مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد– مجلة علمية محكمة

أودية التقويض الينبوعى بمنخفض الخارجة ، الصحراء الغربية ،مصر

(*)أ. جملات محمد محمد محمود

الملخص:

جرت العادة بين كثير من الدراسات التى تناولت الأودية الجافة بالحافة الشرقية والشمالية بمنخفض الخارجة أن التعرية المائية السطحية تعد المتحكم الرئيسي في نشأة وتشكيل هذه الأودية. إلا أن انتشار بعض المظاهر مثل رواسب الطوفا, ورؤوس الأودية ذات المسرح الروماني وبعض الينابيع بامتداد الأودية والحافات قد جعل الدراسة الحالية تتساءل إلى أي مدى تؤثر المياه الجوفية ومظاهر الكارست في طبيعة وأصل هذه الأودية, وطبيعة الجريان المائي بها.

يضم منخفض الخارجة عددا كبير من أودية التقويض الينبوعى مثلت مظهرًا جيومورفولوجيًا مميزًا, نتج بفعل عملية التقويض أو النز داخل تكوينات الحجر الجيري المنتمية للإيوسين الأسفل, وخاصة تكوين الرفوف. وتنحدر هذه الأودية باتجاه عام من الشرق إلى الغرب, وتظهر هذه الأودية دون أي مقدمات لها على سطح الهضبة, وتأخذ رؤوس هذه الأودية الشكل الهلالي أو شكل المسرح الروماني . لهذا تبدو عند النظر إليها عبر المرئيات الفضائية كتجويف داخل الحافة.

وتنشأ أودية التقويض الينبوعى بصورة مستعرضة بامتداد نطاق الضعف حيث تتحرك المياه الجوفية في اتجاه تصاعدي إلى أعلى خلال الصدوع, وتخرج المياه عند أقدام الحافة على شكل ينابيع وتحدث عملية النز أو التقويض السفلى

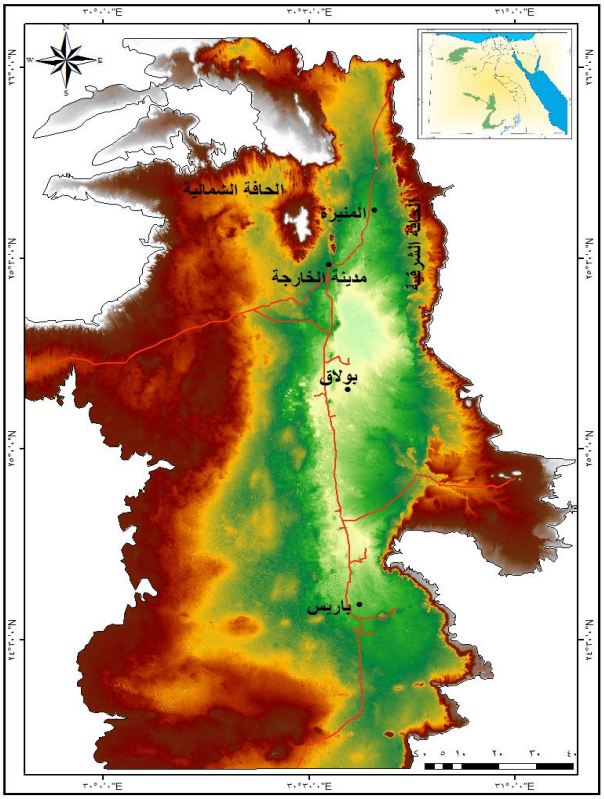
(*) معيد بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية كلية الآداب- جامعة الوادي الجديد.

للصخور الجيرية عند هذه المواضع, وتمر الأودية بمراحل متعددة تبدأ من ثقوب صغيرة إلى فجوات أكبر ثم كهوف ذات أسقف معلقة, وتستمر الأودية في التراجع عن مواضع النز مما ينتج عنه انهيار الأسقف المعلقة, ويبدأ حدوث تراجع للحافة في هذه المواضع مكونا شكل أودية ذات رؤوس هلالية منعزلة داخل الحافة .

المقدمة

يقع منخفض الخارجة على أرضية تتكون من الصخر الرملي النوبي في حين تتكون الهضاب المحيطة بالمنخفض بشكل رئيسي من الحجر الجيري (Hermina, ١٩٩٠), وينحدر من الهضبة العديد من الأودية التى تتجه غربا مثل وادى الرفوف ووادي المدورة ووادي نقب أسيوط ووادي بولاق ووادي أم سروال ووادي أم المطاعنه.

وبالرغم من وجود العديد من الدراسات التى تناولت مثل هذه الأودية في منخفض الخارجة إلا أن نشأة وتطور هذه الأودية محل نقاش ومجال لتفسيرات عديدة, ويمكن حصر آراء وفرضيات النشأة في الدراسات السابقة في فرضيتين رئيسية: الأولى هي أنها قد نشأت بفعل الجريان السطحى للمياه أثناء الفترات المطير (McCauley et al., ١٩٨٢; Said, ١٩٨٣), أما الفرضية



شكل (١) موقع منخفض الخارجة على خريطة مصر

الثانية فترى أن العملية الرئيسية التى أدت إلى نشأتها هي "عملية نز أو تقويض المياه الجوفية"(Maxwell, ١٩٨٢; Higgins, ١٩٩٠) , وقد اعتمدت الفرضية الأخيرة على أنها نشأة بفعل كلا من التعرية بفعل الجريان السطحى والتعرية بفعل نز أو تقويض المياه الجوفية (Maxwell, ١٩٨٢; Issar, ١٩٨٢; Higgins,١٩٩٠Wei Luo et al,١٩٩٧; Abotalib et al,٢٠١٦;) وقد اعتمدت الفرضيات الأخيرة على مرئيات فضائية عالية الدقة . ولقد أثار تركز العدد الكبير من أودية التقويض الينبوعى بمنطقة الدراسة القاحلة العديد من التساؤلات عن الخصائص الجيومورفولوجية لمواقع أودية التقويض الينبوعى؟ وهل أثرت الخصائص الجيولوجية في نشأة أودية التقويض الينبوعى؟ وما هي مورفولوجية أودية التقويض الينبوعى ؟ وما هي مراحل النشأة والتكوين؟ لهذا تهدف الدراسة الحالية إلى الإجابة عن هذه التساؤلات.

يهدف البحث الحالي إلى دراسة الخصائص الجيومورفولوجية التى تميز أودية التقويض الينبوعي على الحافة الشرقية والشمالية لمنخفض الخارجة. ويتناول البحث الحالي دراسة أودية التقويض الينبوعى بمنطقة الدراسة من خلال الجوانب التالية:

أولاً: طريقة الدراسة:

اتبعت الدراسة الحالية عدة مراحل في محاولة للإجابة عن تساؤلاتها ولتحقيق أهدافها, وتتمثل هذه المراحل فيما يلى:

١ – مرحلة الاطلاع على الدراسات الخاصة بموضوع ومنطقة الدراسة:

تم من خلال هذه المرحلة البحث عن الكتب والأبحاث المنشورة في مجال الأودية الكارستية بشكل عام وأودية النز أو التقويض الينبوعى بشكل خاص, بالإضافة إلى الدراسات الجيولوجية والجغرافية الخاصة بمنطقة الدراسة, بهدف

الإلمام بالأفكار والنتائج التى خلصت إليها هذه الدراسات بما سمح بتكوين رؤية واضحة عن موضوع ومنطقة الدراسة, ومن الجدير بالذكر أن شبكة المعلومات الدولية مثلت واحدة من أهم مصادر المعلومات حيث سمحت بالحصول على الكثير من الكتب والأبحاث المرتبطة بالموضوع.

٢– مرحلة حصر ودراسة الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والمرئيات الفضائية:

اعتمدت الدراسة الحالية على العديد من الخرائط الطبوغرافية التى تغطى منطقة الدراسة ذات تواريخ ومقاييس مختلفة, وهى الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ١٠٠٠٠٠ والخرائط الطبوغرافية ١: , ٢٥٠٠٠هذا بالإضافة إلى عمل ٨٠ قطاع على أودية التقويض الينبوعى باستخدام برنامج Google Earth Pro , وقد مثلت هذه الخرائط والصور وسيلة جيدة لدراسة مورفولوجية الأودية. كما استعين بالخرائط الجيولوجية (كونكو ١:٥٠٠٠٠٠) وخرائط الأطلس الجيولوجي لجنوب الصحراء الغربية (١: ٢٠٠٠٠٠٠).

٣– مرحلة الدراسة الميدانية:

مثلت الدراسة الميدانية أهم مراحل الدراسة الحالية نظرا لكونها الوسيلة الأدق لجمع البيانات في ظل ندرة الدراسات التى تناولت موضوع أودية التقويض الينبوعى من الناحية الميدانية, حيث تم عمل أربعة قطاعات طولية وثمانية قطاعات عرضية على أودية التقويض الينبوعى, وقد تم إجراء خمس زيارات ميدانية, كانت الأولى لمدة يومين ٢٢:٢٣ –١١–٢٠١٦م , أما الثانية في يوم ٢٠–١٢–٢٠١٦ م , أما الثالثة في يوم١٥–٣–٢٠١٩م, أما الرابعة في يوم ١١–٨–٢٠١٩م, أما الخامسة في يومى٥–٢–٢٠٢٠ و ١١–٢–٢٠٢٠م وقد أسهمت الدراسة الميدانية في التعرف على الملامح المورفولوجية وإجراء القياسات

والوصف الدقيق والتقاط الصور وغيرها من المعلومات التى أسهمت في التعرف على مراحل نشأة وتطور أودية التقويض الينبوعى بمنطقة الدراسة.

