكون محصلة الجريان السطحي التي تمثل مخرجات النظام.

وقد أتاحت المرئيات الفضائية وسيلة مناسبة لتقدير كمية المطر التي سقطت على حوض وادي بير العين وذلك أثناء أحد العواصف المطرية التي سقطت بالمنطقة في يومي ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤. وقد تم الاستفادة من وجود سد أمام مصب الوادي، لحجز مياه السيول، في حساب صافي محصلة الجريان السطحي التي تمثل مخرجات النظام، أما حساب التسرب والتبخر-نتح فقد تم حسابهما بواسطة بعض المعادلات والنماذج المستخدمة في هذا الصدد، بالإضافة إلى القياس الميداني المباشر. وفيما يتعلق بمقدار ما تم ابتلاعه والذي يمثل الجانب الأهم كمؤشر على التصريف الجوفي وبالتالي نشاط الكارست فقد تم حسابه بمعلومية أطراف المعادلة البسيطة التي تتص على أن المدخلات المائية تساوى مقدار الفوائد المائية (التسرب والابتلاع والتبخر-نتح) مضافاً إليه صافي الجريان السطحي للمياه.

تعد الدراسة الحالية هي الأولى التي تهتم بدراسة تأثير مظاهر الكارست على الجريان السطحي للمياه داخل أودية الحجر الجيري في الصحاري الحارة. حيث أن معظم الدراسات التي تناولت هذا الموضوع تم تطبيقها على الأقاليم المعتدلة والباردة، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر، Markova ١٩٦٥; Bonacci ١٩٩٩; Katz et al., ٢٠١١; Zhang et al. ٢٠١٤; Simons et al. ٢٠٠٩; Chang-tong et al. ٢٠١١; Zhang et al. ٢٠١٤.

ويهدف هذا البحث إلى معرفة إلى أي مدى يؤدي انتشار مظاهر الكارست داخل أحواض أودية الصخور الجيرية إلى تحول تصريف المياه إلى تحت السطح (أي ابتلاع المياه)، وبالتالي التأثير على الجريان السطحي داخل هذه الأودية. فمن المعروف أن أراضي الكارست هي تلك الأراضي التي ينشأ بها العديد من المظاهر الناتجة بفعل عملية الإذابة، أغلب هذه المظاهر عبارة عن ممرات تنتقل خلالها المياه من السطح إلى تحت السطح، لهذا فإنه مع تساقط الأمطار على أراضي الكارست يتحول جزء منها - إن لم يكن أغلبها - إلى تحت السطح. وعند وصول أراضي الكارست إلى مرحلة متقدمة من التطور التي تصاحب اتساع هذه الممرات، تبتلع المياه التي تسقط على أوديتها، وينعكس ذلك سلباً على الجريان المائي، حتى أن بعض تلك الأودية يعرف بالأودية الجافة Dry valleys

نظراً لابتلاع أغلب المياه وقلة ما يجرى منها داخل مجاري الأودية لحد يصل إلى جفاف أجزاء عديدة من قطاعاتها. وللتعرف على مدى تأثير تصريف الكارست على الجريان السطحي تم اتخاذ وادي بير العين بهضبة المعازة الجيرية كدراسة حالة نظراً لانتشار العديد من مظاهر الكارست النموذجية بداخله (أشرف أبو الفتوح مصطفى، ٢٠١٧)، فضلاً عما يتعرض له الوادي من سيول فجائية بين الحين والآخر، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: سيل ٢٩ و ٣٠ ديسمبر ٢٠١٠، سيل ٤ يناير ٢٠١١، سيل ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤. والواقع أنه لا يوجد سجل متكامل لتاريخ السيول في وادي بير العين نظراً لعدم وجود شبكة رصد في معظم أراضي الصحراء الشرقية بمصر، ومع ذلك فقد أوضحت دراسة (٢٠٠٨) Badawy من خلال تحليل ٢١ سيلاً في الصحراء الشرقية وساحل البحر الأحمر في الفترة من ١٩٢٥-١٩٩٧ أن احتمالية سقوط الأمطار التي تقل عن ١٠ مم تصل ١.٢ سنة، بينما تزداد فترة احتمالية حدوث السيول الشديدة (أكثر من ٧٥ مم مطر) لكل ٣٤ سنة تقريباً.

#### أولاً: البيانات وطريقة الدراسة

**١- الدراسة الميدانية:** أجريت ثلاث دراسات ميدانية لحوض وادي بير العين كانت الأولى بتاريخ ٧ يناير ٢٠١٤، وكانت الدراسة الثانية في الفترة من ٢-٥ أبريل ٢٠١٤ (أي بعد حدوث أمطار مارس ٢٠١٤ بحوالي ٢٤ يوماً)، إذ تعذر القيام بالعمل الميداني قبل هذا الوقت نظراً لإغلاق وقطع الطرق المارة بالوادي بفعل الأمطار. أما الدراسة الثالثة فكانت يوم ١٢ أبريل ٢٠١٥، أي بعد أمطار مارس ٢٠١٤ بنحو عام. وقد تم التعرف خلال هذه الدراسات على طبيعة الجريان والرواسب وتحديد أجزاء المجرى التي تشغلها صخور الحجر الجيري المكشوف، فضلاً عن تحديد ظاهرات الكارست المختلفة بقاع الوادي وإجراء عدة قياسات مورفومترية عليها، كما أمكن تقدير مساحة وحجم بحيرة التخزين لاسيما في الدراسة الثانية بعد السيل مباشرة.

**٢- نماذج الارتفاعات الرقمية:** اعتمدت الدراسة الحالية على نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM الإصدار الثالث بدقة مكانية ٣٠ متراً (صورة رقم N٢٦E٠٣١) الملتقطة بتاريخ ١١ فبراير ٢٠٠٠، وذلك بغرض إظهار الخصائص الطبوغرافية العامة لمنطقة الدراسة، واستخراج شبكة التصريف ومقارنتها بالخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠,٠٠٠. كما أظهر فحص نموذج الارتفاعات الرقمي إلى أي مدى تتأثر محاور واتجاهات خطوط التصريف بالبنية الجيولوجية، خاصة الروافد العليا من الوادي والتي تنحدر مباشرة من سطح الهضبة.

**٣- الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية:** استخدمت الدراسة الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠,٠٠٠ في دراسة مورفولوجية وادي بير العين والتعرف على السمات والخصائص العامة لشبكة التصريف المائي. كما اعتمدت الدراسة على الخريطة الجيولوجية مقياس ١: ٥٠٠,٠٠٠ رقم (NG ٣٦ NW-Asyut) (Klitzsch et al., ١٩٨٧) من إصدار

كونكوكورال - الهيئة المصرية العامة للبتترول، وذلك لدراسة التكوينات الجيولوجية السطحية وخطوط البنية الرئيسية.

**٤- صورة لاندسات:** استخدمت الدراسة صورة القمر الصناعي الأمريكي لاندسات-٨ رقم ١٧٥/٠٤٢ من النوع OLI، والملتقطة في ٣ مارس ٢٠١٨ بعد زيادة دقة الوضوح الأرضي إلى ١٥ متراً كأساس لتصنيف التربة الهيدرولوجية والغطاء الأرضي بواسطة التصنيف المحكم، تمهيداً لاستعمالها في النموذج الخاص بحساب صافي الجريان.

**٥- صور Google Earth Pro:** يوفر برنامج Google Earth Pro صوراً مختلفة الدقة المكانية، وقد اعتمدت الدراسة الحالية على الصور ذات الدقة المكانية العالية من نوع Quick Bird، حيث تصل دقتها المكانية إلى ٦١ سم للخلية. وقد تم تجميعها بواسطة برنامج stitch map وتصديرها مع الاحتفاظ بخصائصها الهندسية بحيث يسهل تكاملها مع بيانات الاستشعار الأخرى. وقد استخدمت هذه الصور في دراسة أبعاد بحيرة التخزين وتحديد المواضع التي تتكشف فيها صخور الحجر الجيري في قاع الوادي، والتخطيط للعمل الحقلية. كما أمكن الحصول على صورة فضائية أرشيفية توضح حدود بحيرة التخزين في سيل ٢٩ و٣٠ ديسمبر ٢٠١٠.

**٦- بيانات الأمطار:** نظراً لغياب محطات الرصد في وادي بير العين فقد اعتمدت الدراسة الحالية على بيانات الأمطار المستخرجة من صور الأقمار المناخية بواسطة النماذج الشبكية العصبية Neural Network Models والمعروفة بمشروع PERSIANN، والذي تم وضعه وتطويره من قبل مركز الأرصاد الجوية الهيدرولوجية والاستشعار عن بعد (CHRS) في جامعة كاليفورنيا. ويوفر النظام تقديرات يومية للأمطار عند درجة حرارة ٠.٢٥ درجة سيليزية بين دائرتي عرض ٦٠ شمالاً وجنوباً خلال الفترة من ١٩٨٣/٠١/٠١ إلى ٢٠١٥/١٢/٣١. ويعتمد هذا النموذج على حساب الأمطار باستخدام بيانات الأشعة تحت الحمراء من نوع GridSat-B1 وتعديلها باستخدام المنتج الشهري لبيانات المناخ العالمية. ويمكن تحميل تلك البيانات مجاناً بدقة مكانية قدرها ٢٨ كم × ٢٨ كم، والتي يمكن تحميلها مجاناً من الموقع التالي: <http://chrsdata.eng.uci.edu/>. واستخدمت الدراسة الحالية لوادي بير العين نوعين من هذه البيانات. النوع الأول PERSIANN-CDR\*، وقد استخدمت هذه الصور في تتبع العاصفة المطرية فوق الأراضي المصرية يومي ٨ و٩ مارس ٢٠١٤. أما النوع الثاني فيعرف باسم PERSIANN-CCS\*\*، وهو منتج عالي الدقة المكانية نسبياً حيث يصل حجم الخلية ٢.٧ كم × ٢.٧ كم، ومن ثم يتيح إمكانية تقدير سقوط الأمطار على مستوى حوض وادي بير العين لكل ٦ ساعات.

**٧- تحليل بيانات الأمطار وتقدير الفوائد ومؤشر فاعلية الكارست:** اعتمدت الدراسة على حساب كمية الأمطار التي تسقط على حوض وادي بير العين، كمدخلات للنظام المائي، ثم تقدير الفوائد التي تتم خلال عمليات النظام داخل الحوض (التسرب عبر المسام، والتبخير -

نتح، وابتلاع المياه من خلال مظاهر الكارست)، ثم تقدير صافي محصلة الجريان النهائي عند مصب الوادي. ويمكن التعبير عن ذلك وفقاً للعلاقة التالية:

$$R = \sum WL + \sum Q \dots eq. 1$$

حيث أن  $R$  المطر،  $\sum WL$  مجموع الفواقد المائية water losses،  $\sum Q$  صافي الجريان. ويتطلب تقدير الفواقد المائية حساب التسرب الطبيعي عبر المسام الصخرية، وحساب التبخر - نتح الكامن أو التبخر في حال عدم تأثير النبات، وأخيراً تقدير ما يتم ابتلاعه من المياه عبر شقوق الإذابة وبالوعات الإذابة والمجاري الجوفية المنهارة. ومن ثم يمكن التعبير عن الفواقد المائية على النحو التالي:

$$WL = \sum I + \sum WS + \sum ET \dots eq. 2$$

حيث أن  $WL$  الفواقد المائية،  $\sum I$  إجمالي التسرب المائي،  $\sum WS$  إجمالي الابتلاع المائي water swallowing بفعل مظاهر الكارست،  $\sum ET$  إجمالي التبخر - نتح. إلا أن الصعوبة الرئيسية في هذه المعادلة تكمن في كيفية تقدير ما يتم ابتلاعه من مياه بفعل تصريف الكارست، وفي ذات الوقت إذا أمكن حساب مقدار الابتلاع نستطيع الحكم إلى أي مدى يمكن أن تؤثر مظاهر الكارست وما تتسم به من تصريف جوفي في التأثير على الجريان السطحي لمثل هذه الأودية، وهو ما يمثل الهدف الرئيسي للبحث الحالي. ويمكن من خلال معادلة (1) ومعادلة (2) صياغة المعادلة التالية للتعرف على مقدار ما يتم ابتلاعه من مياه، وبالتالي التعرف على تأثير تصريف الكارست الجوفي على الجريان السطحي:

$$WS_{vol} = R_{vol} - (Q_{vol} + I_{vol} + ET_{vol}) \dots eq. 3$$

حيث أن  $WS_{vol}$  حجم الابتلاع المائي بفعل مظاهر الكارست ( $م^3$ )،  $R_{vol}$  حجم المطر الساقط ( $م^3$ )،  $Q_{vol}$  حجم الجريان السطحي ( $م^3$ )،  $I_{vol}$  حجم التسرب ( $م^3$ )،  $ET_{vol}$  حجم التبخر - نتح ( $م^3$ ). وسيوضح من خلال هذا البحث طرق حساب كل من حجم المطر الساقط على الحوض، وسبل تقدير حجم التبخر - نتح والتسرب، وكذلك تقدير حجم الجريان السطحي.

وحيث أن كل من الابتلاع والتسرب يمكن من خلالهما تحول المياه من السطح إلى تحت السطح، وبالتالي زيادة التصريف تحت السطحي على حساب الجريان السطحي، لهذا يقترح الباحثان دمجهما في مؤشر واحد يعبر عن مدى تأثير أو فعالية الكارست في الجريان السطحي على النحو التالي:

$$KEI = (WS_{vol} + I_{vol}) / (Q_{vol} + ET_{vol}) \dots eq. 4$$

حيث أن  $KEI$  مؤشر فعالية الكارست Karst Effectiveness Index،  $WS_{vol}$  حجم الابتلاع المائي ( $م^3$ )،  $I_{vol}$  حجم التسرب ( $م^3$ )،  $Q_{vol}$  حجم الجريان ( $م^3$ )،  $ET_{vol}$  حجم التبخر - نتح ( $م^3$ ). ويشير اقتراب ناتج المؤشر من الصفر إلى انخفاض فاعلية وتأثير الكارست على الجريان السطحي، وكلما اقتربت قيمة المؤشر من الواحد الصحيح يشير

ذلك إلى فاعلية متوسطة، وأخيرا تشير القيم التي تزيد عن الواحد الصحيح إلى زيادة فاعلية الكارست وتأثيره على الجريان السطحي.