٤– مرحلة تحليل البيانات إحصائياً وتمثيلها كارتوجرافياً:

بعد جمع البيانات جاءت مرحلة تحليل البيانات التى تم جمعها من الدراسة الميدانية والصور الفضائية واستخلاص النتائج وتقدير إمكانية تعميمها وذلك باستخدام الأسلوب المناسب وذلك من خلال رسم القطاعات المختلفة وذلك باستخدام برنامج ArcGIS١٠.٢.

٥– مرحلة كتابة البحث ومراجعته:

تعد من أهم المراحل وآخر خطوة من خطوات إعداد البحث, وتم فيها البدء من العام إلى الخاص حيث تم مراعاة توضيح تطور المعرفة بالتعرية الناتجة بفعل النز أو التقويض, والفرق بين أودية التقويض الينبوعى وأودية الجريان السطحى, وأهم الملامح المورفولوجية المميزة لها, وأنواع الرواسب المرتبطة بها, وتمثلت صعوبة هذه المرحلة في كيفية توظيف البيانات المتنوعة التى تم جمعها خلال المراحل السابقة لتخدم أهداف البحث.

ثانيًا : مورفولوجية وجيولوجية منطقة الدراسة

تقع أودية التقويض الينبوعى على كلاً من الحافة الشرقية والشمالية لمنخفض الخارجة على منسوب يتراوح بين٣٠٠ : ٥٥٠ مترًا, وتقسم منطقة الدراسة جيومورفولوجيا إلى ثلاثة أقسام رئيسة: سطح الهضبة, وجوانب الأودية, وقاع الأودية. ويتراوح منسوب سطح الهضبة ما بين ٣٠٠م إلى ٥٥٠م, وأكثر أجزاء الهضبة ارتفاعا في منطقة الدراسة توجد أقصى الشرق والشمال الشرقي, لهذا فإن الانحدار العام لسطح الهضبة نحو الغرب والجنوب الغربي, وهو تقريبا الاتجاه العام لأودية التقويض الينبوعى بمنخفض الخارجة. يتخلل سطح الهضبة خطوط

صدوع وفواصل تحكمت في نشأة العديد من أشكال الكارست على سطحها. أما الوحدة الثانية هي جوانب الأودية فتتسم بارتفاعها المميز لاسيما بامتداد المجرى الرئيسي, حيث يتراوح ارتفاعها ما بين ٣٠٠–٤٥٠مترا, وتتسم الجوانب بشدة انحدارها ويظهر القطاع العرضي للأودية خانقي الشكل في كل قطاعاته لاسيما مع صغر متوسط عرض الأودية الذى يتراوح ما بين ١٦.٥: ٨٠.٤ مترا. أما الوحدة الثالثة وهى قاع الأودية فتتسم بقلة عرضها الذى قد لا يتعدى ٢٦١م, ويتراوح متوسط منسوب قاع الأودية ما بين ٧٢و٣٠٠مترا.كما تتسم قيعان الأودية بوجود العديد من نقاط التجديد التى ارتبط بعا العديد من ظواهر الكارست.

من الناحية الجيولوجية فقد نشأت هذه الأودية ضمن تكوينات طيبة متمثلة في تكوينات الحجر الجيري المنتمية للزمن الثالث(الإيوسين الأسفل– الباليوسين) والذى تغطى تكويناته سطح حافات منخفض الخارجة المتمثلة في تكوينات عصر الأيوسين الأدنى إذ لوحظ أنها تمثل أفضل التكوينات لنشأة مثل هذا النوع من الأودية, وذلك لما تتميز به من مسامية ونفاذية, حيث تتألف من تتابع سميك من الحجر الجيري الشعبي مع تداخلات من الطفل والمارل والعقد الصوانية, وفيما يلى توضيح لهذه التكوينات من الأحدث إلى الأقدم:

١–تكوين كركر: Karkur Formation

ينتمى إلى عصر الباليوسين, وهو عبارة عن تتابع من الحجر الجيري الذى يحتوى على حفريات جيرية , ويتكون من طبقتين من الصخور الجيرية يفصلهما طبقات من الطفل والحجر الرملي مع تداخلات من الطفل الرملي , ويتدرج هذا التكوين في اللون بين الأصفر والبنى , ويبلغ سمكه نحو ٣٩م بالحافة الشرقية (Hermina,١٩٩٠,P٢٧٩), ويظهر عند الجزء الجنوبي من الحافة الشرقية

بداية من شرق باريس وحتى جنوب المنخفض, ويشغل مساحة تبلغ نحو ٢١٣,٣كم٢ بنسبة ١,٢ ٪ من إجمالي مساحة المنخفض.

٢–تكوين طروان: Tarawan Formation

ينتمى إلى عصر الباليوسين, ويتألف من تتابع للحجر جيري و الطباشيري أبيض اللون يميل إلى الاصفرار غنى بالحفريات, وبه طبقة من الكونجلومرات يتراوح سمكها بين ١٠– ٢٠سم, ويبلغ سمكه نحو ٥٠م بجبل طروان بمنخفض الخارجة (Hermina,١٩٩٠,P٢٨٢), ويظهر بمنحدرات الحافتين لشمالية والشرقية فيما بين نقب أسيوط شمالاً وشرق باريس جنوباً, وفى قمة جبل طارف حيث يبلغ سمكه نحو ٣٠م, وقمة جبلى الطير وقرن جناح, ويشغل مساحة تبلغ ٩٠٨,٢كم٢ بنسبة ٥,٣ ٪ من إجمالي مساحة المنخفض.

٣–تكوين جارا : Garra Formation

ينتمى إلى عصر الباليوسين, ويتكون من تتابع طبقات سميكة من الحجر الجيري مع تداخلات من المارل والطفل والطفل الجيري, ويبلغ سمكه نحو ٥٠م شرق باريس (Hermina,١٩٩٠,P٢٧٩), ويشغل مساحة تبلغ ٢٢٧كم٢ بنسبة ١,٣ ٪ من إجمالي المنخفض.

٤–تكوين إسنا: Esna Formation

ينتمى إلى عصر الباليوسين, ويتكون من تتابع سميك من الطفل المتداخل مع طبقات المارل و تداخلات من الحجر الجيري, ويتكون بشكل رئيسي من طفل رمادي مائل للاخضرار وطفل أسمر مائل للاخضرار, ويتدرج بالاتجاه إلى أعلى إلى طفل رمادي عند القمة, وعند السطح يكون الطفل رقيق جداً, ويزيد سمكه في شمال المنخفض عن جنوبه , ويصل سمكه حوالى ١٣٠م في جبل أم الغنايم شمالاً, بينما يبلغ ٤٥م شرق قرية جاجا جنوبا (Hermina,١٩٩٠,P٢٨٢), ويظهر

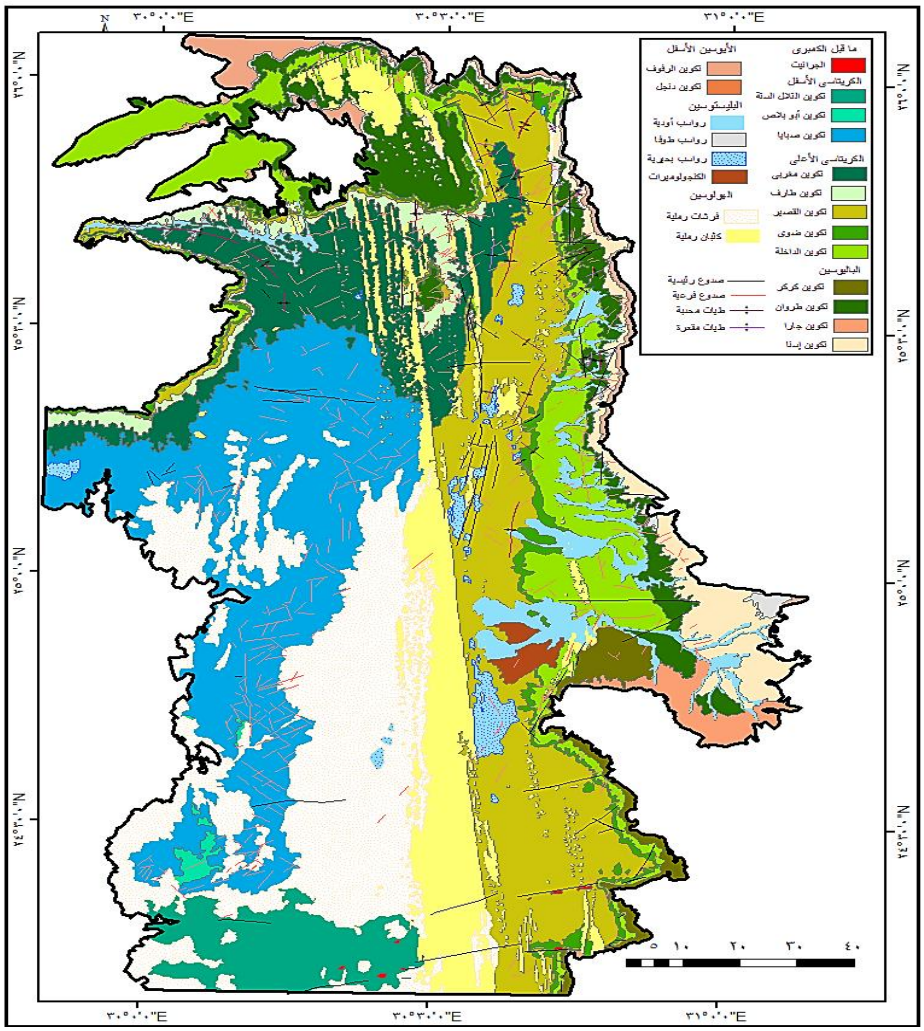
في المنحدرات الشرقية والشمالية للمنخفض, ويشغل مساحة تبلغ ٥٩١,٧كم٢ بنسبة ٣,٥ ٪ من إجمالي مساحة المنخفض.