ولتطبيق المعادلات السابقة للوصول لهدف الدراسة تطلب الأمر حساب كمية الأمطار التي سقطت على حوض وادي بئر العين وخصائصها. ونظرا لغياب محطات الرصد المناخي في وادي بئر العين فقد تم الاعتماد على بيانات بمشروع PERSIANN كما سبق الذكر، وذلك بغرض التعرف على المساحة التي تعرضت بالفعل للأمطار وشدة الأمطار وحجمها من خلال تطبيق بعض المعادلات في هذا الصدد. فبالنسبة لحجم الأمطار أمكن تقديره من خلال ضرب إجمالي كمية الأمطار الساقطة في مساحة الحوض، ويمكن حسابه من صور الأقمار الصناعية على مستوى الخلية من خلال المعادلة التالية (Badawy et al., ٢٠١٦):

$$R_{vol} = (R_{cum}/1000 \text{ mm/m})i_z \dots \text{eq. ٥}$$

حيث أن  $R_{vol}$  حجم المطر ( $m^3$ )،  $R_{cum}$  إجمالي المطر بالمليمترا،  $i_z$  حجم الخلية بالمتر المربع. أما عن شدة المطر  $R_{int}$  فيتم حسابه من خلال فترة المطر في يومي ٨-٩ مارس ٢٠١٤ لكل ٦ ساعات وفقا للمعادلة التالية (٢٠٠٣، Flood Control Section):

$$R_{int} = ٧.٤٤ \times P_7 \times D^{-٠.٦٤٥} \dots \text{eq. ٦}$$

حيث أن  $R_{int}$  شدة المطر،  $P_7$  كمية المطر الساقطة خلال ٦ ساعات،  $D$  فترة العاصفة بالدقائق.

أما عن حساب الفوائد المائية فقد تم حساب التبخر - نتح الكامن في حوض وادي بئر العين، والبحيرة من خلال حساب متوسط ثلاثة طرق، اعتمد إثنان منها على معادلتين نظريتين، الأولى هي طريقة (١٩٥٧) Thornthwaite & Mather والتي تعتمد في حساب التبخر - نتح الكامن على درجة حرارة الهواء وعدد ساعات النهار الشهرية، وذلك على النحو التالي:

$$PET = ١٦(١٠T/I)^a \dots \text{eq. ٧}$$

$$I = \sum_{i=1}^{١٢} i$$

$$i = (T/٥)^{١.٥١٤}$$

حيث أن: PET التبخر - نتح الكامن مم / ٣٠ يوم/ لنهار يبلغ ١٢ ساعة، I معامل درجة الحرارة السنوي heat index ( $m^{\circ}$ )، i معدل درجة الحرارة الشهري ( $m^{\circ}$ )، T المتوسط الشهري لدرجات الحرارة ( $m^{\circ}$ )، a معامل يحسب وفقاً للمعادلة التالية:

$$a = ٠.٠٠٠٠٠٠٠٦٧٥I^3 - ٠.٠٠٠٠٧٧٦٢ + ٠.٠١٧٩٢I + ٠.٤٩٢٣ \dots \text{eq. ٨}$$

أما الطريقة الثانية فقد اعتمدت على معادلة طريقة (١٩٦٢) Blaney & Criddle من خلال المتوسط اليومي لدرجات الحرارة والمتوسط السنوي لنسبة ساعات النهار في منطقة الدراسة (Doorenbos & Pruitt, ١٩٧٧)، وذلك على النحو التالي:

$$ETP = p (0.46T + 1) \dots eq. 9$$

حيث أن: PET التبخر - نتح الكامن مم /يوم كمتوسط لمدة شهر، T المتوسط اليومي لدرجات الحرارة (٦م°)، p المتوسط اليومي لعدد ساعات النهار بالنسبة المئوية، ويتفاوت حسب دائرة عرض المكان (تقدر بنحو ٠.٢٧ % في شهر مارس عند دائرة عرض ٢٦ درجة).

أما الطريقة الثالثة لتقدير التبخر فقد اعتمدت على نتيجة التبخر الفعلي ليومي ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ من خلال بيانات محطة أرصاد سوهاج.

أما تقدير التسرب من البحيرة فقد تم بالاعتماد على المعادلات النظرية للتسرب في المواد اللوامية الحصوية الصغيرة، مثل الموجودة بالمروحة الفيضية التي نشأت عليها البحيرة. وقد تم حساب ذلك من خلال طريقة رقم المنحنى curve number method (CN) والتي سوف يأتي ذكرها لاحقاً، فضلاً عن التصنيف الهيدرولوجي للتربة وفقاً لخصائصها ومعدلات التسريب منها. أما حساب قيمة التسرب في حوض وادي بير العين فقد تم بالاعتماد على تجربة عملية لتبخر وتسرب المياه من إحدى أوعية الإذابة المتكونة في نفس صخور الحجر الجيري داخل الوادي، وذلك بعد ٢٤ يوماً من حدوث الأمطار، كما سيتضح فيما بعد.

**٨- صافي الجريان السطحي:** تم تقدير صافي الجريان السطحي داخل حوض وادي بير العين باستخدام طريقتين. ولكن قبل توضيح الطريقتين ينبغي الإشارة إلى أن من السمات المميزة التي جعلت من وادي بير العين وادياً مثالياً لتحقيق هدف الدراسة ليس فقط لغناه بمظاهر الكارست، ولكن أيضاً لوجود سد عند نهاية مصب الوادي لحجز المياه في بحيرة، وقد تم الاعتماد على هذه الميزة بالدرجة الأولى في حساب صافي محصلة الجريان السطحي في حوض وادي بير العين. وقد تم في هذا الصدد دراسة حالة أمطار ٩-٨ مارس ٢٠١٤ لأسباب سوف يأتي ذكرها لاحقاً.

أما عن الطريقة الأولى لحساب صافي الجريان السطحي فقد اعتمدت على تقدير كمية المياه التي تدفقت إلى البحيرة، وتم ذلك بحساب أبعاد البحيرة أمام سد وادي بير العين بواسطة الرصد الحقلّي لبعض النقاط وتوقيعها على مرئيات Google Earth بدقة مكانية قدرها ٦٠ سم، وذلك بعد أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤. ونظراً لأن القياس الحقلّي قد تم بعد حدوث الأمطار بحوالي ٢٤ يوماً، لهذا تطلب الأمر حساب التبخر والتسرب داخل البحيرة خلال هذه المدة لإضافة كميات الفوائد إلى حجم البحيرة لتقدير حجم المياه بها بعد تصريف مياه الوادي إليها مباشرة.

أما الطريقة الثانية لحساب صافي الجريان السطحي فهي من خلال "نموذج الصندوق الأسود" Black Box Model والذي يستخدم على نطاق واسع للتنبؤ بصافي الجريان السطحي بناءً على طريقة رقم المنحنى Curve Number Method (CN)، والتي تم تطويرها بمعرفة هيئة صيانة التربة بقسم الزراعة بالولايات المتحدة الأمريكية (SCS, ١٩٨٦)، حيث تعد طريقة مناسبة لتقدير الجريان السطحي في المناطق التي تفتقر



إلى تغطية جيدة من أجهزة قياس الأمطار، أو تلك التي تفتقر إلى سجلات المطر والجريان السطحي، فضلا على كونها مناسبة للظروف المناخية الرطبة وشبه الجافة والجافة. ووفقا لذلك يتم تقدير الجريان السطحي  $Q$  باستخدام المعادلة التالية (SCS, ١٩٨٦):

$$Q_{sur} = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.1S) \dots eq. 10$$

حيث أن  $Q_{sur}$  الجريان السطحي (مم)،  $P$  إجمالي المطر (مم)،  $S$  الاحتباس المحتمل للمياه بعد بدء الجريان (مم) ويتم استخراج قيمتها من القيم التجريبية لطريقة رقم المنحنى  $CN$  من العلاقة التالية (SCS, ١٩٨٦):

$$S = 25.4 \times (1000 / CN) - 10 \dots eq. 11$$

حيث أن  $CN$  معامل الجريان المحتمل بعد الفوائد، وكلما كانت قيمة  $CN$  مرتفعة ازداد الجريان السطحي المحتمل. ويتوقف ذلك على عدة عوامل مختلفة هي حالة السطح قبل حدوث الجريان (Antecedent Runoff Condition (ARC)، التصنيف الهيدرولوجي للتربة، استخدامات الأرض. وتستخرج قيمة  $CN$  من الجداول التجريبية التي أصدرتها هيئة صيانة التربة الأمريكية (SCS, ١٩٨٦). أما عن حالة السطح قبل حدوث السيل (ARC) فيتم تقديرها لمدة خمسة أيام سابقة على حدوث الجريان الرئيسي. أخيراً يقدر حجم الجريان لكل خلية وفقاً للعلاقة التالية (Badawy, ٢٠١٣):

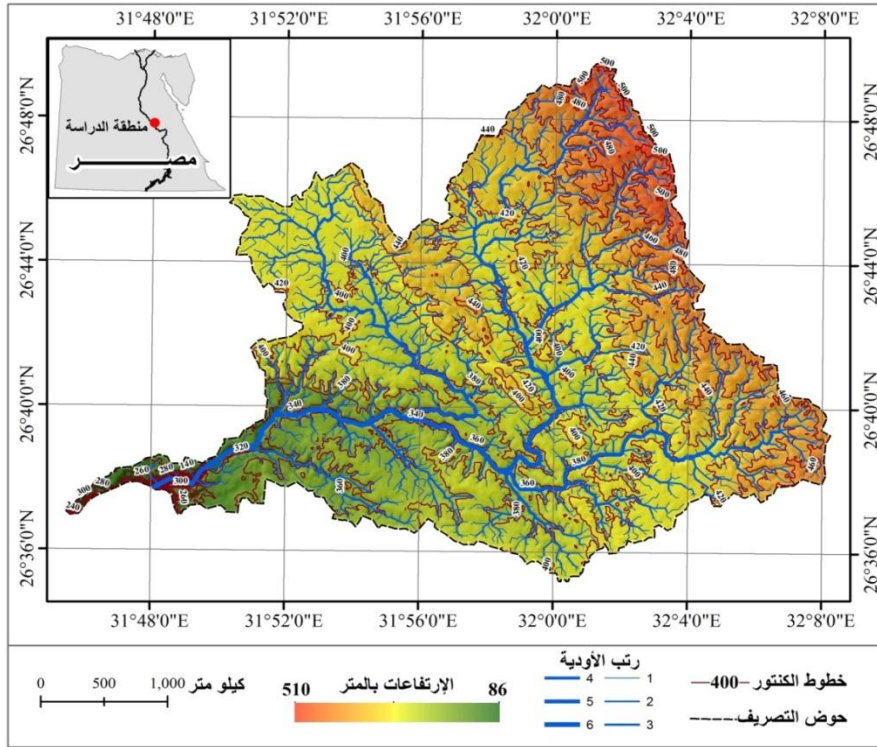
$$Q_{vol} = (Q_{sur} / 1000 \text{ mm/m}) \times i_z \dots eq. 12$$

حيث أن  $Q_{vol}$  حجم الجريان (م<sup>٣</sup>)،  $Q_{sur}$  الجريان السطحي،  $i_z$  حجم الخلية (م<sup>٢</sup>).

ثانياً: موقع وخصائص منطقة الدراسة

ثانياً: موقع وخصائص منطقة الدراسة

**١- الموقع:** يقع مصب وادي بير العين إلى الشرق من مدينة سوهاج عاصمة المحافظة بنحو ٧.٥ كم، وينحدر وادي بئر العين من الأطراف الجنوبية لهضبة المعازة في وسط الصحراء الشرقية عند منسوب ٥١٠ م فوق مستوى سطح البحر في الشرق، لينتهي إلى وادي النيل غرباً في محافظة سوهاج عند قرية السلاموني عند منسوب ٢٩٠ م فوق مستوى سطح البحر، ويصل معدل الانحدار العام للوادي نحو ١ م لكل ٤٧٠٠ م، وهو معدل انحدار بسيط للغاية يعود إلى الاستواء الشديد الذي يتميز به سطح الهضبة الجيرية في منطقة الدراسة. وتقع الحدود الفلكية للوادي بين دائرتي عرض ٢٦° ٣٦' و ٢٦° ١٩' ٢٠" و ٢٦° ٥٦' ١١" شمالاً، وبين خطي طول ٢٠° ١٧' ٤٦" و ٣١° ٣١' ٤٢" شرقاً (شكل ١). يتخذ الوادي اتجاهها عاماً من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي بطول يصل نحو ٤٦.٥ كم تمثلياً مع المجرى الرئيسي للوادي وحتى أبعد الروافد العليا فوق سطح الهضبة الجيرية. ويصل أقصى عرض لحوض الوادي حوالي ٢٣.٩ كم، وتصل مساحة حوض التصريف نحو ٤٧٢.١ كم<sup>٢</sup>.



شكل ١: حوض وادي بير العين وسماته التضاريسية  
(مستخرجة من تحليل نماذج الإرتفاعات الرقمية SRTM بدقة مكانية قدرها ٣٠م)

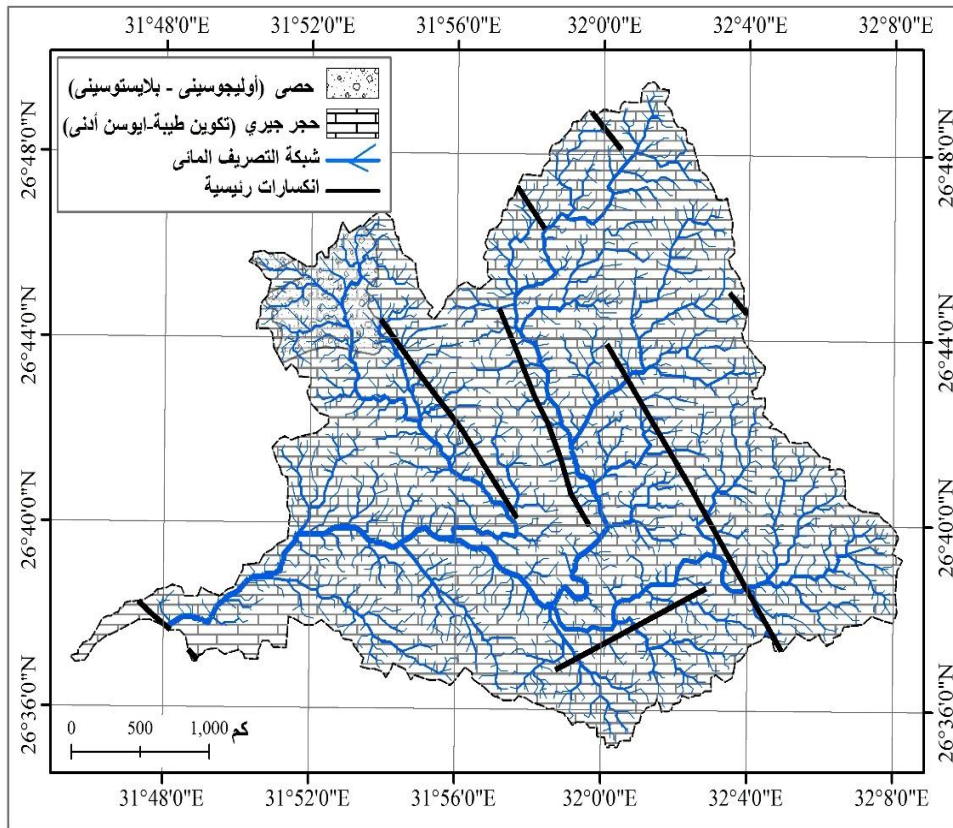
٢- جيولوجية حوض وادي بير العين: توضح الخريطة الجيولوجية مقياس ١: ٥٠٠,٠٠٠ رقم (NG ٣٦ NW-Asyut) (Klitzsch et al., ١٩٨٧) سيادة صخور الحجر الجيري في حوض وادي بير العين، والمعروفة بمجموعة طيبة التي تنتمي إلى الإيوسين الأدنى بسماك حوالي ٣٠٠ متر في المتوسط. وتتميز هذه المجموعة الصخرية بلونها الأبيض الضارب للصفرة مع شرائح متبادلة من الطفل، ويغطي هذا التكوين حوالي ٩٦% من إجمال مساحة الوادي (شكل ٢). ونظرا للنتاين الليثولوجي في قطاع الإيوسين الأدنى بالمنطقة فقد قسم إلى ثلاث وحدات صخرية يشغل قاعدتها تكوين قصب حيث يصل سمك الجزء الظاهر منه في وادي بير العين ٤٠ متراً، ويستقر عليه تكوين الشيخ بسماك ٤٣ متراً، ويرتكز على السطح تكوين السلاموني الذي يغطي سطح الهضبة بسماك ٧٠ متراً (Abdelkireem, ١٩٧٢; Omara, et al., ١٩٧٣; EL-Gamily, ١٩٧٥) (شكل ٣)، بينما يغطي الحصى (أوليوسيني- بلايستوسيني؟! ) ومفتتات الحجر الجيري مساحة محدودة تمثل حوالي ١٩.١ كم<sup>٢</sup> من الطرف الشمالي من حوض الوادي والتي تمثل حوالي ٤.٠% من مساحة الحوض، ويرتكز الحصى على تكوين السلاموني مباشرة. ويرتكز تكوين طيبة على طفل إسنا (باليوسين -أيوسين) والذي يتراوح سمكه ما بين ٣٠

- ٦٠ م في المتوسط، ويمثل الطفل الأخضر الداكن النسبة الغالبة منه مع تداخلات من المارل الأبيض. ويرتكز طفل إسنا بدوره فوق تكوين الداخلة (الكريتاسي الأعلى)، والذي يتكون من مارل ضارب للصفرة عند القاعدة بسمك ٥٠ م في المتوسط، يعلوه طفل أخضر داكن أو رمادي اللون بسمك حوالي ٢٠ م في المتوسط. أما مجرى وادي بير العين فيشغله في أغلبه صخور الحجر الجيري المكشوفة (الأيوسين الأدنى)، وإن كان مغطى في بعض الأحيان برواسب حشو الوادي من الرمال والطين والحصى والطوفا والطوفاكونجولوميريت\*، فضلاً عن الكتل الصخرية المنهارة من أسقف المجاري الجوفية ومن جوانب الوادي.

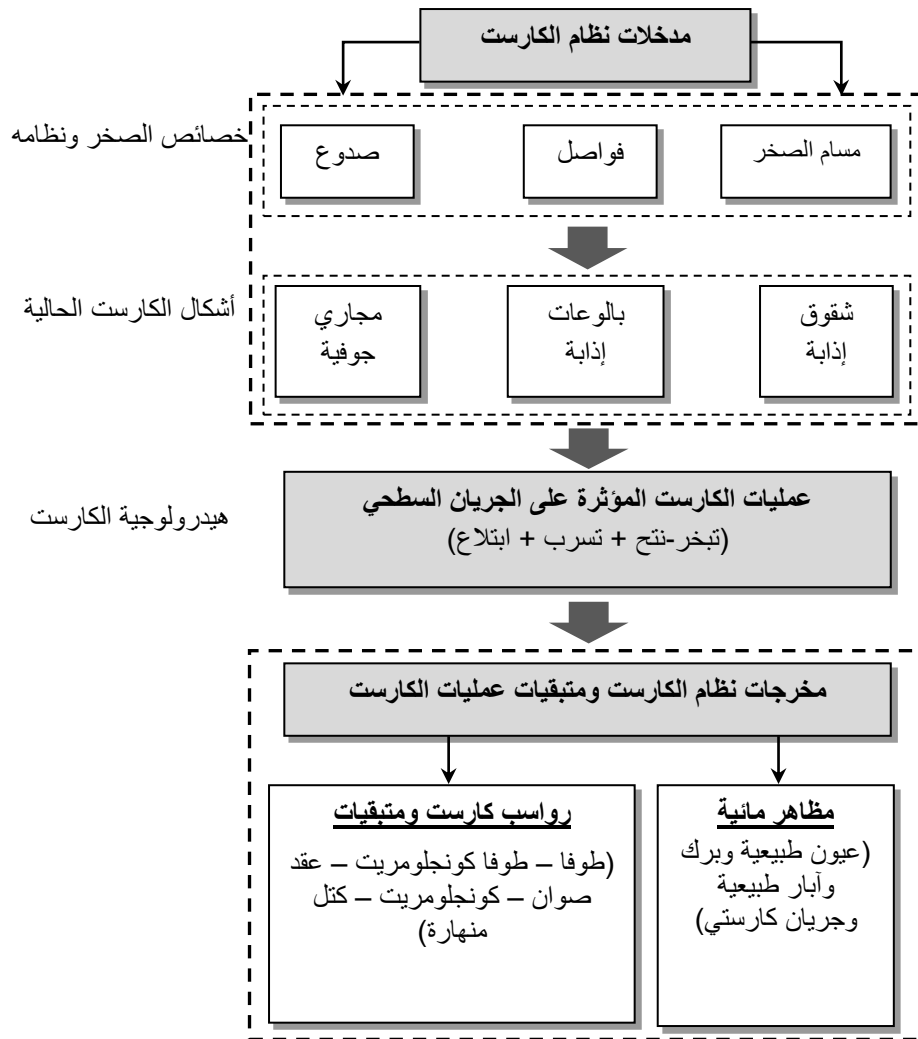
أما عن البنية الجيولوجية فيتضح من تحليل الخريطة الجيولوجية سيادة الصدوع الإفريقية والتي تمتد من الشمال الغربي باتجاه الجنوب الشرقي تمشياً مع محور البحر الأحمر، ويصل مجموع أطوالها ٤٢ كم. فضلاً عن وجود صدع رئيسي آخر يكاد يتعامد على النظام السابق، حيث يتخذ اتجاهاً عاماً من شرق الشمال الشرقي باتجاه جنوب الجنوب الغربي، بطول يصل نحو ٨ كم. كما يظهر التفسير البصري لصور الأقمار الصناعية أن روافد الوادي تعكس نمطاً مستطيلاً يمتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، ويشير هذا بوضوح إلى أثر العوامل التكتونية في توجيه محاور مجاري الأودية، ومن ثم تلتقي روافد الرتب الدنيا بروافد الرتب العليا بزوايا تكاد تكون قائمة، كما أن بعض روافد الوادي تجرى على طول خطوط مفصلية أو صدوع أصغر (شكل ٢). وتجدر الإشارة إلى أن الفواصل الموجودة بالمنطقة تتخذ نفس اتجاه الصدوع السائدة في سطح الهضبة، وقد أدت دوراً مهماً في نقل المياه من السطح إلى تحت السطح بعد توسعتها بفعل الإذابة، ومن ثم نشاط عمليات الكارست.

**٣- نظام الكارست في وادي بير العين:** يعد وادي بير العين من الأودية المميزة بمظاهر الكارست في هضبة المعازة، وقد سبق دراسة هذه المظاهر في دراسة سابقة بشيء من التفصيل (أشرف أبو الفتوح، ٢٠١٧). ويمكن النظر إلى مظاهر الكارست في وادي بير العين على أنها نظام طبيعي له مدخلاته وعملياته الداخلية، ومخرجاته (شكل ٣). ويتكون حوض وادي بير العين من صخور الحجر الجيري الإيوسيني الأدنى الذي يشغله تكوينات قصب والشيخ والسلاموني، وهي تكوينات غنية بالفواصل والصدوع فضلاً على ما تتمتع به من مسامية متوسطة أمام حركة المياه. وأسهمت الفترات المطيرة التي تلت عصر الإيوسين الأدنى فضلاً عن الأمطار والسيول التي تشهدها المنطقة من أن لآخر في نشاط التعرية المائية من ناحية والإذابة من ناحية أخرى. فقد أدى تسرب مياه الأمطار عبر مسام الحجر الجيري بالمنطقة والفواصل والصدوع إلى توسعة مواضع الضعف البنيوي، ويظهر ذلك بوضوح في الشقوق الموسعة بفعل الإذابة (شقوق الإذابة) Grikes والتي تعد أول مدخلات نظام الكارست، وتأتي أهميتها في شيوعها سواء في قاع وادي بير العين وروافده أو على سطح الهضبة المحيط، حيث تسمح شقوق الإذابة ببدء التحول الحقيقي للجريان المائي من فوق السطح إلى تحت السطح. وتجدر الإشارة إلى أنه مع زيادة اتساع هذه الشقوق يزداد التصريف الجوفي.

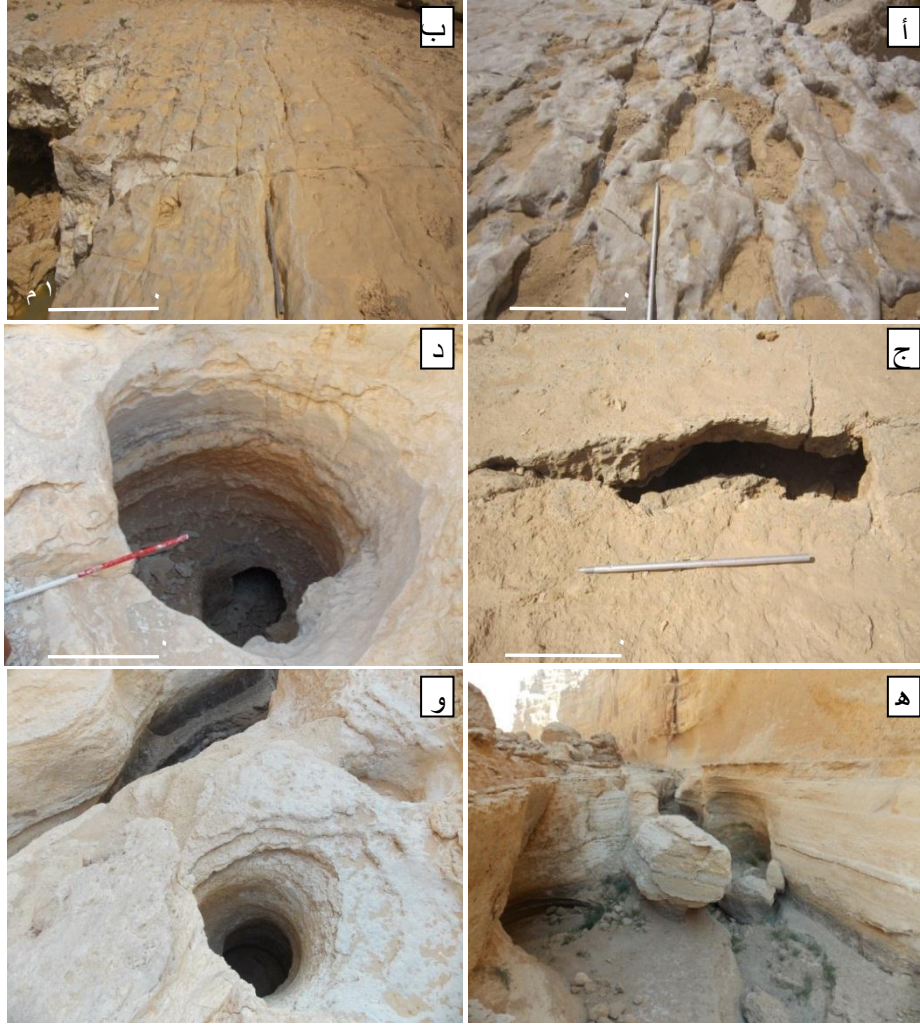
وتنشأ بالوعات الإذابة Swallow or Sinkholes مع استمرار تسرب المياه عبر مواضع الضعف خاصة عند تقاطع الفواصل والصدوع التي تنتشر بوضوح في قاع وادي بير العين وروافده (شكل ٤)، وتعد البالوعات ثاني أهم مكونات مدخلات نظام الكارست، حيث تمثل نمطاً إضافياً مختلفاً لتدفق وتحول المياه من السطح إلى تحت السطح، وتتراوح أقطار البالوعات ما بين ١ متر إلى ٤ أمتار، ويصل أقصى عمق لها حوالي ٦ أمتار، وترتبط صفة ابتلاع المياه في أراضي الكارست بشكل أساسي ببالوعات الإذابة، وما يرتبط بها من مظاهر أخرى.