٥– تكوين الرفوف:

ينتمى إلى عصر الأيوسين الأدنى ويرتكز على تكوين إسنا ويدخل ضمن مجموعة طيبة, ويتكون من تتابع سميك من الحجر الجيري مع تداخلات مارلية, ويصل سمكه نحو١٤٦م في جبلي الطير وأم الغنايم, بينما يقل السمك ليصل إلى ٢٢م شرقي باريس ودوش, حيث توجد بعض الصدوع (Awad & Ghobrial,١٩٦٥,PP.٣٢–٣٣), وتشكل طبقاته الحافة الشرقية والشمالية لمنخفض الخارجة حتى دائرة عرض ٦ ´ ٢٥ ° , ويشغل مساحة تبلغ ٢٨٥,٥كم٢ بنسبة ١,٧ ٪ من إجمالي مساحة المنخفض, ويتميز هذا التكوين بانتشار الأودية في طبقاته العليا.

٦– تكوين دنقل:

ينتمى إلى عصر الأيوسين الأدنى ويرتكز على تكوين إسنا ويدخل ضمن مجموعة طيبة, ويتكون من تتابع سميك من الحجر الجيري الشعبي مع تداخلات من الطفل والمارل وعقد الصوان, ويصل سمكه نحو١٥٠م , ويمثل سحنة تكوين طيبة في منطقة جاجا , وشمال هضبة أبو طرطور(محمد البهي العيسوى,١٩٨٩, ص٢٢٦), حيث توجد بعض الصدوع وتظهر طبقاته كحافة ثانوية على طول حافتي المنخفض الشمالية والشرقية حتى دائرة عرض ٦ ´ ٢٥ ° , ويشغل مساحة تبلغ ٢٨٥,٥كم٢ بنسبة ١,٧ ٪ من إجمالي مساحة المنخفض.

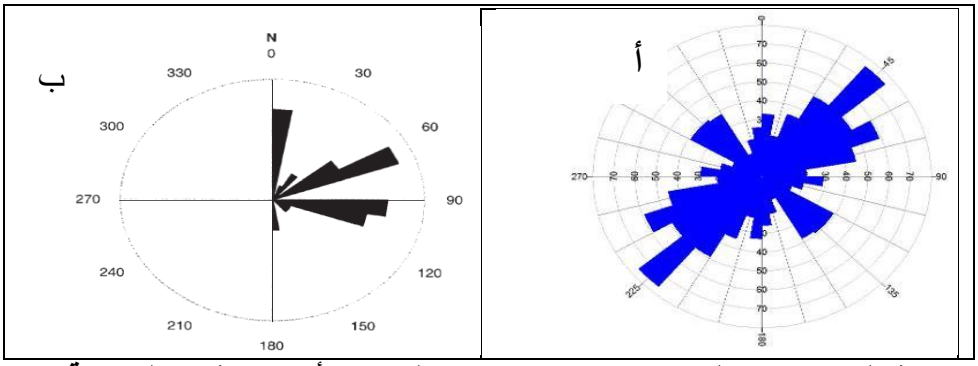


شكل (٢) التكوينات والبنية الجيولوجية لمنخفض الخارجة

البنية الجيولوجية

يتضح من خريطة كونكو ١: ٥٠٠٠٠٠ (لوحة الأقصر) وخرائط الأطلس الجيولوجي لجنوب الصحراء الغربية ١: ٢٠٠٠٠٠٠ (لوحة الخارجة وباريس) أن منطقة الدراسة تتصف ببنية غير معقدة, حيث تقتصر الظاهرات البنيوية على

مواضع محلية وليس لها امتداد إقليمي, كما توضح أيضا وجود مجموعة كبيرة من الصدوع وعدد قليل من الطيات, توجد مجموعة من أنظمة الصدوع التى تختلف في اتجاهها وأطوالها, ويمكن تمييز نوعين من الصدوع وهما صدوع رئيسة يبلغ عددها ٢٨صدعًا ويرجع إليها كثير من مظاهر الاضطراب والقلقلة في ترتيب الطبقات الصخرية في أجزاء مختلفة من حواف المنخفض والجبال المنتشرة داخله(Ghobrial, ١٩٦٧ , P ١٦), وصدوع ثانوية يبلغ عددها ١١٠٢, والاتجاهات السائدة لهذه الصدوع هي: الشمالية الشرقية – الجنوبية الغربية, الشمالية الغربية – الجنوبية الشرقية, الشمالية الجنوبية, الشرقية – الغربية. ويعد الاتجاه الشمالي الشرقي هو السائد في الأودية, حيث يتفق أغلب القطاعات الطولية للأودية وروافدها كما في شكل (٣).



شكل(٣) وردة الصدوع توضح اتجاهات الصدوع(أ) بمنخفض الخارجة ,و(ب)اتجاهات أودية نقب الرفوف

ثالثاً:مفهوم عملية التقويض الينبوعى والأودية المرتبطة بها:

يقصد بها العملية التي تسبب حركة للتربة والصخر عندما يحدث تدفق للماء الأرضي عبر المسام(المتوسطة) ثم تعود مرة أخرى إلى الخروج عبر الأسطح المنحدرة الخالية من المفتتات، و مع استمرار هذه العملية يحدث ضعف قوة

التحمل أدنى المنحدر، مما يؤدي إلى حدوث انهيار للصخور المعلقة كنتيجة للتقويض السفلي. (Luo, et al ١٩٩٧).

ويفسر (Laity and Malin, ١٩٨٥) عملية التقويض بفعل الماء الجوفي **Groundwater–sappinig** بأنها العملية المؤدية إلى تقويض وانهيار قمة الوادي والجدران الجانبية عن طريق إضعاف قوة تحمل أدنى المنحدر نتيجة لتعظيم دور التجوية والنحت بسبب تدفق السوائل المركزة في مواقع التسرب للمياه الجوفية. ولخص (١٩٩٠) Dunne هذه المصطلحات وأصبحت أكثر تبسيطا حيث يرى أن النز أو التقويض بفعل المياه الجوفية هو العملية التى تسبب انجراف للتربة أو الصخور عندما تتدفق المياه الجوفية من وسط مسامى عند سطح المنحدر الحر الخالي من المواد المفتتة مما يؤدى إلى ضعف قوة التحمل أسفل المنحدر. واعتمدت دراسات عديدة عليه منها دراسة(١٩٩٧)Luo السابقة . و تعرض لها (١٩٩٧) Nash بقوله" إن نشأة الأنابيب و نشأة الأنابيب تحت السطحية إما أن تنتج بفعل" التفريغ الخطي للإرسابات tunnel (piping) " scourهو بفعل(تعرية نز المياه . seepage erosion) و إذا حدث لهذه الأنابيب انهيار فإن ذلك يؤدي إلى نشأة قناة، وتؤدي في النهاية إلى نشأة وادي ، وكلا من عملية التفريغ الخطي للإرسابات و تعرية نز المياه يؤديان إلي عملية تقويض سفلي لقواعد الجروف ويتبع ذلك حدوث تساقط للكتل، و إذا كان تدفق الماء مركز بشكل كافي لنشأة عيون أو ينبوع حينئذ تسود عملية التقويض الينبوعي spring sapping .(Jennings ١٩٨٥)

ويرى (Laity,١٩٨٨) أن هناك شروط ضرورية لحدوث عملية النز أو التقويض بفعل المياه الجوفية وهى: طبقة المياه الجوفية القابلة للنفاذ, ونظام المياه الجوفية القابلة لإعادة الشحن أو التغذية، والوجه الحر الخالي من المفتتات

الذي يمكن أن تظهر فيه المياه الجوفية، ووسيلة لنقل المواد المفتتة من الوجه الحاد على المنحدرات, بالإضافة إلى التحكم الهيكلي من خلال الصدوع وقدرة التوصيل الهيدروليكية العالية. وتنتج عمليات النز أو التقويض بفعل المياه الجوفية Sapping قنوات تهاجر إلى المنبع في الجرف(النحت التصاعدي)، مع جوانب شديدة الانحدار وأرضيات مسطحة ورؤوس تشبه المسرح تفتقر إلى روافد متطورة.