شكل ٢: التكوينات الصخرية والبنية الجيولوجية في حوض وادي بير العين  
(المصدر: رسمت من الخريطة الجيولوجية ١: ٥٠٠,٠٠٠ رقم NG ٣٦ NW-Asyut  
عن Klitzsch et al., ١٩٨٧)

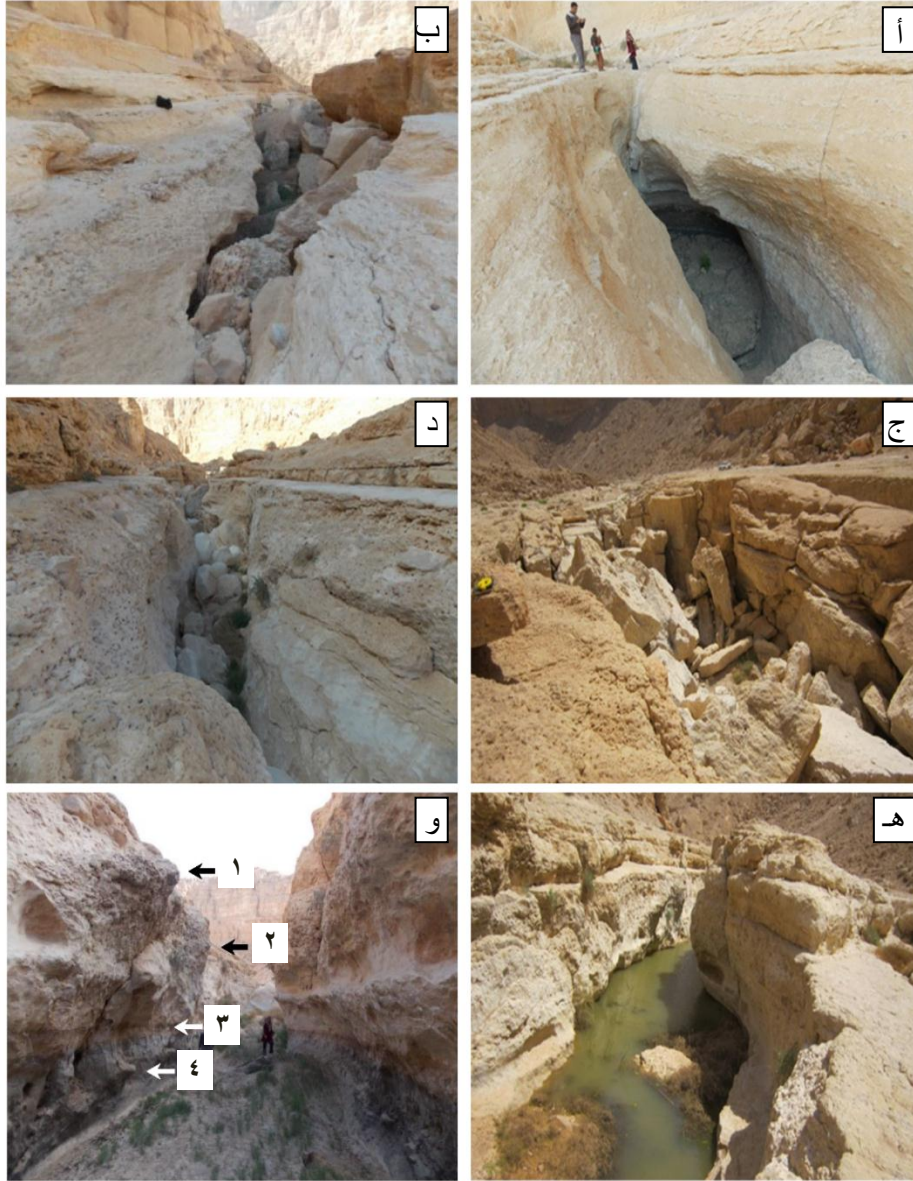


شكل ٣: نموذج نظام الكارست في حوض وادي بير العين



شكل ٤: مدخلات نظام الكارست التي تغذى التصريف الجوفي في وادي بير العين، حيث توضح صور (أ، ب، ج) الشقوق التي اتخذت أشكالاً ومراحل مختلفة من الاتساع بفعل الإذابة. أما صور (د، هـ، و) فتوضح بالوعات الإذابة التي تعد مسئولة بشكل مباشر عن تحول التصريف السطحي إلى تصريف جوفي، ويلاحظ من صورة (د) أن قيعان بعض هذه البالوعات تتصل ببعضها البعض عبر قنوات جوفية جانبية، كما قد يرتبط بعضها بمجاري جوفية تعرضت سقفها للانهيار كما هو الحال في صورة (هـ)

وغالباً ما ترتبط هذه البالوعات بمكون ثالث من مدخلات الكارست وهو المجاري الجوفية التي تنتشر بوضوح في قاع وادي بير العين وروافده التي تجري على سطح الهضبة، ويبلغ طول بعض هذه المجاري نحو ٢٩٦ متراً، ويصل عمق بعضها حوالي ٦٠ متراً. ويؤدي اتساع هذه المجاري إلى زيادة تحول التصريف من السطح إلى تحت السطح، وما يتبع ذلك من انهيار أسقف هذه المجاري في مراحل معينة، وهي المرحلة التي وصلت إليها كل المجاري الجوفية التي تم التعرف عليها في وادي بير العين (شكل ٥).



شكل ٥: نماذج من المجاري الجوفية منهارة الأسقف في وادي بير العين، حيث توضح صورة (أ) أحد نقاط ابتلاع المياه بقاع الوادي والتي تصرف مياهها إلى أسفل السطح عبر هذه المجاري، وتوضح الصور (ب، ج، د) انهيار أسقف بعض هذه المجاري مما يزيد من نشاط ابتلاع المياه داخل هذه المجاري، وتوضح صورة (هـ) أحد المجاري الجوفية المنهارة التي تجمعت فيها المياه بعد السيل، (و) أحد هذه المجاري من الداخل وقد ظهر على جوانبها حروز توضح المستويات المختلفة لمياه السيول الحالية في فترات مختلفه عند المناسيب التي تشير إليها الأرقام (١، ٢، ٣، ٤)

الجدير بالذكر أن وجود ظاهرات الكارست المختلفة، مثل شقوق الإذابة وبالوعات الإذابة والمجري الجوفية، لا يعنى أنها ستظل تقوم بوظيفتها بكفاءة تامة كقنوات لنقل المياه من السطح إلى تحت السطح، وذلك في ظل استمرار الأمطار لمدة طويلة وجريان الماء بالوادي، فالواقع أن هذا الدور يقل تدريجياً مع اقتراب وصول الخزان الجوفي إلى مرحلة التشبع، حينئذ تظهر المياه على السطح حتى داخل الشقوق وبالوعات والمجري ليبدأ الجريان السطحي في مواصلة طريقه إلى المصب بشكل تام. بمعنى آخر فإنه مع سقوط كميات إضافية من الأمطار سوف تجرى المياه على السطح لتتصرف نحو المصب، حينئذ يكاد ينعدم التصريف الجوفي لمداخلات نظام الكارست نظراً لوصول الخزان الجوفي إلى مرحلة التشبع.

ومن المرجح أن التعرية الكارستية قد مثلت الدور الأكبر في نشأة وتعميق وادي بير العين من خلال طريقتين (أشرف أبو الفتوح، ٢٠١٧): الأولى بواسطة التعميق الرأسى المتتالي في قاع الوادي وروافده من خلال المجري الجوفية وما بها من بالوعات إذابة، حيث تتعرض هذه المجري في مرحلة معينة من التطور لانهايار سققها، ويتبع ذلك بدء مرحلة جديدة من نشأة المجري الجوفية وبالوعات الإذابة، وباستمرار هذه العملية عدة مرات في مراحل زمنية مختلفة، ينتج عن ذلك تعميق مجرى الوادي وروافده بشكل أسرع. أما الطريقة الثانية فتتم من خلال اتساع بالوعات الإذابة ومنخفضات الكارست ثم انفتاحها على بعضها البعض لتتصل قطاعات من المجرى وروافده مع بعضها البعض لتشكل في النهاية المجرى الرئيسي وروافده.

ومن الواضح أن تحول التصريف في وادي بير العين من السطح إلى تحت السطح بفعل السيول على المدى الزمنى الطويل قد انعكس بصورة مباشرة فى شكل عدد من عيون المياه، والتي يمكن تميز نوعين منها في وادي بير العين على النحو التالي:

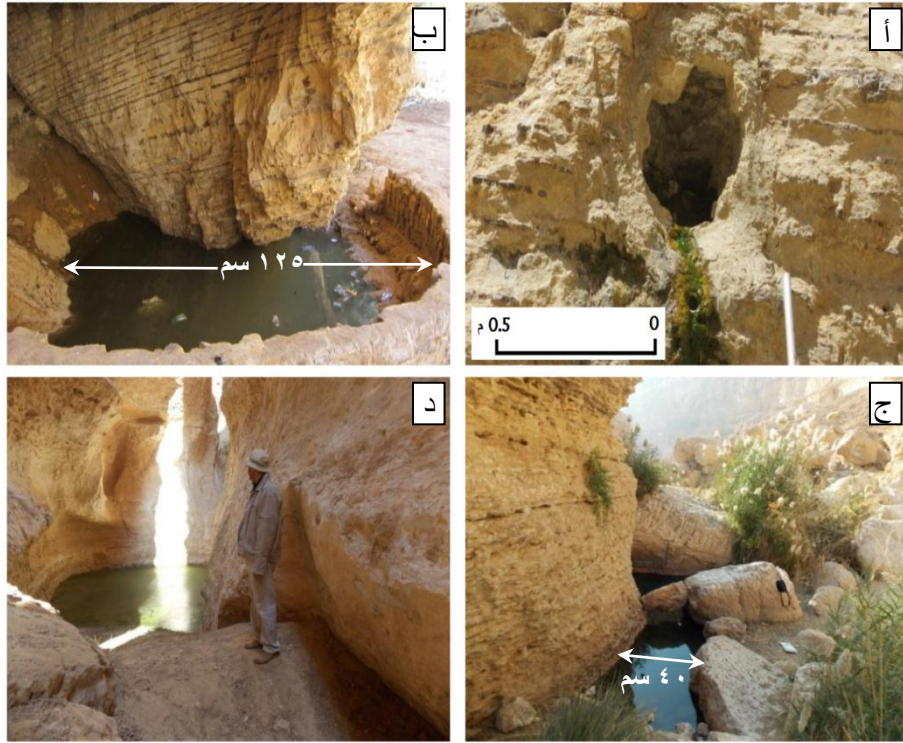
▪ **الينابيع الحرة Free Springs:** وهي نوع من الينابيع الجانبية الناتجة عن تباين تضاريس السطح في الطبقات الأفقية وشبه الأفقية مع قرب مستوى الماء الجوفي من سطح الأرض، مما يعمل على تخفيف الضغط الهيدروليكي على الطبقة الحاملة للمياه، ومن ثم تتدفق المياه الجوفية في شكل عين أو ينبوع بشكل دائم أو مؤقت (موسمي) خاصة عند منحدرات الهضبة تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

▪ **ينابيع الكارست Karstic springs:** يتكون هذا النوع من الينابيع من تسرب الماء الأرضي في طبقات الحجر الجيري شديدة التقطع بفعل الشقوق والفواصل الغائرة، ثم ينحدر الماء عبر تلك الشقوق إلى الفجوات الكارستية عند قاعدة المنحدر، ولذا تعرف كذلك بـ **الينابيع الاتصال conduct springs** حيث يتصل الينبوع بقاع الوادي، لذا يعتبرها البعض نوعاً من الينابيع الحرة.

وقد استدل في وادي بير العين من خلال العمل الحقلى على وجود آثار عيون جافة قديمة على جوانب الوادي الرئيسى على مناسيب أعلى من العيون الحالية، ومن المرجح أن استمرار تعميق قاع وادي بير العين كان سبباً رئيسياً في هجرة المياه من هذه الينابيع.



وتجدر الإشارة إلى أن دور الينابيع كأحد أهم مخرجات نظام الكارست لا تزال نشطة وتعمل في ظل الظروف المناخية الحالية لاسيما بعد فترات الأمطار (شكل ٦)، حيث يوجد في وادي بئر العين واحدة من أشهر العيون الكارستية النشطة حالياً في الصحراء الشرقية، وهي العين التي سمي الوادي بها، وتقع هذه العين دون مستوى العيون الجافة بحوالي ٢ متر. وقد تأكد أن هذه العين تستمد مياهها في الوقت الحالي من مياه الأمطار التي تسقط على سطح الهضبة الجيرية المحيط، حيث يزداد تدفقها بعد التساقط المطري الذي قد يصل ١٦٥ لتراً/اليوم بعد ٢٤ يوماً من سيل مارس ٢٠١٤، هذا التدفق قد يصل إلى أقل من النصف بعد عام واحد من حدوث الأمطار، وهو ما يعد مؤشراً على دور الأمطار وممرات الكارست تحت السطحية في إمداد العين بالمياه. من ناحية أخرى فقد ارتبط بتسرب الأمطار الحالية عبر صخور الحجر الجيري وتدفق العين الرئيسية بالوادي ظهور عيون طبيعية مثل "بئر العين"، وظهور برك كارست يطلق على بعضها أسم



محلّي (العد) مثل "عد العافية" و "عد الشلال" و "عد الخانق".

شكل ٦: بعض المظاهر المائية في وادي بئر العين، حيث توضح صورة (أ)، ينبوع بئر العين ويلاحظ تكون الطحالب الخضراء بامتداد تدفق الماء من الينبوع، وتوضح صورة (ب) بئر العين الذي يستمد مياهه من المياه الجوفية التي تغذيها مياه الأمطار طوال العام، أما صورة (ج) فتشير إلى عد العافية القريب من منسوب الماء الأرضي، وتوضح صورة (د) عد الخانق الذي يتسم بتواجد المياه فيه أغلب أيام السنة والمتجمعة من مياه الأمطار الساقطة على الوادي

يضاف إلى مكونات مخرجات نظام الكارست في وادي بير العين رواسب الطوفا التي تعد واحدة من أهم مؤشرات تدفق المياه الجوفية قديماً، حيث تترسب هذه الرواسب حول الينابيع وعند مواضع تدفق المياه الجوفية المشبعة بكاربونات الكالسيوم نتيجة إذابة الصخور الجيرية، لهذا فإن رواسب الطوفا بوادي بير العين يختلط معها سيقان النباتات بكثافة كبيرة. ومن المرجح أن الطوفا في وادي بير العين قد أرسبت في مراحل متعددة بأشكال مختلفة.

أما عن متبقيات عمليات الكارست فتتمثل في حصى الصوان والعقد الصخرية والكتل المنهارة، فجميعها مواد تخلفت عن عملية الإذابة سواء على سطح الهضبة أو في قاع المجرى الرئيسي وروافده، وتعد هذه المواد مؤشراً على التخفيض الذي شهده السطح بفعل عملية الإذابة، فغالبا ما تستقر هذه المواد في مكان اشتقاقها، وإن نقلت فهي داخل نفس نظام كارست وادي بير العين، وفي حالة السيول القوية تنقل هذه المواد إلى مصب الوادي في مروحته الفيضية.

نخلص مما سبق أن وادي بير العين يمثل نظام كارست شبه متكامل (شكل ٣)، حيث يحتوي على العديد من المدخلات التي تشمل شقوق موسعة بالإذابة، وبالوعات إذابة، ومجري جوفية. كما يشمل نواتج عديدة أو مخرجات لهذا النظام. والسؤال الذي يطرح نفسه، وهو الهدف الذي يسعى البحث الحالي إلى الإجابة عنه، هل مظاهر الكارست الحالية في وادي بير العين، وتحديد مدخلات النظام، يمكن أن تؤثر على طبيعة الجريان السطحي داخله، وإلى أي مدى أسهم هذا التأثير في تحول الجريان السطحي إلى جريان تحت سطحي وابتلاع مياه الأمطار في حوض الوادي.

ثالثاً: خصائص بحيرة سد وادي بير العين

يعد حوض وادي بير العين واحداً من أكبر الأحواض شرق محافظة سوهاج. وقد أدى بناء أحد المجتمعات العمرانية الجديدة المتمثلة في مدينة الكوثر أمام مصب وادي بير العين، فضلاً عن وجود قرية السلاموني، إلى ضرورة حماية هذه التجمعات من خطر السيول المتدفقة من الوادي. لهذا أنشأت وزارة الموارد المائية سداً أمام مصب وادي بير العين كان الهدف الأساسي منه القيام بحجز المياه لتتحول بعد الوصول لارتفاع معين إلى قناة تحويل جانبية (مخر سيل الكوثر) حفرت قبل السد بحوالي ١٨٠م، تنقل هذه القناة بدورها المياه الزائدة عن بحيرة التخزين إلى قناة فرعية أخرى (مخر سيل السلاموني)، والتي تنقل المياه بدورها إلى ترعة السلاموني (شكل ٧).



شكل ٧: مرئية فضائية توضح بحيرة سد وادي بير العين وهي ممتلئة بالمياه بعد سيول يناير ٢٠١١، كما توضح قنوات التحويل الرئيسية والفرعية التي تنقل المياه الزائدة عن البحيرة إلى ترعة السلاموني

(المصدر ٢٠١١. Google Earth Pro)

ويبلغ ارتفاع سد وادي بير العين ١١ متراً وقد شيد على مستويين. المستوى الأول السفلى ويبلغ ارتفاعه ٦ أمتار تقريباً من مستوى قاع البحيرة، أما المستوى الثاني العلوي فيبدأ بعد مسافة شبه أفقية تبلغ ١.٢ متراً، ويبلغ ارتفاعه ٥ أمتار، وبلغ طول المستوى السفلى من السد ٨٧ متراً، أما القسم العلوي فيصل طوله ١٤ متراً. ويقدر إجمالي طول قناة التحويل بحوالي ٤٢٧٥ متراً، وتنقسم إلى قسمين: الأول يخرج من بحيرة سد وادي بير العين ويمتد لمسافة ٢٧٦٠ متراً بمتوسط عرض ٧٠ متراً وصولاً لقرية السلاموني. ويلتف القسم الثاني من قناة التحويل حول قرية السلاموني بطول ١٥١٥ متراً بمتوسط عرض ٢٥ متراً ليصب في ترعة السلاموني من خلال بوابات أنشئت عند نهاية القناة.

أما عن أقصى سعة للبحيرة وأقصى كمية مياه يمكن أن تحتويها، فقد تم التعرف عليها من خلال واحد من أكبر السيول التي تمت في الوادي وذلك في نهاية شهر ديسمبر عام ٢٠١٠، حيث استطاعت المياه أن تملأ خزان البحيرة بالكامل وتتدفق منها إلى قناة التحويل بعد اجتياز المنطقة المرتفعة عند مدخل القناة، لتجري بعد ذلك إلى ترعة السلاموني. ومن حسن الحظ أنه قد اتاحت إحدى الصور الفضائية على برنامج Google Earth بعد السيل مباشرة بعدة أيام، وتحديدًا يوم ٤ يناير ٢٠١١، حيث استقرت المياه عند

أعلى منسوب لها داخل البحيرة، وقد تم تقدير أقصى عمق للمياه في البحيرة بنحو ٦ أمتار، وتحكم في ذلك بشكل كبير المنسوب المرتفع عند مدخل قناة التحويل. في ضوء ما سبق أمكن تقدير أقصى طول للبحيرة أمام السد بنحو ١٠٠٠ متر، وذلك عند منسوب ٩٢ متراً تقريباً، وهو ذاته المنسوب الذي احتجزت عنده المياه داخل قناة التحويل، وبلغ أقصى عمق محتمل للمياه داخل البحيرة نحو ٦ أمتار. وتجدر الإشارة إلى أنه في ضوء وصول البحيرة إلى أكبر سعة تخزينية لها يتكون ذراعاً مائياً داخل قناة التحويل يمتد لمسافة ٢٢٠ متراً، وبالطبع مع أي كميات إضافية من المياه تستطيع عبور هذا الذراع المائي وصولاً إلى قناة التحويل. بذلك تصل أقصى مساحة للبحيرة (بما في ذلك الذراع المائي) حوالي ١٢٠,٠٠٠ م<sup>٢</sup> (٠.١٢ كم<sup>٢</sup>) بمحيط يبلغ ٢,٩٥٠ متراً، ويقدر أقصى حجم للمياه داخل البحيرة بحوالي ٣١٧,٠٠٠ م<sup>٣</sup>.

بناء على ما سبق يمكن القول إنه على الرغم أن الهدف الأساسي لإنشاء السد هو صرف المياه الزائدة عن سعة البحيرة لقناة التحويل ومنها إلى ترعة السلاموني، إلا أن هذا الدور للسد لا يتم إلا إذا تجاوز ارتفاع المياه داخل بحيرة السد ٦ أمتار لتستطيع المياه تجاوز المنطقة المرتفعة عند مدخل قناة التحويل ثم التدفق إلى باقي قناة التحويل. وعلى هذا فإنه يمكن القول بأنه في حالة الأمطار أو السيول التي لم تتعد كميات مياهها ارتفاع ٦ أمتار داخل البحيرة فإنها سوف تختزن بالكامل داخل البحيرة، وبالتالي يمكن حساب صافي محصلة الجريان الفعلية من خلال حساب كمية المياه داخل البحيرة بعد حدوث الأمطار. أما لو زادت كمية المياه داخل البحيرة عن الحد المسموح به فإنه يصعب معه حساب صافي محصلة الجريان الفعلي نظراً لانصراف المياه خارج البحيرة وتدفعها لقناة التحويل ومنها لترعة السلاموني.

يتضح مما تقدم أن سيل ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ يعد حالة نموذجية لتحقيق غرض هذا البحث، حيث لم تتجاوز كمية المياه الواصلة لبحيرة السد حاجز التخزين، إذ لم يزد عمق المياه داخل البحيرة ٦ أمتار. وتمثل هذه الكمية في نفس الوقت صافي الجريان المائي بعد السيل، إذ لم تتعد المياه حاجز قناة التحويل، وبذلك يمكن تحليل العلاقة بين الجريان السطحي وكمية المياه التي تلقاها حوض وادي بير العين لتقدير الفوائد المائية سواء بالتبخر أو بالتسرب للوقوف على مدى تأثير مظاهر الكارست على الجريان السطحي.

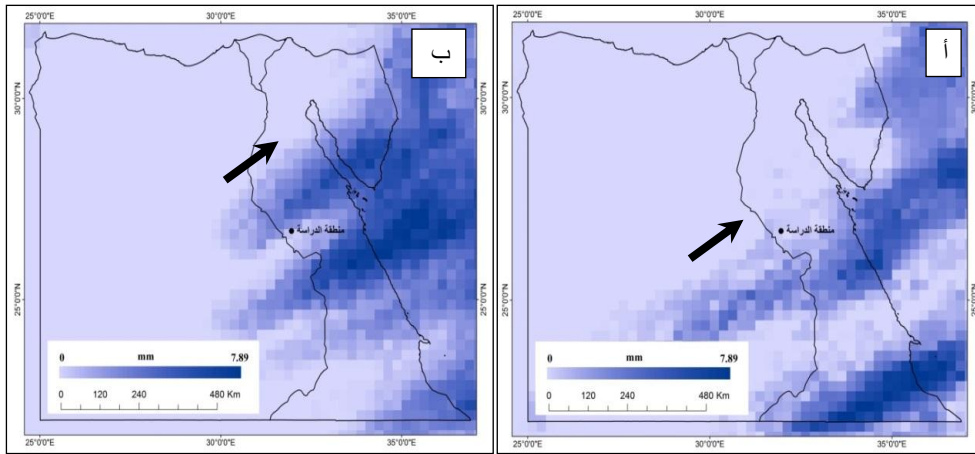
**رابعاً: دراسة حالة أمطار يومية ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ (الكمية - الحجم - الشدة)**

شهد وادي بير العين العديد من حالات التساقط المطري التي أدت بعضها إلى حدوث سيول، وقد أمكن حصر ثلاث حالات منها في ٢٨ يناير ٢٠١٠ و ٤ يناير ٢٠١١ وأخيراً ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤. وتعتمد الدراسة الحالية في التطبيق على سيول ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ (شكل ٨) لعدة أسباب منها:

▪ تعد كمية الأمطار التي سقطت خلال هذه الفترة كمية مثالية لتحقيق هدف الدراسة، حيث تركزت كمية المياه بالكامل في بحيرة التخزين أمام السد، وذلك نظراً لقلتها

وعدم قدرتها على اجتياز المنسوب المرتفع عند مدخل قناة التحويل، وهو الأمر الذي سوف يسهم في حساب حجم الجريان السطحي النهائي.

تم إجراء دراسة ميدانية بعد حدوث أمطار مارس ٢٠١٤ بحوالي ٢٤ يوماً، تم خلالها رصد ميداني لمنسوب المياه وامتدادها في البحيرة، فضلاً عن رصد مظاهر الكارست في وادي بير العين ودورها في التأثير على الجريان السطحي وأهم المظاهر الناتجة عن ذلك، كما تم قياس تصريف المياه من عين الوادي. وقد تبع هذه الدراسة دراسة أخرى يوم ١٢ أبريل ٢٠١٥، أي بعد أمطار مارس ٢٠١٤ بنحو عام، وقد تم قياس تصريف المياه من العين مرة أخرى للتعرف على مقدار التغير الذي حدث بالمقارنة مع تصريف العين في مارس ٢٠١٤، وذلك بغرض التعرف على دور المطر الحالي في إمداد العين بالمياه من ناحية، وإلى أي مدى فقدت المياه السطحية من خلال التسرب والابتلاع من ناحية أخرى.



شكل ٨: تتبع مسار العاصفة الممطرة يومي السبت الموافق ٨ مارس ٢٠١٤ (أ)، والأحد الموافق ٩ مارس ٢٠١٤ (ب)، وتشير الأسهم إلى اتجاه العاصفة

(المصدر: مستخرجة من بيانات (PERSIANN-CDR)

تم استثناء حالة أمطار ديسمبر ٢٠١٠ حيث استطاعت المياه أن تملأ بحيرة التخزين وتجتاز مدخل قناة التحويل ووصلت إلى ترعة السلاموني، كما استطاعت المياه اجتياز الحواجز والبوابات عند التقاء قناة التحويل مع ترعة السلاموني بسبب تدفق كميات كبيرة من المياه مع اندفاعها بقوة.

وتجدر الإشارة إلى أن دراسة حالة أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ لا تقتصر فقط على الظروف التي تمت أثناء وبعد المطر فقط، ولكن الأمر يتطلب دراسة الحالة الجوية وحالة السطح قبل سقوط الأمطار نظراً لاحتياج المعادلات الخاصة بحساب الجريان السطحي إلى دراسة حالة السطح قبل الجريان الرئيسي داخل الوادي للتعرف على حالة التربة ومدى تشبعها بالرطوبة، حيث يتوقف تسرب المياه وكذلك حجم الجريان على مدى تشبع التربة السطحية قبل حدوث السيل بعدة أيام (Badawy, ٢٠١٣). وفيما يلي إشارة موجزة للأحداث الجوية التي سبقت أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤.

#### ١- السبت ٨ مارس ٢٠١٤

- الساعة الواحدة صباحاً: سيادة الضغط الجوي العادي ١٠١٣ ملي بار، مصحوباً برياح جنوبية شرقية بلغت سرعتها نحو ٦ أميال / ساعة، كما بلغت درجة الحرارة ١٦°م، مع انخفاض ملحوظ في غطاء السحب بنسبة ٩%، ورطوبة نسبية قدرت بنحو ٣٧%. وقد صاحبت تلك الأحداث سقوط أمطار خفيفة فوق منطقة الدراسة تراوحت بين ١ - ٣ مم.
- الساعة السادسة صباحاً: انخفاض طفيف في الضغط الجوي ١٠١٢ ملي بار، مصحوباً برياح جنوبية شرقية تراوحت سرعتها بين ٦ - ١١ ميل / ساعة، كما انخفضت درجة الحرارة لنحو ١٥°م، مع زيادة ملحوظة في غطاء السحب لنحو ٣٧%، وزيادة الرطوبة النسبية لنحو ٤٣% غير أنه لم يصاحب ذلك أية أمطار فوق منطقة الدراسة.
- الساعة الثانية عشر ظهراً: انخفاض الضغط الجوي ١٠١١ ملي بار، مصحوباً بهبوب رياح جنوبية بسرعة ١١ ميل / ساعة، وارتفاع ملحوظ لدرجة الحرارة لنحو ٢٧°م، وزيادة نسبة تكاثف غطاء السحب بنحو ٥٧%، مع انخفاض حاد في الرطوبة النسبية لنحو ١١%، غير أن تلك الأحداث لم يصاحبها سقوط أمطار فوق منطقة الدراسة.
- الساعة السادسة مساءً: انخفاض الضغط الجوي ١٠١٠ ملي بار مصحوباً بهبوب رياح غربية تراوحت سرعتها بين ١٠ - ١٥ ميل/ ساعة، مع ثبات درجة الحرارة عند ٢٧°م، وانخفاض ملحوظ في غطاء السحب لنحو ١٤%، وانخفاض الرطوبة النسبية لنحو ١٣%. ولم تشهد منطقة الدراسة سقوط أية أمطار في هذا التوقيت.

#### ٢- الأحد ٩ مارس ٢٠١٤

- الساعة الواحدة صباحاً: انخفاض طفيف في ظروف الضغط الجوي ١٠١٠ ملي بار، صاحبه هبوب رياح شمالية شرقية تراوحت سرعتها بين ٤ - ٩ ميل / ساعة، وقد بلغت درجة الحرارة ١٩°م، مع انخفاض واضح في غطاء السحب بنسبة ٧%، وارتفاع في الرطوبة النسبية لنحو ٦٠%. وقد أسفرت تلك الأحداث عن سقوط كمية قليلة جداً من المطر الخفيف فوق أجزاء متفرقة من منطقة الدراسة بنحو ٠,٨ مم.
- الساعة السادسة صباحاً: انخفاض نسبي في الضغط الجوي لنحو ١٠١٠ ملي بار، مع هبوب رياح شمالية غربية تراوحت سرعتها بين ٥ - ٩ ميل / ساعة، وارتفاع نسبي في درجة الحرارة لنحو ٢١°م، مع زيادة محدودة في غطاء السحب لنحو ١٠%، وزيادة الرطوبة النسبية لنحو ٧٨% وسقوط أمطار خفيفة فوق منطقة الدراسة قدرت بنحو ١.٤ مم.
- الساعة الثانية عشر ظهراً: ثبات الضغط المنخفض عند ١٠١٠ ملي بار فوق منطقة الدراسة، مع هبوب رياح شمالية غربية بسرعة تراوحت بين ٤ - ٨ ميل/ساعة، وارتفاع درجة الحرارة لنحو ٢٥°م، وتكاثف غطاء السحب بنحو ٣٧%، كما بلغت