يقصد بالأودية العادية هي تلك الأودية المتعارف عليها الناتجة بفعل الجريان السطحى للماء. وقد جرت العادة على إطلاق مصطلح "النمط الهورتونى هو "التدفق الهورتونىHortonian flow " على هذا النوع من الأودية. ويرى Kaufmann (٢٠٠٢) في دراسته عن دور التعرية النهرية للمجاري المائية والتعرية الكارستية السطحية لأسطح الهضاب أنه في الوقت الذى تتركز فيه التعرية النهرية بشكل رئيسي بامتداد القنوات أو المجاري, فإن التعرية الكارستية كانت أكثر تماثلا وانتظاما بامتداد السطح كله, كما تبين أن أسطح الهضاب شبة المستوية أكثر تأثرا بالتعرية الكارستية بالمقارنة بالتعرية النهرية, وبالطبع فإنه في حالة وجود فواصل وانكسارات سوف تنشط الإذابة عبرها بمعدلات أكبر. (أشرف أبو الفتوح,٢٠٠٧,ص٣١٣)

و تمارس المياه الجارية نحتها لأوديتها من خلال أربع عمليات رئيسه هي : الفعل الميكانيكي للمياه Hydrolic action والنحت بواسطة ما تحمله المياه من حمولة Corrosion ثم عملية السحق Attrition وأخيرًا عملية الإذابة Solution نجد أن العكس يحدث في التعرية الكارستية التى تمارس دورها في التعرية من خلال عملية رئيسة هي عملية الإذابة. وقد انعكس ذلك بشكل رئيسي على طبيعة المواد المنقولة فهي في حالة الجريان السطحى تشمل الحمولة المجرورة Traction والحمولة القافزة Saltation والحمولة العالقةSuspension والحمولة المذابة Solute. أما في حالة التعرية الكارستية فهي حمولة مذابة بالدرجة الأولى,

بالإضافة إلى الحمولة العالقة, وهذا قد انطبع على طبيعة المواد المرسبة, فهي في حالة الأودية النهرية تتمثل في أشكال عديدة مثل المراوح الفيضية, أما في حالة التعرية الكارستية فهي إرسابات كيميائية بالدرجة الأولى ومواد جيرية ناعمة وبعض المتبقيات. ويتخذ نقل الإرسابات في حالة الجريان السطحى امتدادا أفقيا يبدأ من حدود حوض التصريف نحو المصب منتهيا بالمراوح الفيضية, أما في حالة الأودية الكارستية فإنها تخلو من هذه المراوح ويكون الترسيب في أغلبه ذو امتداد رأسي ويغلب عليه الإرسابات الكيميائية. (أشرف أبو الفتوح ,٢٠٠٧, ص ٣١٤)

وعلى الرغم من هذا التباين الواضح بين خصائص الأودية النهرية والأودية الكارستية(جدول١), إلا أن التعرف على تأثير كلا منهما أو فصل تأثيرهما في نشأة وتكوين الأودية ليس سهلا خاصة في الأراضي الجيرية, فالمياه عندما تمارس دورها في التعرية لا تميز في دورها بين الجريان السطحى والإذابة, ولكن يتحدد ذلك أينما توافرت ظروف سطح مناسبة, ولما كانت ظروف السطح التى في مراحل انتقالية تسمح بنشأة الجريان السطحى وتحت السطحى في آن واحد, لهذا يتداخل أثر العمليات, وهو ما انطبع على بعض الأشكال منها الأودية. (أشرف أبو الفتوح,٢٠٠٧,ص ٣١٥)

ومن هنا يمكن القول أن الأودية الكارستية هي " أودية تأثرت في نشأتها بعملية الإذابة تحت السطحية, لهذا تبدو قطاعاتها أو أجزاء منها ذات خصائص تشير إلى ذلك مثل: الجوانب شديدة الانحدار أو تلك التى عدلت بعد أن كانت الانحدارات الشديدة, أو الانفتاح على كهوف سفلية, وهو ما يجعلها تختلف عن شبكات التصريف النهري المتكاملة".(أشرف أبو الفتوح,٢٠٠٧,ص٣١٦)

جدول(١) الفرق بين أودية التقويض الينبوعى وأودية الجريان السطحى

المتغير	أودية الجريان السطحى	أودية التقويض الينبوعى
شكل الحوض	مستطيل الشكل أو ممدود	يشبه المسرح أو دائري الشكل أو مقعرة
نهاية الوادي(أعاليها)	مدبب تدريجيا	مسرحي فجائي
اتجاه القناة	موحد	متغير
نمط الوادي	متوازي	شجري
زاوية التقاء الروافد	أقل من ٤٠°:٥٠°	أكبر من ٥٥°: ٦٥°
روافد المصب	متكررة وكثيرة	نادرة وقليلة
كثافة التصريف	متوسط	منخفض
تماثل المجاري أو تطابقها	متماثل – منتظم	غير متماثل – غير منتظم
المقطع العرضي	شكل حرف V	شكل حرف U
عرض الوادي	اتساع المصب	ثابت نسبيا
طول الروافد	طويلة نسبيا	قصيرة نسبيا
البنية (الصدوع)	أقل تأثير	قوية التأثير
مساحة الحوض	عالية جدا	منخفض

المصدر: Kochel and Pipe (١٩٨٦) and Schumm et al. (١٩٩٥).

رابعًا: مورفولوجية أودية التقويض الينبوعي والأشكال المرتبطة بها

تعد أودية التقويض الينبوعى من الأشكال الجيومرفولوجية النادرة على مستوى مصر, فعلى الرغم من ظهور هذه الأودية من خلال الصور الجوية والمرئيات

الفضائية, إلا ان القليل من الدراسات هي فقط التى تناولتها بالدراسة الحقلية مثل دراسة "أشرف أبو الفتوح، ٢٠٠٧ في منخفض الفرافرة. وتتميز أودية التقويض الينبوعى بمجموعة من الخصائص المورفولوجية التى تميزها عن غيرها من الأودية, وقد تشكلت هذه المظاهر المورفولوجية بفعل نمط تدفق المياه الجوفية والتى تكون في حركة تصاعدية, ويتم رصد هذا النمط من الأودية والظاهرات المورفولوجية المرتبطة به عبر المرئيات الفضائية كتجويف داخل الحافة الشرقية لمنخفض الخارجة.

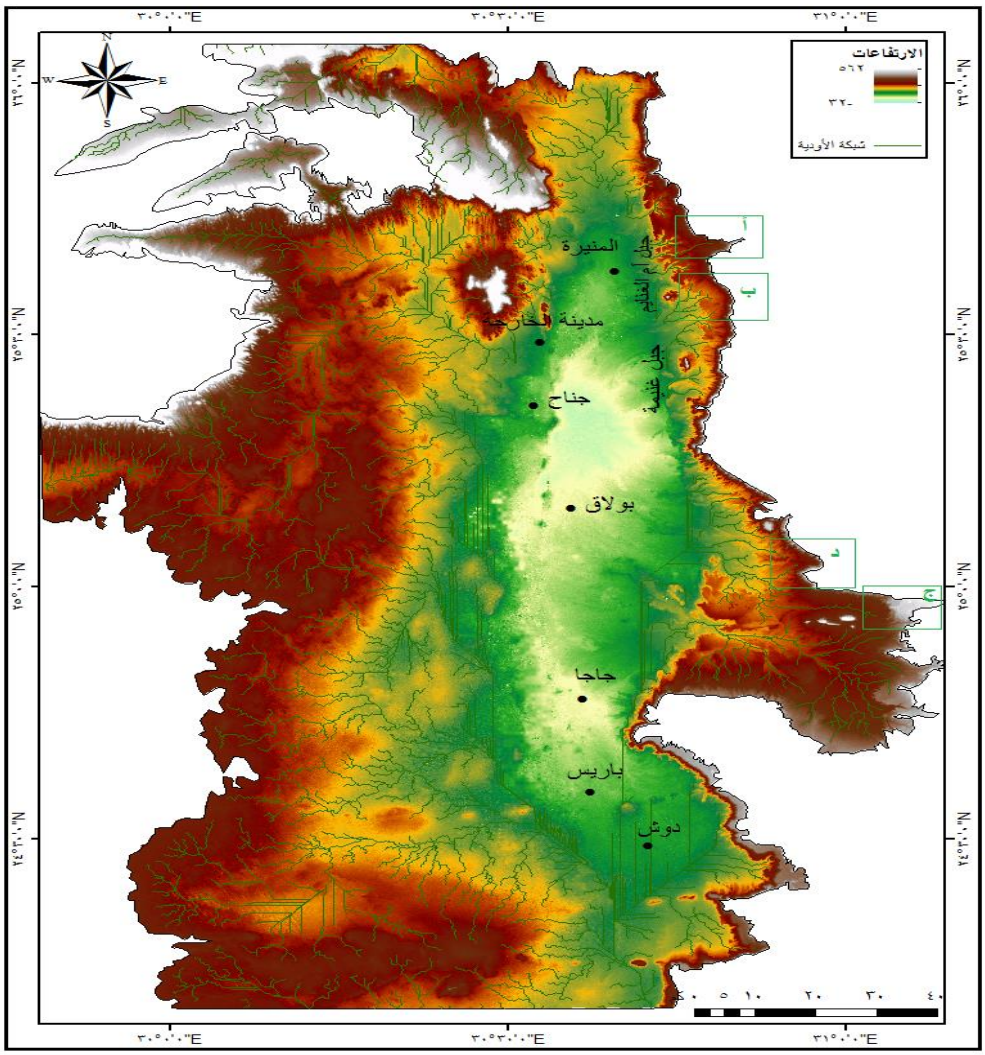
وتتطور أودية التقويض الينبوعى على المستويين الأفقي والرأسي, ويساعد على التطور الأفقي نطاقات التتابع الصخري حيث تنشأ في نطاق ضعف نسبيا مقارنة بالطبقات التى تقع أسفل منها والتى تعلوها, بينما يعكس التطور الرأسي التباين في مسامية الصخور ونطاقات الضعف في الانتقال من مستوى لآخر(Abotalib, Z. A., Sultan M., and Elkadiri, R., (٢٠١٦). وينطبق هذا على أودية التقويض الينبوعى في منخفض الخارجة, حيث تنشأ أودية التقويض الينبوعى في تكوين الرفوف الذى يمثل سطح حافة المنخفض الشرقية, وهو يتكون من الحجر الجيري التى يبلغ سمكها حوالى ١٥٤م, وتتميز الأودية بأنها تتبع أكثر اتجاهات الصدوع المنتشرة على الحافة مما يؤدى إلى قلة تعرجها, حيث تعد الصدوع بمثابة القنوات التى يتم من خلالها نقل المياه الجوفية إلى النطاق التى تتكون به الأودية, وتتميز بقصر طول الروافد القادمة من الحافة وبالتالي انخفاض كثافة التصريف, وجدرانها حادة الناتجة عن عملية النز , وأرضية شبة مسطحة.

و تتميز أودية التقويض الينبوعى بأن نهايتها (أعاليها) تبدو في شكل أودية ذات رؤوس مقعرة, والمسقط الرأسي يبدو متخذا شكل حرف U وفى بعض الأحيان شكل حرف V أو الشكل الهلالي, ويختلف ذلك تبعا للمرحلة التطورية التى يمر

بها الوادي, حيث يشتد انحدار جانبيه نحو القاع الذى يتميز باستوائه النسبي, وتتميز أودية التقويض الينبوعى بشكل عام بقصر قطاعه الطولي, كما تتميز القطاعات الطولية باستقامتها وعدم تعرجها وذلك بسبب ارتباطها بمناطق الصدوع التى كانت تمثل مناطق التوصيل الهيدروليكي, وانخفاض كثافة التصريف. وتظهر هذه الأودية دون أي مقدمات لها على سطح الحافة.

أما جوانب الأودية فتتسم بارتفاعها المميز لاسيما بامتداد المجرى الرئيسى,حيث تتراوح ارتفاعها ما بين ١٥٠–٢٢٠مترا, وتتسم الجوانب بشدة انحدارها ويظهر القطاع العرضي للأودية خانقي الشكل في كل قطاعاته لاسيما مع صغر متوسط عرض الأودية الذى يتراوح ما بين ٦٠: ٢٦٠مترا. تتسم جوانب الأودية بوجود العديد من الروافد التى تبدو كأودية معلقة, حيث لم تستطع مصباتها أن تصل إلى قاع الأودية الرئيسية.

يتسم قاع الأودية بقلة عرضها الذى قد لا يتعدى ١٧٠م, ويتراوح متوسط منسوب قاع الأودية ما بين ٧٢و٣٠٠مترا.كما تتسم قاع الأودية بوجود العديد من نقاط التجديد التى ارتبط بعا العديد من ظواهر الكارست.



شكل (٣) نموذج الارتفاع الرقمي لمنخفض الخارجة وموقع القطاعات التضاريسية

وسوف يتم تناول الخصائص المورفولوجية لأربعين وادي بمنخفض الخارجة من حيث الطول وشكل القطاع الطولي, والعرض وشكل القطاع العرضي, والعمق والظاهرات المرتبطة به. ودرجات انحدار أودية التقويض الينبوعى:

أ- طول الأودية

يتبين من جدول (٢) الذى يوضح أبعاد أودية التقويض الينبوعي لعدد أربعين واديًا أن طول الأودية يتراوح بين ١٣٠ : ٩٠٢٩ متر, بمتوسط عام بلغ ٦٨٨.٧م, كما يتضح أن أكثر الأطوال شيوعا ٥٠٧م الذى يمثل قيمة المنوال. والجدير بالذكر أن الأودية الأطول من الكيلو متر وقد يصل طولها ٩٠٢٩م إنما هي في الحقيقة متأثرة بشكل كبير بالصدوع الموضعية وتأخذ نفس اتجاهات هذه الصدوع. ونخلص من ذلك أن السمة السائدة لأطوال هذه الأودية بانها صغيرة , مقارنة بأودية الجريان المائي العادية . ومن ناحية أخرى فقد بلغ متوسط طول الأودية لبيانات القياس الميداني ٤٢٠.٩م وتراوح بين ٣٣٨.٤: ٤٨٣.٨م.

جدول (٢) الخصائص الإحصائية لأبعاد أودية التقويض الينبوعى

	طول الأودية	عرض الأودية	عمق الأودية
المتوسط	٦٨٨.٧	٤٦.٩	٥١.٤
أدنى قيمة	١٣٠	١٥.٧	٩.٥
أقصى قيمة	٩٠٢٩	٢٦١	١٣٥
الوسيط	٤٧٤	٣٨.٣	٥١.٣
المنوال	٥٠٧	٣٢.٦	٥٣

اعتمداد على برنامج Googel Earth Pro

ب-عرض الأودية:

يتبين من جدول (٢) أن عرض الأودية يتراوح بين ١٥.٧- ٢٦١م بمتوسط عام ٤٦.٩م. وأن العرض الشائع للأودية ٣٢.٦م , كما أن معظم الأودية تقع في الفئة التى تتراوح بين ٣٠- ٤٠م حيث شغلت ٣٠.٥٪ من إجمالي عرض الأودية, ثم الفئة بين ٤٠- ٦٠م وشغلت ٢٥٪, وبوجه عام فإن حوالى ٩٠.٢٪ من عرض

الأودية يقع بين ٢٠– ٨٠م. ومن ناحية أخرى فإن بيانات القياسات الحقلية تشير إلى أن عرض الأودية تراوح بين ١٦.٥– ٨٠.٤م بمتوسط عام بلغ ٤٢.٧م.

ج– عمق الأودية:

يتبين من بيانات جدول (٢) أن عمق الأودية قد تراوح بين٩.٥– ١٣٥م بمتوسط عام ٥١.٤م. وأن العمق الشائع للأودية ٥٣م, كما أن معظم الأودية تقع في الفئة بين التى تتراوح بين ٤.٥– ٣٥م حيث شغلت ٣٥.٩٪ من إجمالي عمق الأودية' ثم الفئة بين٤٠– ٧٥م وشغلت ٢٠.٤٪ وبوجه عام فإن حوالى ٩٥.٣٪ من عمق الأودية يقع بين ٥– ٩٠م. ومن ناحية أخرى فإن بيانات القياسات الميدانية تشير إلى أن عمق الأودية تراوح بين بمتوسط عام ١١٢م.

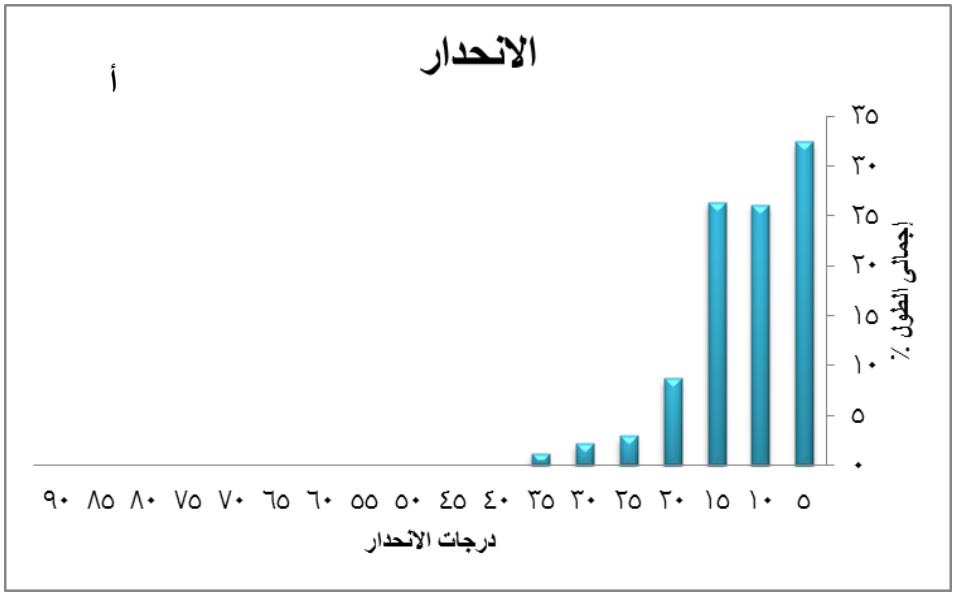
د– خصائص منحدرات أودية التقويض الينبوعى:

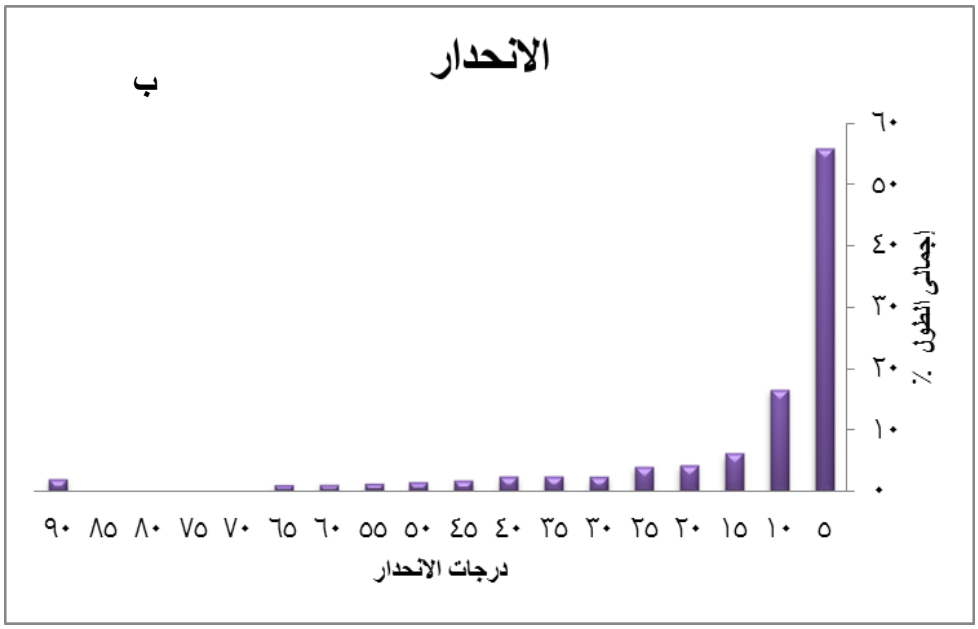
يهدف هذا الجزء إلى التعرف على شكل سفوح أودية التقويض الينبوعى وذلك من خلال تحليل درجات الانحدار والتعرف على شكلها . كما أن دراسة شكل هذه الأودية سوف يلقى الضوء على طريقة نشأة هذا النوع من الأودية. وللتعرف على هذه الخصائص تم قياس ١٠٠ قطاعًا عرضيا على ١٠٠ واديًا باستخدام برنامج(Google Earth Pro) وتم الاعتماد على عدد ٤٠ منها. وبلغ إجمالي طولها ٥٩٨٥.٦م تقريبًا. وبلغ أطول قطاع عرضي ٢٦١م, وأقصر قطاع ١٥.٧ بمتوسط علم بلغ ٤٦,٩م للقطاع الواحد. أما القطاعات الطولية فقد تم قياس ١٠٠ قطاعًا طوليًا بامتداد مجرى الوادي بدءًا من مدخلة حتى نهايته عند أعلى نقطة على الحافة, وقد بلغ إجمالي طول القطاعات الطولية ٥٩٩١٤.٧م تقريبا بمتوسط عام ٦٨٨.٧ للقطاع الواحد, وبلغ أطول قطاع ٩٠٢٩م, وأدنى قطاع ١٣٠م.