- الرطوبة النسبية ٦٥ %، وقد صاحب ذلك سقوط أمطار على بعض أجزاء متفرقة على الجانب الشمالي والشرقي لمنطقة الدراسة، قدرت بنحو ١.٩ مم.
- الساعة السادسة مساءً: انخفاض نسبي في الضغط الجوي ١٠٠٩ ملي بار، مصحوبا بهبوب رياح شمالية غربية تراوحت سرعتها بين ٩ - ١٢ ميل / ساعة، مع انخفاض نسبي في درجة الحرارة عند ٢٣°م، وزيادة ملحوظة في غطاء السحب بنحو ٤٨ %، وانخفاض بسيط في الرطوبة النسبية لنحو ٥٩ %، مع أمطار خفيفة فوق منطقة الدراسة قدرت بنحو ٠.٤ مم.
- بوجه عام استقبلت منطقة الدراسة كميات قليلة من المطر الخفيف يومي السبت والأحد الموافقين ٨-٩ مارس ٢٠١٤، ويقدر إجمالي ما استقبله الوادي من تلك الأمطار  $R_{cum}$  بنحو ٨٧ مم. أما عن حجم الأمطار وبتطبيق معادلة (٥) يكون الوادي قد تلقى ما يقدر بنحو  $٢٢.٤ \times ١٠^7$  م<sup>٣</sup> من مياه الأمطار خلال يومي ٨-٩ مارس ٢٠١٤.
- أما عن شدة المطر  $R_{int}$  فتم حسابه من خلال فترة المطر في يومي ٨-٩ مارس ٢٠١٤ لكل ٦ ساعات وفقا للمعادلة (٦) حيث يتضح أن شدة المطر فوق منطقة الدراسة تختلف باختلاف الزمان والمكان بين ٠.١ و ١.٣٦ مم/ساعة، على أن أغلب الأمطار الساقطة على المنطقة كانت شدتها منخفضة جدا أقل من ١ مم/ ساعة. والواقع أن الأمطار في الصحراء غالبا ما تكون مركزة بشدة خلال فترة وجيزة جدا من الزمن وفيما قد لا يزيد عن ساعتين، ولكن بيانات رصد الأمطار بأجهزة الرادار ووسائل الاستشعار عن بعد للأسف لا تتيح بياناتها إلا كل ٣ أو ٦ ساعات، كما أن بياناتها الأرشفية عادة ما تفتقد إلى الدقة الزمنية المطلوبة (Badawy, ٢٠١٣).
- خامساً: تقدير الفوائد المائية بحوض الوادي أثناء أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ \***
- شهد حوض وادي بئر العين سقوطاً مطرياً قدر بحوالي ٢٢.٤ مليون م<sup>٣</sup> كما سبق القول، إلا أن هذه الكمية قد تعرضت للتسرب والتبخر والابتلاع داخل حوض الوادي أثناء عملية الجريان، وتمثل هذه المعاملات الثلاثة إجمالي الفوائد المائية داخل حوض الوادي، وهو ما سوف يتم تقديره في هذا الجزء من الدراسة، إذ يتضح من حالة المطر أثناء يومي ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ ما يلي:
- تركزت الأمطار في يوم ٨ مارس على مدى ٦ ساعات (من ١ صباحاً حتى ٦ صباحاً)، وبالنسبة ليوم ٩ مارس فقد توزعت الأمطار على مدار اليوم وهو ما سوف يؤخذ في الاعتبار عند حساب التسرب والتبخر داخل الحوض.
  - تركزت معظم الأمطار الساقطة على الجزء الشمالي والغربي من الوادي، بينما لم تتلق باقي أجزاء الوادي إلا كميات محدودة جدا من المطر يوم ٨ مارس ٢٠١٤ في تمام الساعة الواحدة صباحاً. بينما استمر تساقط المطر على الأجزاء الشمالية والغربية من الوادي في مساحة قدرت بنحو ٢٥٢.٥ كم<sup>٢</sup> من مساحة الوادي، وهو ما يمثل ٥٣.٥ % من إجمالي مساحة حوض الوادي البالغة ٤٧٢.١ كم<sup>٢</sup>.

## ١- التبخر - نتح الكامن وصافي التبخر

تم حساب التبخر - نتح بطريقتين هما طريقة Thornthwaite & Mather (١٩٥٧) وطريقة Blaney & Criddle (١٩٦٢)، أما صافي التبخر فتم الحصول عليه من بيانات محطة أرصاد سوهاج، وتم تقدير الفواقد بالتبخر عامة بدلالة متوسط الطرق الثلاثة والبالغ ٣.٤ مم/اليوم (جدول ١). وقد تركزت الأمطار في اليوم الأول (٨ مارس) في ٦ ساعات فقط، لهذا سوف يتم حساب التبخر في اليوم الأول خلال هذه المدة. أما اليوم الثاني فإن الأمطار قد اتسمت بسقوطها على مدار اليوم، ولهذا سوف يتم حساب التبخر في هذا اليوم على مدار يوم كامل (٢٤ ساعة). بناء على ذلك وكما يتضح من جدول (١) أن إجمالي كمية التبخر في حوض وادي بير العين خلال اليومين قد بلغ مليون م<sup>٣</sup> تقريباً، أي ما يعادل نحو ٤.٨٦% من إجمالي المطر الساقط.

### جدول ١: حساب التبخر - نتح الكامن وصافي التبخر في حوض وادي بير العين

الطريقة	التبخر بمنطقة الدراسة		كمية التبخر في اليوم الأول			كمية التبخر في اليوم الثاني		اجمالي اليومين م <sup>٣</sup> /٣٠ ساعة
	مم/يوم	مم/ساعة	م <sup>٣</sup> /يوم	م <sup>٣</sup> /الساعة	م <sup>٣</sup> /يوم	م <sup>٣</sup> /ساعة		
Thornthwaite & Mather (١٩٥٧)	٣.٠٦	٠.١٢	٧٧٢,٦٥٠	٣٢١,٩٣.٧٥	١٩٣,١٦٢.٥	٧٧٢,٦٥٠	٣٢١,٩٣.٧٥	٩٦٥,٨١٢.٥
Blaney & Criddle (١٩٦٢)	٤.١	٠.١٧	١,٠٣٥,٢٥٠	٤٣,١٣٥.٤	٢٥٨,٨١٢.٤	١,٠٣٥,٢٥٠	٤٣,١٣٥.٤	١,٢٩٤,٠٦٢.٤
محطة سوهاج*	٣.٢	٠.١٣	٨٠٨,٠٠٠	٣٣,٦٦٦.٦	٢٠١,٩٩٩.٦	٨٠٨,٠٠٠	٣٣,٦٦٦.٦	١,٠٠٩,٩٩٩.٦
المتوسط	٣.٤	٠.١٤	٨٧١,٩٦٦.٧	٣٨,٤٠١	٢١٧,٧٩٩.٥	٨٧١,٩٦٦.٧	٣٨,٤٠١	١,٠٨٩,٩٥٨

\* صافي التبخر وفقاً لمحطة سوهاج. الدقة الزمنية لبيانات المطر.

## ٢- التسرب (الجدول من حساب الباحثين)

تم تقدير معدل التسرب في حوض وادي بير العين من خلال أحد التجارب الحقلية التي هدفت إلى قياس التسرب والتبخر في أحد أوعية الإذابة في نفس فترة سقوط الأمطار في يومي ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤. إذ أمكن بطريقة حسابية بسيطة تقدير حجم الفواقد المائية (التسرب والتبخر) مجتمعة على اعتبار أن حفرة الإذابة تمثل سطح مائي معرض للظروف الجوية مباشرة. ومن ثم تم قياس أبعاد وعاء الإذابة وحجم المياه بداخله، حيث شغلت مياه الأمطار وعاء الإذابة بالكامل بعد الأمطار مباشرة (٩ مارس ٢٠١٤)، وبعد زيارة المنطقة بعد الأمطار بحوالي ٢٤ يوماً تم حساب مقدار الانخفاض في ارتفاع المياه بالوعاء وتم حساب حجم هذه المياه التي فقدت بالتبخر والتسرب داخل وعاء الإذابة في ضوء شكل الوعاء الذي يبدو على هيئة مخروط مجسم له قاعدة مسطحة على شكل دائرة (شكل ٩)، ومن ثم يمكن حساب حجم المياه المخزونة في المخروط على النحو التالي:





شكل ٩: وعاء الإذابة وهو فارغ من المياه قبل الأمطار في ٧ يناير ٢٠١٤ (أ)، ثم بعد سقوط أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ بحوالي ٢٤ يوماً (ب). لاحظ مقدار الانخفاض في الصورة (ب) والذي قدر بنحو ٢٢.٧ سم خلال ٢٤ يوماً

$$V = \pi r^2 \frac{h}{3} \dots eq. 13$$

حيث أن  $V$  حجم المخروط،  $\pi$  تساوي ٣.١٤،  $r$  نصف القطر (٣٩ سم من واقع القياس الحقلي)،  $h$  ارتفاع المخروط (٦٤ سم من واقع القياس الحقلي). بذلك يقدر حجم الحفرة بعد امتلائها بالمياه عقب السيل مباشرة بنحو  $١٠.٢ \times ١٠.٣$  سم<sup>٣</sup>، أي ما يعادل حوالي ٠.١٠٢ م<sup>٣</sup>.

أما عن حساب الفوائد المائية من الوعاء فيقدر من خلال حساب التباين في مستوى المياه داخل الوعاء، فبعد ٢٤ يوماً من حدوث السيل انخفض منسوب المياه داخل وعاء الإذابة بنحو ٢٢.٧ سم، وهو ما يمثل إجمالي الفوائد المائية من الحفرة بالتبخر والتسرب. يعادل هذا الانخفاض نحو ٠.٩٤ سم/يوم (أي ٠.٠٠٩٤ م/يوم)، ويقدر إجمالي حجم الفوائد من الوعاء بذلك بنحو ٧٥,٣٣٨.٨٥ سم<sup>٣</sup> خلال ٢٤ يوماً، أو بمعدل ٣١٣٩.١ سم<sup>٣</sup>/يوم (٠.٠٠٣ م<sup>٣</sup>/يوم)، وهو معدل فواید ضئيل للغاية لعدة أسباب هي:

- أن الوعاء صخري يتكون من الحجر الجيري ويفتقد لوجود تربة أو إرسابات سطحية.
- أن معدلات التسرب تكون عالية في الدقائق الأولى بعد التساقط المطري مباشرة ونقل بشكل تدريجي وملاحظ بعد وصول الصخور أو التربة السطحية لدرجة من التشبع بالرطوبة (Badawy, ٢٠١٣)، وهو ما يسمح بالجريان المائي.
- أن متوسط درجات الحرارة لم يتجاوز ١٦°م خلال تلك الفترة، وهي درجة حرارة منخفضة نسبياً، مع غطاء من السحب المنخفضة والمتوسطة، وسرعة رياح خفيفة إلى متوسطة ١٠-١٥ ميل/ساعة، وكلها ظروف طقس أدت إلى انخفاض معدلات التبخر نسبياً التي لم تتجاوز ٣.٤ مم في المتوسط.

وبتطبيق نتائج التجربة السابقة لمعدلات التسرب والتبخر في وعاء الحجر الجيري والذي يعد جزءاً من نفس التكوينات الصخرية لحوض وادي بير العين وفقاً للقياس الحقلي المباشر، يقدر إجمالي الفوائد المائية (التسرب + التبخر) من حوض وادي بير العين بنحو

م<sup>٣</sup> ٢,٣٧٣,٥٠٠ مقدرة بالنسبة لمساحة المنطقة التي سقطت عليها الأمطار والبالغة ٢٥٢.٥ كم<sup>٢</sup> من إجمالي مساحة الحوض.

ولحساب مقدار التسرب فقط تم طرح إجمالي التبخر البالغ مليون م<sup>٣</sup> خلال ٣٠ ساعة ليومي ٨ و ٩ مارس من إجمالي الفواقد المائية لنفس الفترة الزمنية (جدول ٢)، بهذا يقدر إجمالي التسرب وحده بنحو ١,٨٧٦,٩١٧ م<sup>٣</sup>. بذلك يمثل التسرب وحده ما يقدر بنحو ٨.٣٧% من إجمالي المطر الساقط على الحوض.

جدول ٢: معدل التسرب بحوض وادي بير العين طبقاً للقياس الحقلية من وعاء الإذابة

القيمة	الفواقد
$٢٥٢,٥٠٠,٠٠٠ \times ٠,٠٠٠٩٤ = ٢٣,٧٣,٥٠٠$ م <sup>٣</sup>	إجمالي الفواقد (تبخر وتسرب) في حوض الوادي/يوم
$٢,٣٧٣,٥٠٠ + ٥٩٣,٣٧٥ = ٢,٩٦٦,٨٧٥$ م <sup>٣</sup>	إجمالي الفواقد (التسرب + التبخر) في حوض الوادي/٣٠ ساعة
١,٠٨٩,٩٥٨ م <sup>٣</sup> /٣٠ ساعة	إجمالي التبخر في حوض الوادي طبقاً لجدول (١)
$٢,٩٦٦,٨٧٥ - ١,٠٨٩,٩٥٨ = ١,٨٧٦,٩١٧$ م <sup>٣</sup>	صافي التسرب فقط خلال ٣٠ ساعة

\* ٣٠ ساعة هي مدة سقوط المطر يومي ٨ و ٩ مارس، بذلك يكون مجموع الفواقد في ٦ ساعات = (٢,٣٧٣,٥٠٠ م<sup>٣</sup> ÷ ٢٤ ساعة) × ٦ ساعات = ٥٩٣,٣٧٥ م<sup>٣</sup>. (الجدول من حساب الباحثين)

### سادساً: صافي الجريان السطحي بحوض وادي بير العين

يبدأ الجريان السطحي عادة عندما تتجاوز شدة الأمطار كمية الفواقد سواء بالتبخر - نتج أو بالتسريب تحت السطحي (Badawy, ٢٠١٣). الجدير بالذكر أنه قد تم قياس صافي الجريان السطحي بحوض وادي بير العين من خلال طريقتين هما:

#### ١- القياس الحقلية المباشر

اعتمدت هذه الطريقة على القياس الحقلية المباشر للمياه الموجودة في البحيرة أمام السد عند مصب الوادي، حيث تنتهي المياه التي تجرى بالوادي في النهاية إلى هذه البحيرة، لهذا فإن حساب مقدار المياه بالبحيرة بعد حدوث الأمطار سوف يعطي نتيجة واقعية لمحصلة صافي الجريان السطحي داخل حوض الوادي.

تم زيارة وادي بير العين، بما في ذلك منطقة البحيرة والسد، يوم ٢ أبريل، أي بعد ٢٤ يوماً من سقوط أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤، وقد أمكن رصد امتداد البحيرة وأبعادها وخصائصها. وتبين أن أقصى امتداد للبحيرة قد بلغ ٥٠٠ متراً تقريباً، وبلغ أقصى عمق للمياه بها نحو ٠.٩٥ متراً (شكل ١٠)، كما بلغ طول الزراع المائي في قناة التحويل حوالي ١٠٥ متراً. بذلك بلغت مساحة البحيرة قرابة ٦٠,٠٠٠ م<sup>٢</sup> بمحيط يقدر بحوالي ١,٧٣٠ متراً. كما قدر حجم المياه في البحيرة بعد حدوث السيل بأربعة وعشرين يوماً بحوالي ٢٤٥١٠ م<sup>٣</sup> تقريباً. إلا أن هذا الرقم الأخير يحتاج إلى إضافة مقدار التبخر

والتسرب الذي تم من البحيرة خلال ٢٤ يوماً، والتي تمثل الفارق الزمني بين سقوط الأمطار وفترة العمل الحقلي. ويوضح جدول (٣) مقدار التبخر بالبحيرة، حيث يتضح أن متوسط التبخر قد بلغ ٣.٤ مم/يوم، ومع الأخذ في الاعتبار مساحة البحيرة البالغة ٦٠,٠٠٠ م<sup>٢</sup>، يكون متوسط إجمالي التبخر حوالي ٢٠٧.٢ م<sup>٣</sup>/اليوم، وهو ما يعنى أنه خلال ٢٤ يوماً قد تبخر قرابة ٤,٩٧٢.٨ م<sup>٣</sup>.