د–١– القطاعات العرضية لأودية التقويض الينبوعى:

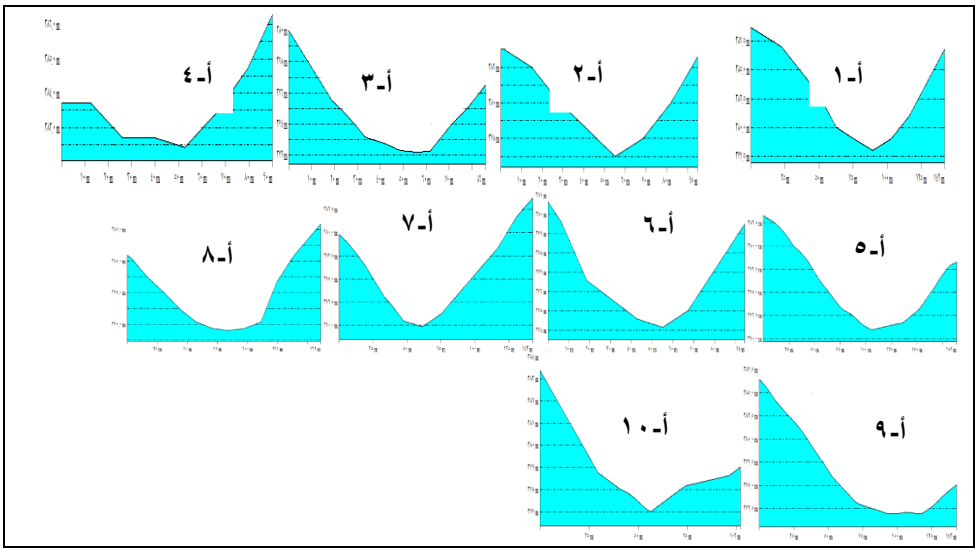
يتضح من شكل(٤ و٥) أن توزيع درجات الانحدار لإجمالي القطاعات العرضية للأودية قد تميز بوجود مجموعتين الأولى وهى الرئيسية وتراوحت بين ٣و ١٥ درجة حيث شغلت حوالى ٧٤.٥٪ من إجمالي القطاعات العرضية للأودية. أما المجموعة الثانية فقد مثلتها درجة الصفر وشغلت ١٠.٤٪ من إجمالي طول القطاعات العرضية, وتركزت في العادة في قيعان الأودية .

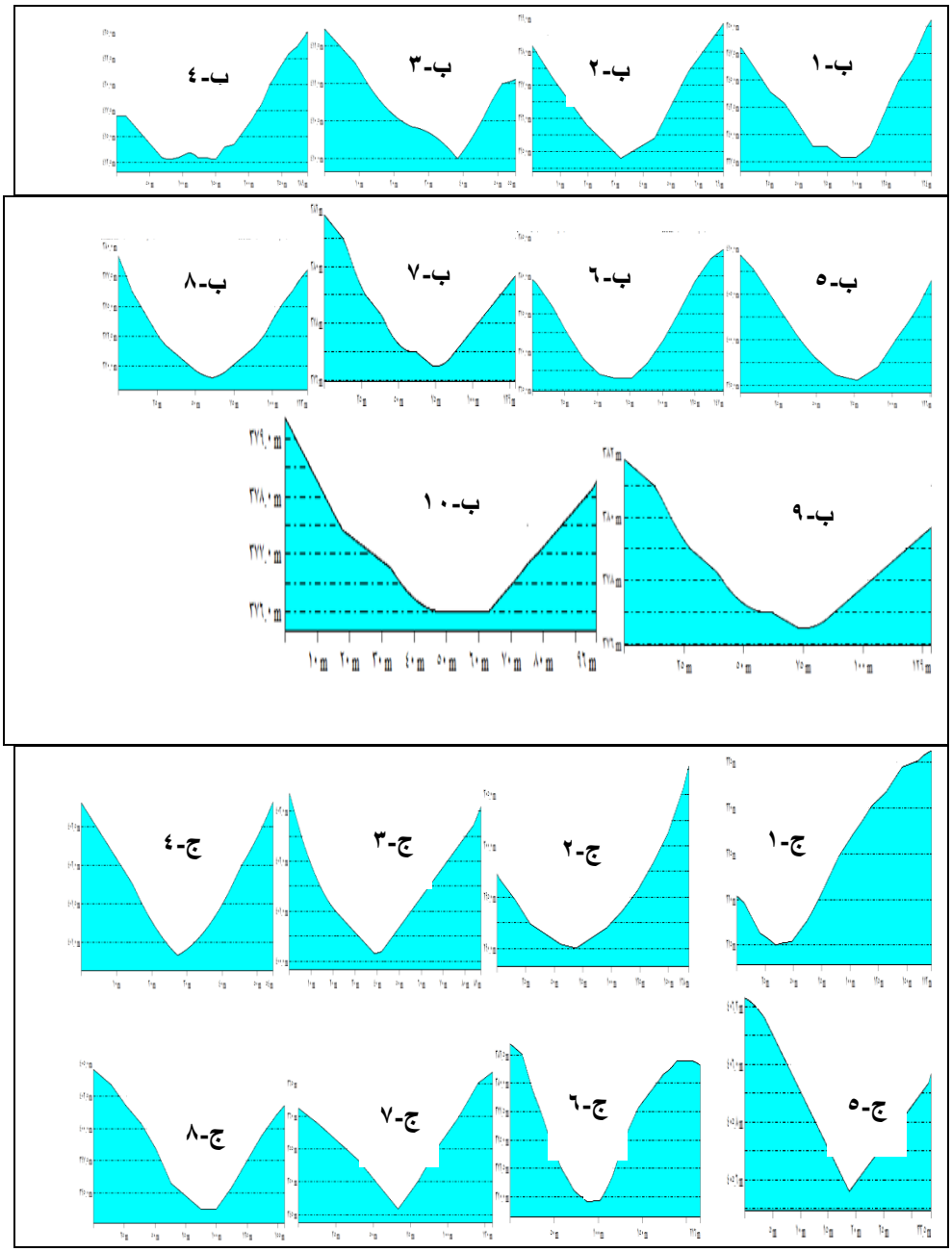
كما يتضح من شكل(٥) تبين أن أكثر فئات الانحدار انتشارًا هي الفئة ما بين صفر و ٤.٥ درجة وشغلت ٣٢.٤٪ من إجمالي القطاعات العرضية, يليها الفئة ما بين ١٠ و ١٤.٥ درجة بنسبة ٢٦.٤٪ ثم الفئة ما بين ٥ و ٩.٥درجة وشغلت ٢٦.١٪.