### جدول ٣: حساب التبخر - نتج الكامن وصافي التبخر من بحيرة سد وادي بير العين

الطريقة	التبخر بمنطقة الدراسة		كمية التبخر من البحيرة
	م/يوم	م/ساعة	
Thornthwaite & Mather (١٩٥٧)	٣.٠٦	٠.١٢	٤٤٠٦.٤
Blaney & Criddle (١٩٦٢)	٤.١	٠.١٧	٥٩٠.٤
محطة سوهاج	٣.٢	٠.١٣	٤٦٠.٨
المتوسط	٣.٤	٠.١٤	٤٩٧٢.٨

(الجدول من حساب الباحثين)

ولتقدير التسرب من البحيرة وحدها خلال ٢٤ يوماً تم تطبيق طريقة رقم المنحى CN التجريبية (معادلات ١٠، ١١، ١٢)، بالإضافة إلى التصنيف الهيدرولوجي للتربة. حيث يغلب على قاع البحيرة التربة اللوامية يسودها الرمل الخشن والمتوسط والناعم (١ - ٤ □) والغرين (٨ - ٤ □) والطين (أقل من ٨ □)، مع تداخلات من الحصى الفيضي. وتتميز التربة ببنيتها الحبيبية granular structure، حيث تبدو جزيئاتها على شكل كروي منتظم البناء، بالإضافة إلى زيادة محتواها العضوي نسبياً عن سائر أجزاء مجرى الوادي، باعتبار أنها تمثل أخفض أجزاء المجرى ومنطقة لتجمع المياه السطحية وتحت السطحية، مما يجعلها تتلقى الرواسب الدقيقة الناتجة عن عمليات النحت المائي على طول المجرى، فضلاً عن زيادة محتواها من الماء تحت السطحي بما يسمح بنمو بعض النباتات والأعشاب المتناثرة. ووفقاً لجدول طريقة CN يقدر معدل التسرب من هذا النوع من التربة بحوالي ١٠ مم / يوم (٠.٠١ م/يوم) في المتوسط، ومن ثم يقدر حجم التسرب من البحيرة بنحو ٦٠٠ م<sup>٣</sup>/اليوم. ويقدر إجمالي التسرب خلال ٢٤ يوماً بنحو ١٤,٤٠٠ م<sup>٣</sup> على مستوى مساحة البحيرة البالغ مساحتها ٦٠,٠٠٠ م<sup>٢</sup>، ومن ثم يقدر بذلك إجمالي الفوائد من البحيرة وحدها خلال ٢٤ يوماً بجمع كل من التبخر مع التسرب على النحو التالي:

$$٤,٩٧٢.٨ + ١٤,٤٠٠ = ١٩,٣٧٢.٨ \text{ م}^٣/٢٤ \text{ يوماً.}$$

الجدير بالذكر أنه بتطبيق نتيجة معدل التسرب والتبخر المستخرجة من القياسات الحقلية لكمية المياه في وعاء الإذابة والبالغة ٠.٠٠٩٤ م/اليوم على مساحة البحيرة تبين أنها بلغت ٥٦٤ م<sup>٣</sup>/اليوم، وهو ما يمثل ١٣,٥٣٦ م<sup>٣</sup> خلال ٢٤ يوماً، وهي قيمة منخفضة نسبياً مقارنة بالقيمة المستخرجة بطريقة CN. ويعد انخفاض القيمة الأخيرة أمراً متوقفاً، لأن طريقة CN اعتمدت على أن قاع البحيرة قوامه الرئيسي من إرسابات حصوية ورملية، في حين تعاملت الحالة الثانية مع قاع البحيرة على أنه صخري من الحجر

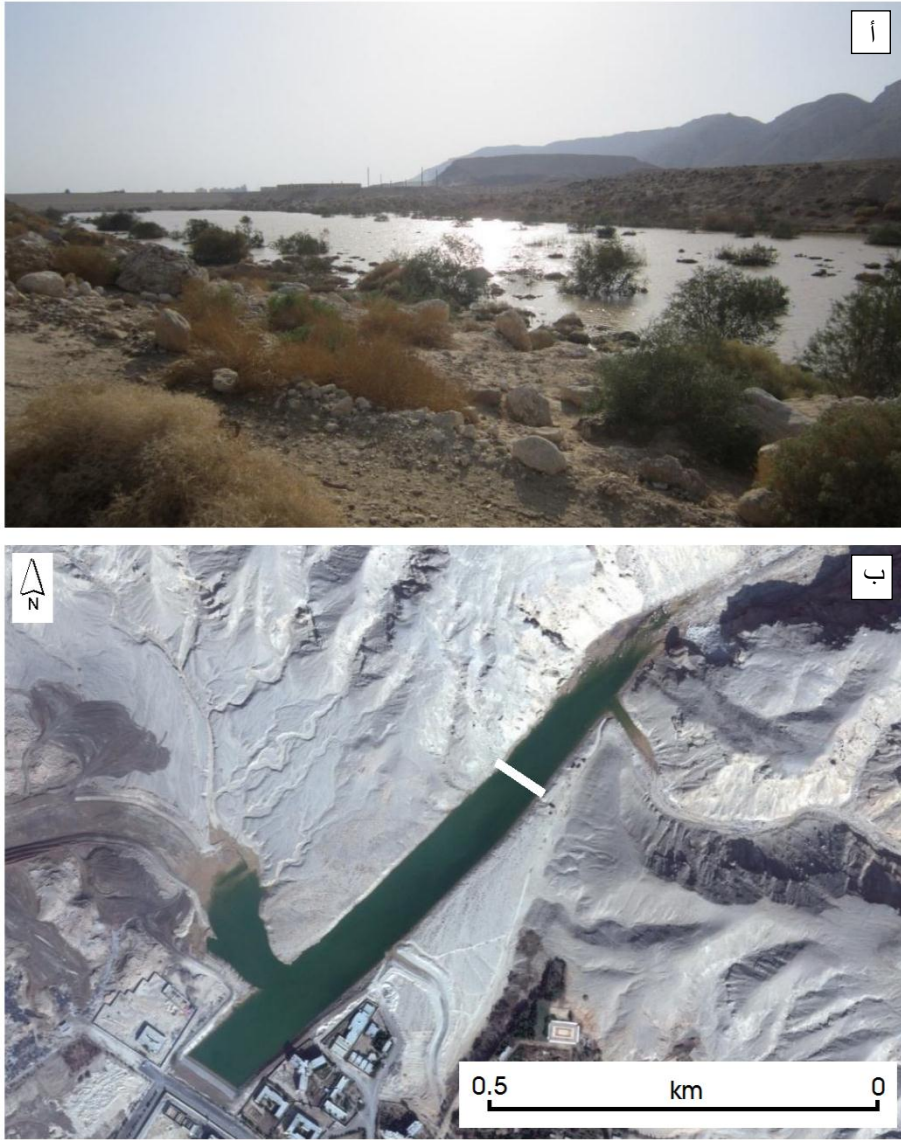
الجيري الذي من المتوقع أن يكون معدل التسرب به أقل من الرواسب الحصوية المفككة. لهذا سوف يتم الاعتماد على القيمة المستخرجة من طريقة CN لأنها الأقرب للواقع من حيث طبيعة الإرسابات. وتجدر الإشارة إلى أن التسريب السطحي للمياه ينخفض بشدة بعد تشبع الطبقة السطحية من التربة مباشرة، ذلك حيث أن تشبع الجزء السطحي من التربة يؤدي إلى تماسك حبيبات التربة وتكوين قشرة جييرية غير منفذة للمياه في المناطق الصحراوية، مما يعمل على خفض معدل التسرب تدريجياً كما هو الحال في سيل وادي العريش في ١٠ يناير ٢٠١٠ (Badawy, ٢٠١٣).

بناء على ما تقدم يكون حجم المياه داخل البحيرة بعد حدوث الأمطار مباشرة هو مجموع الفوائد (التسرب والتبخر) بالإضافة إلى حجم المياه بالبحيرة بعد ٢٤ يوماً كما يلي:

حجم المياه بالبحيرة بعد سقوط الأمطار مباشرة = ٢٤,٥١٠ + ١٩,٣٧٢.٨ = ٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup>، ويمثل ذلك في ذات الوقت محصلة الجريان السطحي الفعلي للمياه عقب سقوط الأمطار بوادي بير العين.

## ٢- طريقة نموذج الصندوق الأسود لتقدير صافي الجريان

استخدم في هذه الطريقة نموذج الصندوق الأسود Black Box Model التجريبي لإدخال كافة المتغيرات الهيدرولوجية التي تؤثر في عملية الجريان ممثلة في حالة السطح قبل الجريان وشدة الأمطار والتصنيف الهيدرولوجي للتربة السطحية ومعدلات التسرب. ويستخدم هذا النموذج على نطاق واسع للتنبؤ بالجريان السطحي بناءً على طريقة رقم المنحنى curve number method (CN)، والتي طورتها هيئة صيانة التربة بقسم الزراعة بالولايات المتحدة الأمريكية (SCS, ١٩٨٦)، وهي طريقة تستخدم عادة في المناطق التي تفتقر إلى تغطية جيدة من أجهزة قياس الأمطار، أو تلك التي تفتقر إلى سجلات المطر وقياس الجريان السطحي، فضلاً على كونها مناسبة للبيئات الرطبة وشبه الجافة والجافة، ومن ثم تعد بذلك مناسبة لمنطقة الدراسة (SCS, ١٩٨٦).



شكل ١٠: يوضح بحيرة سد وادي بئر العين، حيث توضح صورة (أ) البحيرة بعد قرابة ثلاثة أسابيع من أمطار ٩ مارس ٢٠١٤، أما صورة (ب) فهي مرئية فضائية مستخرجة من Google Earth Pro توضح البحيرة وهي مملوءة بالمياه بعد سيل يناير ٢٠١٠، ويشير الخط الأبيض إلى الحد الذي بلغته البحيرة في سيل مارس ٢٠١٤ وقد أوضحت بيانات الأمطار المستمدة من صور الأقمار الصناعية أن حالة السطح في منطقة الدراسة قبل حدوث الجريان الرئيسي Antecedent Runoff (ARC) Conditions تتدرج ضمن الحالة الجافة حيث أن (ARC=١) (لمزيد من التفاصيل أنظر SCS ١٩٨٦). كما أوضح تحليل صورة القمر الصناعي لاندسات-٨ إن الغطاء الأرضي

السائد في منطقة الدراسة هو الصحراوي الطبيعي الذي تندر به الأعشاب (أقل من ٣٠% من الغطاء الأرضي).

أما عن التصنيف الهيدرولوجي للتربة في منطقة الدراسة، فتضم منطقة الدراسة نوعين رئيسيين من التربة الهيدرولوجية هما:

- الرواسب الفيضية أو رواسب حشو الوادي وتمثل نسبة قليلة للغاية تكاد تقتصر على القناة النهرية.
- صخور الحجر الجيري المنكشفة في قاع الوادي وتتميز بكثرة الشقوق والفواصل وتأثرها بالبنية الجيولوجية، حتى أنها تؤثر في شكل وأنماط مجاري التصريف التابعة للوادي.

ويتميز كلا النوعين بانخفاض الجريان المحتمل وارتفاع معدل تحول المياه إلى تحت السطح، ومن ثم تتدرج التربة الهيدرولوجية للوادي ضمن المجموعة A والتي يقل فيها الجريان المحتمل لأقل من ٧٦.٢ سم / ساعة (USDA ١٩٨٦). في ضوء ما سبق يقدر صافي حجم الجريان السطحي في وادي بئر العين بطريقة (CN) بنحو ٢٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup>. بذلك يكون صافي الجريان السطحي بطريقة (CN) قد بلغ ثلاثة أضعاف الكمية الحقيقية التي تم حسابها بناء على القياس الحقل في الطريقة الأولى. وفي الحالتين فإن المحصلة النهائية للجريان السطحي تعد ضعيفة للغاية.

#### سابعاً: الاستنتاجات

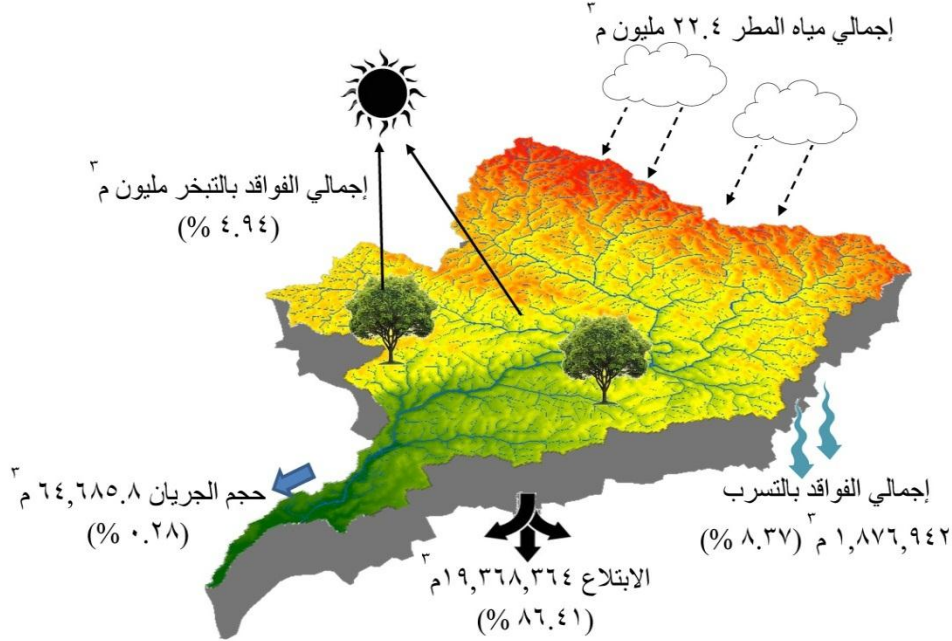
وفقاً لتحليل الميزانية المائية لوادي بير العين بطريقة القياس الحقلية تقدر كمية الأمطار التي سقطت على حوض التصريف أثناء أمطار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ بنحو ٢٢.٤ مليون م<sup>٣</sup>، وتمثل هذه الكمية بذلك هي إجمالي مدخلات المياه لنظام الكارست في وادي بير العين. من ناحية أخرى يقدر حجم الجريان السطحي المخزون في بحيرة السد عقب الأمطار مباشرة بنحو ٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup> (مجموع كمية المياه في البحيرة + مجموع الفواقد المائية بالتسرب والتبخير خلال ٢٤ يوماً من سقوط الأمطار). بذلك يبلغ الفارق بين المدخلات المائية لنظام الكارست والمخرجات حوالي ٢٢,٣٣٥,٣١٤.٢ م<sup>٣</sup>. بعبارة أخرى فإن أكثر من ٩٩.٧% من مياه الأمطار التي سقطت على حوض وادي بير العين قد تعرضت للفقْد من خلال إجمالي التبخر - نتح والتسرب والابتلاع داخل الوادي.

أما وفقاً لنموذج الصندوق الأسود فقد سبق الإشارة إلى أن صافي الجريان يقدر بنحو ٢٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup>، وهو رقم يعادل ثلاثة أضعاف الجريان السطحي المستخرج بطريقة القياس الحقلية. الطريقة (٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup>). ووفقاً لنتائج هذا النموذج فإن صافي الجريان السطحي يمثل نحو ٠.٨٩% من إجمالي المطر الساقط، بذلك يقدر إجمالي الفواقد بنحو ٩٩.١١% من إجمالي الأمطار.

ولتقدير حجم ما تم ابتلاعه من المياه فقط، أو بمعنى آخر مدى تأثير مدخلات نظام الكارست (شقوق الإذابة وبالوعات الإذابة والمجاري الجوفية المنهارة) في تحويل مياه الجريان السطحي إلى تحت السطح من خلال عمليات الابتلاع، يمكن ذلك بالتعويض في المعادلة رقم (٣) بناءً على النتائج المستنتجة من طريقتي القياس الحقلية المباشر ونموذج الصندوق الأسود يمكن تقدير الابتلاع على النحو التالي:

$$١ - مقدار الابتلاع بفعل الكارست وفقاً للقياس الحقلية = ٢٢٢,٤٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup> - (٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup>) = ١,٨٧٦,٩١٧ م<sup>٣</sup> + (١,٠٨٩,٩٥٨ م<sup>٣</sup>) = ٢٢٢,٤٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup> - ٣,٠٣١,٥٦٠.٨ م<sup>٣</sup> = ١٩,٣٦٨,٣٣٩.٢ م<sup>٣</sup>$$

ومن ثم فإن حوالي ٨٦.٤١% من إجمالي المياه التي سقطت على حوض وادي بير العين خلال أمتار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ قد تم ابتلاعها بفعل مظاهر الكارست المختلفة مثل شقوق الإذابة وبالوعات الإذابة والمجاري الجوفية وغيرها من مظاهر الكارست الأخرى (شكل ١١).



شكل ١١: الميزانية المائية لوادي بير العين وفقاً للقياس الحقلية

(النسب المئوية منسوبة لإجمالي المطر الساقط)

٢- مقدار الابتلاع بفعل الكارست وفقاً لنموذج الصندوق الأسود = ٢٢,٤٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup> - (٢٠٠,٠٠٠ م<sup>٣</sup> + ١,٨٧٦,٩١٧ م<sup>٣</sup> + ١,٠٨٩,٩٥٨ م<sup>٣</sup>) = ١٩,٢٣٣,١٢٥ م<sup>٣</sup>، أي أن ٨٥.٨٦% من إجمالي المياه التي سقطت على حوض وادي بير العين خلال أمتار ٨ و ٩ مارس ٢٠١٤ قد تم ابتلاعها.

ويمكن حساب مدى تأثير الكارست على الجريان السطحي في وادي بير العين من خلال مؤشر فعالية الكارست بالتعويض في المعادلة رقم (٤) على النحو التالي:

مؤشر فعالية الكارست وفقاً للقياس الحقلية = (١٩,٣٦٨,٣٦٤ م<sup>٣</sup> + ١,٨٧٦,٩٤٢ م<sup>٣</sup>) / (٢١,٢٤٥,٣٠٦ م<sup>٣</sup> + ٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup>) = ١,١٥٤,٦٦٨.٨ م<sup>٣</sup> / (١,٠٨٩,٩٨٣ م<sup>٣</sup> + ٦٤,٦٨٥.٨ م<sup>٣</sup>) = ١٨.٣٩، وهي تعادل نفس القيمة تقريباً بالتعويض في نتائج نموذج الصندوق الأسود (١٨.٢٨).

وتعد قيمة هذا المؤشر عالية جداً في دلالة واضحة على الارتباط الوثيق بين نظم التصريف السطحية ونظم التصريف تحت السطحية، إذ تؤدي عمليتا التسرب والابتلاع إلى تحويل معظم مياه الجريان السطحي إلى تحت السطح كتصريف كارستي، وهو ما انعكس بوضوح على انخفاض كمية الجريان السطحي الواصل إلى بحيرة التخزين. وللنتيجة الأخيرة أهمية كبيرة، حيث تشير إلى وجود مجاري جوفية ومظاهر كارست أخرى تحت السطح لها القدرة على احتواء كل هذه الكمية من المياه التي تم

ابتلاعها. ويعنى ذلك أن الكارست والعمليات المرتبطة به لا تزال نشطة في ظل الظروف المناخية الجافة حالياً، حيث تخزن مياه السيول داخل نظام الكارست وهو ما يؤدي إلى انهيار بعض هذه المظاهر مثل الكهوف والمجاري الجوفية، ويتبع ذلك تعميق لمثل هذه الأودية.

الجدير بالذكر أن نسبة ابتلاع المياه قد تختلف من وادي إلى آخر تبعاً لمدى تطور شبكة التصريف الجوفي المرتبطة به، كما أن هذه النسبة قد تختلف على مستوى الوادي الواحد تبعاً لاختلاف كمية الأمطار الساقطة عليه من عاصفة لأخرى، وليس شرطاً أنه مع زيادة كمية الأمطار وزيادة مدة السقوط تزداد كمية المياه التي يتم ابتلاعها، فعند وصول الخزان الجوفي إلى مرحلة التشبع، حينئذ لا يمكن بعدها ابتلاع أية كميات إضافية من الجريان السطحي، بمعنى أن أية كمية مطر إضافية سوف يكون مصيرها هو الجريان السطحي نحو المصب.

ويعد وجود الينابيع النشطة حالياً في وادي بير العين مثلاً واضحاً لوجود موصلات مائية كارستية قد تكون متباينة الأحجام لا تزال تقوم بدورها في تخزين ونقل المياه، كما يشير ذلك إلى استمرارية نشاط الكارست في ظل الظروف المناخية الحالية.



**Abstract****The Influence of Karst Features on the Surface Runoff in Wadi Bir al- Ain of Al- Maa'za Limestone Plateau East of Sohag, Egypt****By Ashraf Aboulfetoh Mostafa****And Moawad Badawy Moawad Badawy**

In general, studies of wadis (= dry valleys) in Al-Maa'za limestone plateaus in the Eastern Desert of Egypt have shown that water erosion is the main contributor to the formation of these wadis. However, spreading of karst features such as caves, sinkholes, collapsed underground streams, potholes, springs, gorges, karst pools, tufa and Terra Rosa soil in Wadi Bir al-Ain has led the present study to investigate the influence of the karst features on the water runoff in the trunk wadi and its tributaries.

The present study employs the systematic approach based on rain amount received by Wadi Bir al-Ain during the rainstorms; particularly occurred on ٨ and ٩ March ٢٠١٤; the output was the net stream runoff stored in the lake on the front of the dam at the wadi's outlet. Difference between the input (rain volume) and the output (net runoff) was the result of the hydro-geomorphic processes carried out within the wadi during the water flow from the upstream to the downstream. These processes were infiltration, evaporation-transpiration and water swallow which form the total water losses. Amount of water swallow, which is the most important indicator for the underground discharge of the karst system, was estimated by calculating surface infiltration and evaporation-transpiration, as well as rain volume and net stream runoff yield. The study reaches to the following conclusion; that is ٨٦.٤١% of the total rain which fell on Wadi Bir al-Ain on ٨ and ٩ March ٢٠١٤ was swallowed by karst features through sinkholes, joints, and underground streams. Therefore, there is a great necessity to review and deepen our understanding about the nature of water runoff within the limestone's areas.

**Keywords:** Wadi Bir al-Ain, Al-Maa'za plateau, Eastern Desert, karst Features

**الهوامش**

\*قيست من خريطة مصر الجيولوجية مقياس ١: ٢ مليون بواسطة برنامج ARCGIS.

\*ورد في المعجم الوسيط أن مظهر الشيء أي صفته وخصائصه، لهذا فضلت الدراسة الحالية استخدام لفظ "مظاهر" للإشارة إلى أشكال الكارست وسماتها التي تتعكس سلباً على الجريان السطحي.

\*PERSIANN-CDR =Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks -Climate Data Record.

\*\*PERSIANN-CCS =PERSIANN-Cloud Classification System.

\* رواسب أودية (مفتتات من الحصى والجلاميد) كروية الشكل، متماسكة مع بعضها البعض بفعل رواسب الطوفا.

\* عيون طبيعية يطلق عليها الأهالي محلياً لفظ بئر.

\* يستثنى من هذا الجزء بحيرة السد والتي سيرد ذكرها لاحقاً عند حساب صافي الجريان.

## المراجع العربية

أشرف أبو الفتوح مصطفى، ٢٠١٧، الكارست ودوره في تشكيل وادي بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج- مصر. المجلة الجغرافية العربية، عدد ٧٠: ١-٤١، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

معهد بحوث الموارد المائية، ٢٠١٢، تحديث الدراسة الهيدرولوجية للأودية التي تصب في مخر سيل السلاموني (محافظة سوهاج)، تقرير غير منشور.

محمد صفى الدين أبو العز، ١٩٧٧، مورفولوجية الأراضي المصرية، دار النهضة العربية، القاهرة.

## المراجع الأجنبية

Abdelkireem, H. H., ١٩٧٢. 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.*, ١٢٦ P.

Badawy, M.M., ٢٠٠٨. Applications of remote sensing and geographic information systems in geomorphological studies: Safaga-el Quseir Area, Red Sea Coast, Egypt as an Example. *VDM Verlag Dr. Mueller e.K., Germany*, ٣٠٨p.

Badawy, M.M., ٢٠١٣. Analysis of the flash flood occurred on ١٨ January ٢٠١٠ in wadi El Arish, Egypt (a case study). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ٤-٣: ٢٥٤-٢٧٤.

Badawy, M.M., Abdel Aziz, A.O., Mamtimin, B., ٢٠١٦. Flash floods in the Sahara: a case study for the ٢٨ January ٢٠١٣ flood in Qena, Egypt *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ٧-١: ٢١٥-٢٣٦.

Bonacci, O., ١٩٩٩. Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Sciences Journal*- ٤٤-٣: ٣٧٣-٣٨٦.

Chang-tong, Z., Hong, L., Dong-cai, S., Shu-ling, J., Xiao-yun, X., Mao-qiang, W., ٢٠١١. Study of karst basin SCS runoff model based on GIS and RS. *Geographical Research*, ٣٠-١: ١٨٥-١٩٤.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., ١٩٧٧. Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper ٢٤, FAO, Rome*, ١٤٤ p.

El-Baz, F., Robinson, C.A., Maxwell, T. A., Hemida, I. H., ١٩٩٨. Palaeo-channels of the Great Selima Sand Sheet in the Eastern Sahara and implications to ground water. *Palaeogeography of Africa*, ٢٦.

EL-Gamily, M. M., ١٩٧٥. Hydrogeology of wadi Bir EL-Ain, Eastern Desert, A.R.E. *Bull. Fac. Sci., Assiut, Egypt*, ٤-١: ٥١-٧١.

Embabi, N. S., ٢٠٠٤. The geomorphology of Egypt: landforms and evolution. vol. ١, The Nile Valley and the Western Desert. *The Egyptian Geographical Society, Cairo*, ٤٤٧ p.

Embabi, N.S., ٢٠١٨. Landscapes and landforms of Egypt. *Springer International Publishing*, ٣٣٦ p.

Flood Control Center, ٢٠٠٣. San Diego County Hydrology Manual, ٣٢٢ p. (*San Diego: San Diego County Flood Control Advisory Commission*).

Hume, W., ١٩٢٥. Geology of Egypt, vol. ١, *Survey of Egypt. Government Press, Ministry of Finance, Cairo*, ٤٠٨p.

Issawi, B., ١٩٨٣. Ancient Rivers of the Eastern Egyptian Desert of Egypt. *Ann. Geol. Survey of Egypt*, ٩: ٥٦-٦٦.

Issawi, B., McCauley, J., ١٩٩٣. The Cenozoic Landscape of Egypt and its River System. *Annals Geol. Survey Egypt*, ١٩: ٣٥٧-٣٨٤.

Katz, B.G., DeHan, R.S., Hirten, J.J., Catches, J.S., ١٩٩٧. Interactions between ground water and surface water in the Suwannee river basin. Florida. *J. Am. Wat. Res. Assoc.* ٣٣(٦): ١٢٣٧-١٢٥٤.

Klitzsch, E., List, F., Pöhlmann, G., Handley, R., Hermina, M., Meissner, B., ١٩٨٧. Geological map of Egypt NG ٣٦ NW- Asyut. *Conoco Coral, The Egyptian General Petroleum Corporation*.

- Markova, O.L., ١٩٦٥. The influence of karst on the maximum flow of the rivers of the East European Plains. *UNESCO, Symposium on Hydrology of Fractured Rocks, Yugoslavia, ٧-١٤ October ١٩٦٥.*
- Omara, S. M., El-Tahlawi, M.R., Abdel Kireem, H. H., ١٩٧٣. Geological mapping of the area east of the Nile Valley between Sohag and Girga, *abstract in ١<sup>st</sup> Annual Meeting, Geological Society of Egypt, pp. ٣١-٣٢.*
- Said, R., ١٩٨٣. Remarks on the origin of the landscape of the eastern Sahara. *J. African Earth Sciences, ١: ١٥٣-١٥٨*
- Salem, R., ١٩٧٦. Evolution of Eocene-Miocene sedimentation pattern in parts of Northern Egypt. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., ٦٠: ٣٤-٦٤.*
- SCS (US Soil Conservation Service), ١٩٨٦. Urban Hydrology for Small Watersheds. *Technical Report ٥٥. Springfield, VA: USDA.*
- Simons, G.W.H., Voortman, B.R., ٢٠٠٩. Quantifying the contribution of surface runoff to karst related flooding between Le Roy and Caledonia, NY. *Utrecht University & SUNY College at Brockport Brockport, NY, USA. ٨١p.*
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., ١٩٥٧. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Centerton, N.J., Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, ١٠-٣: ١٨٥-٣١١.*
- USDA, ١٩٨٦, Urban hydrology for small watersheds. *U. S. Department of Agriculture. ٣<sup>rd</sup> ed. ١٦٤p.*
- Zhang, Z., Chen, X., Huang, Y., Zhang, Y., ٢٠١٤. Effect of catchment properties on runoff coefficient in a karst area of southwest China. *Hydrol. Process. ٢٨, ٣٦٩١-٣٧٠٢.*