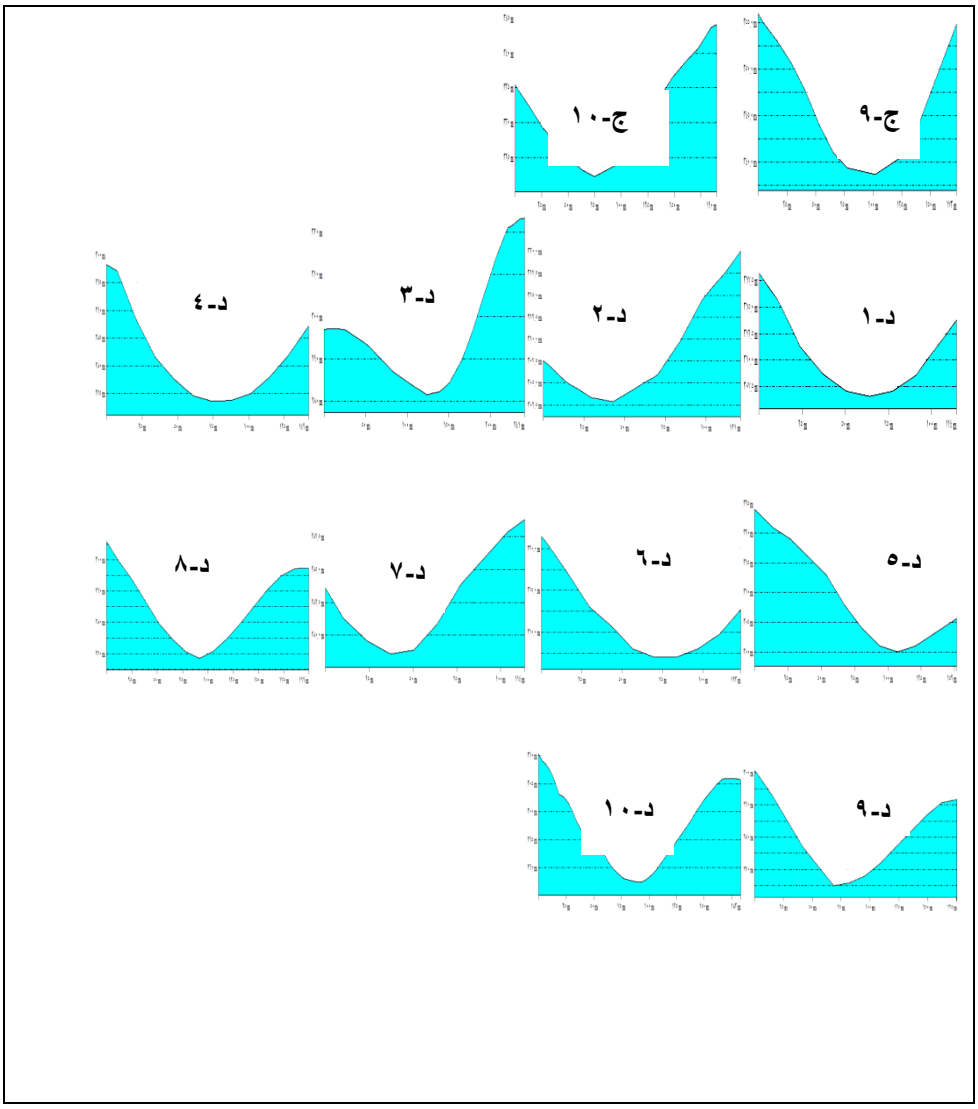




شكل (٤) توزيع درجات انحدار إجمالي القطاعات العرضية(أ) والطولية(ب) للأودية التقويض الينبوعى.




ب-١
ب-٢
ب-٣
ب-٤
ب-٥
ب-٦
ب-٧
ب-٨
ب-٩
ب-١٠
ج-١
ج-٢
ج-٣
ج-٤
ج-٥
ج-٦
ج-٧
ج-٨

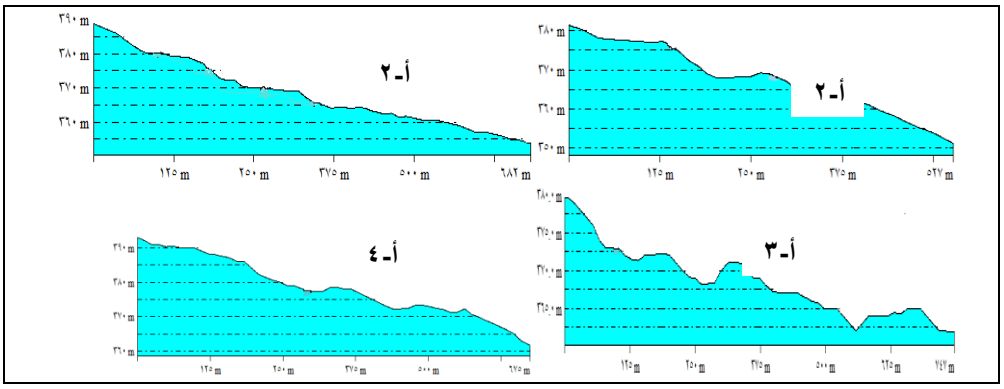


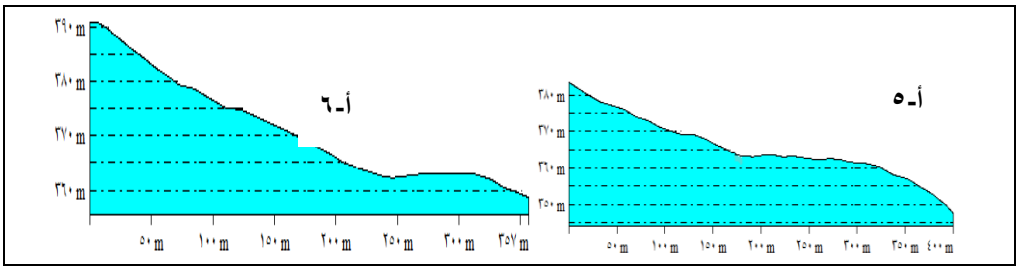
شكل (٥) القطاعات العرضية لأودية التقويض الينبوعى بمنخفض الخارجة باستخدام برنامج Global Mapper ١٨

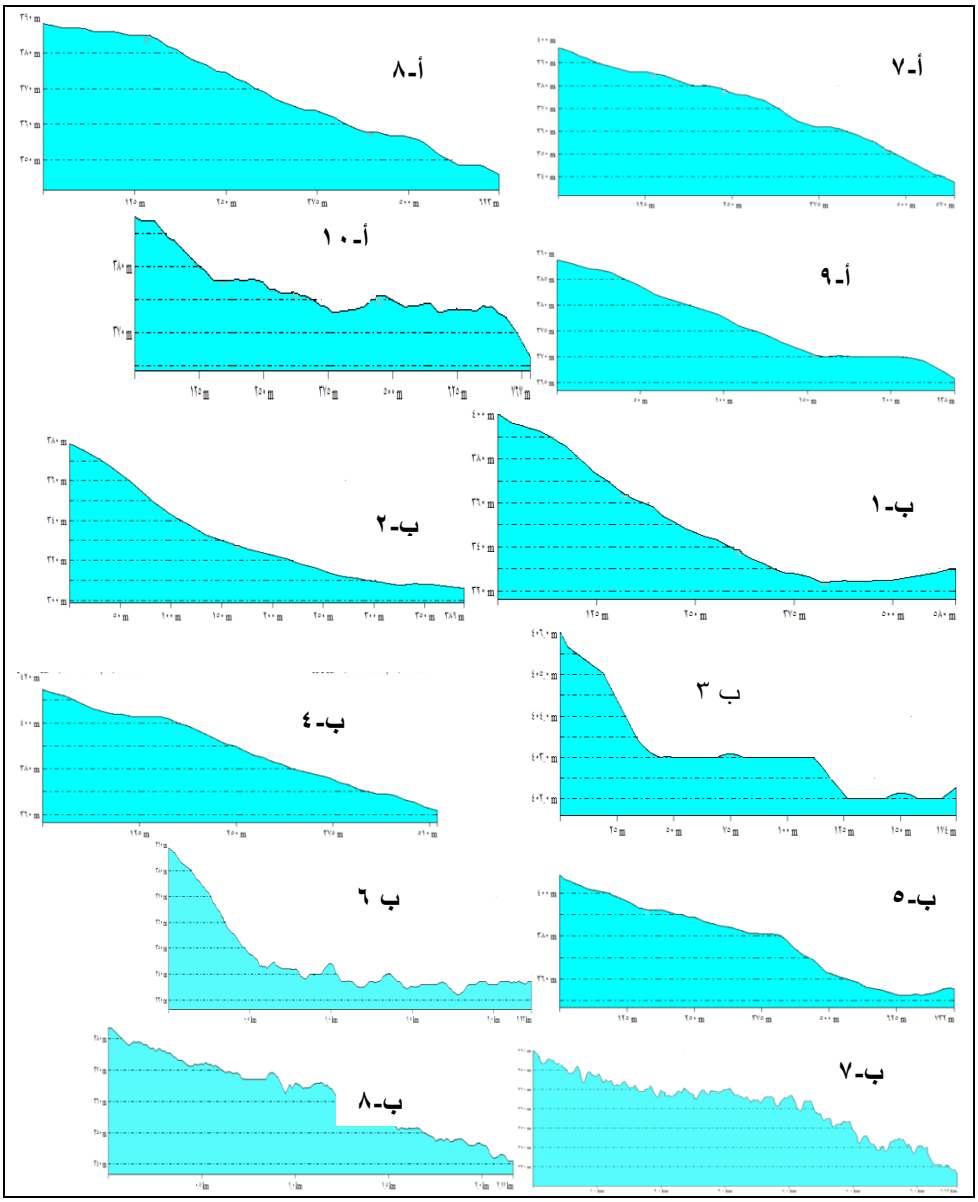
د–٢– القطاعات الطولية للأودية:

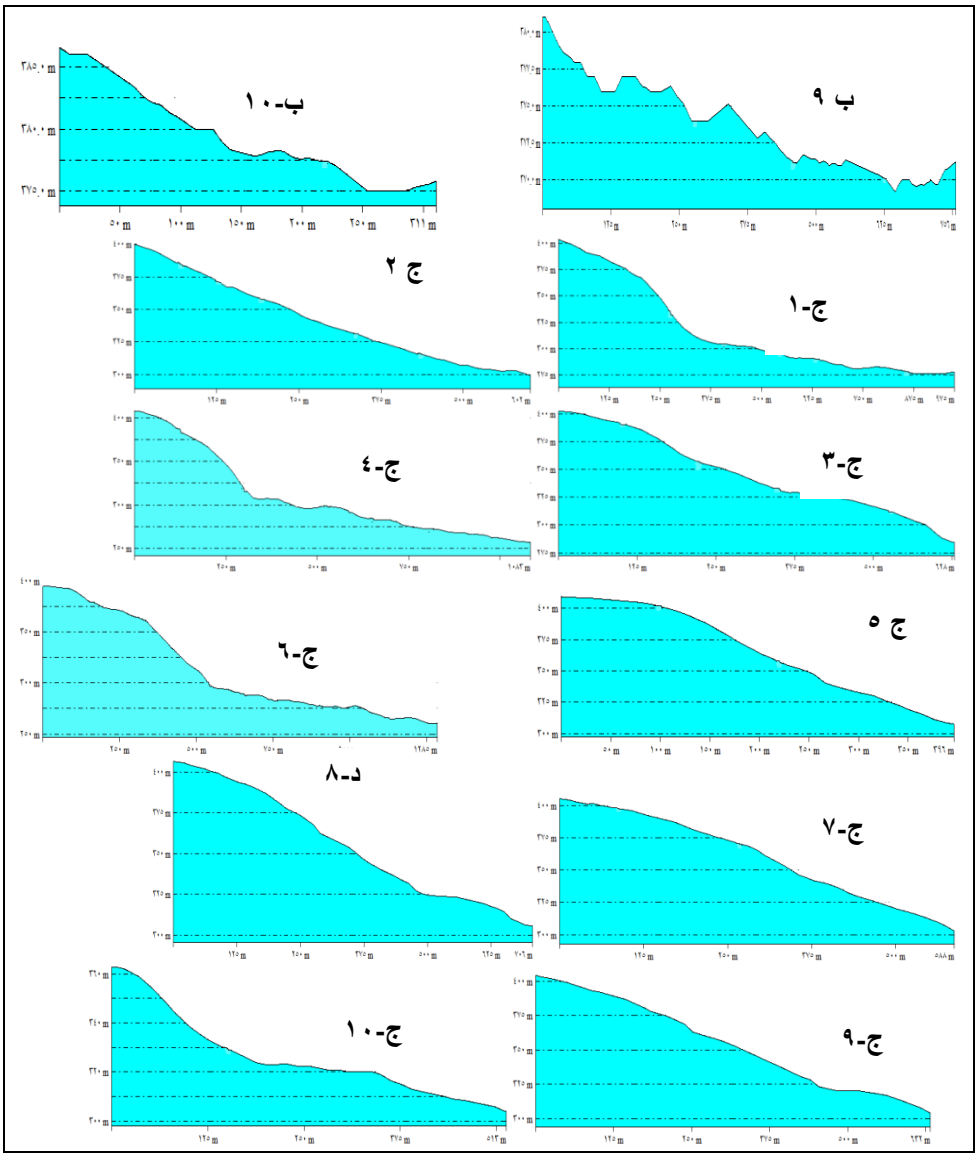
يتضح من شكل (٤ و٦) أن توزيع إجمالي درجات انحدار القطاعات الطولية للأودية قد تميز بوجود مجموعة رئيسية تراوح درجات انحدارها ما بين ٣ و ١٥,

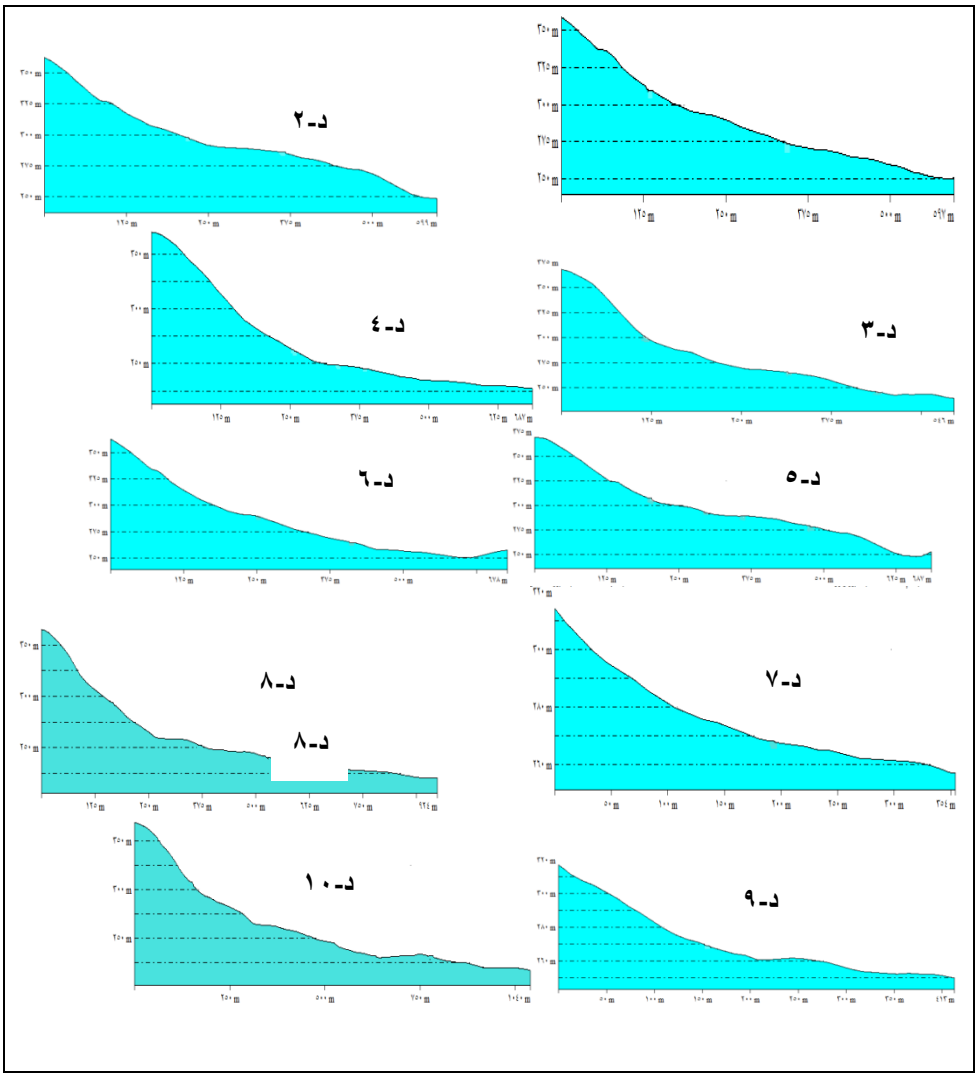
وشغلت هذه المجموعة ما يقرب من ٧٢٪ من إجمالي أطوال القطاعات الطولية. والمجموعة الثانية فقد شغلتها درجة ٩٠ ومثلت حوالى٢. ٪ وانتشرت أغلب هذه المجموعة عند الأجزاء العليا من القطاعات حيث مثلت واجهات حرة . ويتضح من شكل (٤) أن أكثر فئات الانحدار انتشارًا هي تلك التى تتراوح بين صفر و ٤.٥ درجة وشغلت ٥٥.٩٪ أي ما يعادل نصف طول القطاعات. ثم الفئة ما بين ٥ و ٩.٥ درجة وشغلت ١٦.٥٪ ثم الفئة ما بين ١٠ و ١٤.٥ درجة وشغلت ٦.٢٪ وبشكل عام فإن ٩٣٪ من إجمالي القطاعات تقع دون ٣٥ درجة.






أ-٧
أ-٨
أ-٩
أ-١٠
ب-١
ب-٢
ب ٣
ب-٤
ب-٥
ب ٦
ب-٧
ب-٨


ب ٩
ب-١٠
ج ٢
ج-١
ج-٣
ج-٤
ج ٥
ج-٦
د-٨
ج-٧
ج-٩
ج-١٠



شكل (٦) القطاعات الطولية لأودية التقويض الينبوعى بمنخفض الخارجة باستخدام برنامج Global Mapper ١٨

خامسًا : أودية نقب أم سروال (دراسة حالة)

سيتم تناول الخصائص المورفومترية لأربعة أودية في نقب أم سروال من حيث الطول وشكل القطاع الطولي , والعرض والقطاع العرضي والعمق والاتجاه

والظاهرات المختلفة المرتبطة بها. حيث تم إجراء أربع قطاعات طولية وثمانية قطاعات عرضية.

أ- أبعاد الأودية:

يتبين من جدول(٣) أن أطوال الأودية تتراوح بين ٣٣٨.٤ – ٤٨٣.٨ متر, بمتوسط عام ٤٢٠.٩م وأن عرض الأودية يتراوح بين ١٦.٥ –٨٠.٤ متر بمتوسط عام٤٢.٧ م. في حين تراوح عمق الأودية بين ٥٧: ١٤١ بمتوسط عام ١١٢م.

ب – خصائص منحدرات أودية التقويض الينبوعى

يهدف هذا الجزء إلى التعرف على شكل سفوح أودية التقويض الينبوعى من خلال تحليل درجات الانحدار والتعرف على شكلها. كما أن دراسة شكل هذه الأودية سوف يلقى بعض الضوء على الطريقة التى نشأت بها هذا النوع من الأودية. وللتعرف على هذه الخصائص تم إجراء عدد٨ قطاعات عرضية على واديين, وبلغ إجمالي طولها ٤٣٨.٥م تقريبًا, وبلغ أطول قطاع عرضى٨٠.٤م , وأقصر قطاع١٦.٦م, بمتوسط عام بلغ٤٢.٧م للقطاع الواحد. أما القطاعات الطولية فقد تم إجراء أربعة قطاعات طولية بامتداد مجرى الوادي بدًا من مدخله حتى نهايته عند أعلى نقطة على قمة الحافة بامتداد خط القطاع, وقد بلغ إجمالي طول القطاعات الطولية ٢٩٢٦.٩م تقريبًا بمتوسط عام٤٢٠.٩م للقطاع الواحد, وبلغ أطوال قطاع ٤٨٣.٨م وأدنى قطاع٣٣٨.٨م.

جدول (٣) الخصائص الإحصائية لأبعاد أودية التقويض الينبوعى

	طول الأودية	عرض الأودية	عمق الأودية
المتوسط	٤٢٠.٩	٤٢.٧	١١٢
أدنى قيمة	٣٣٨.٤	١٦.٥	٥٧

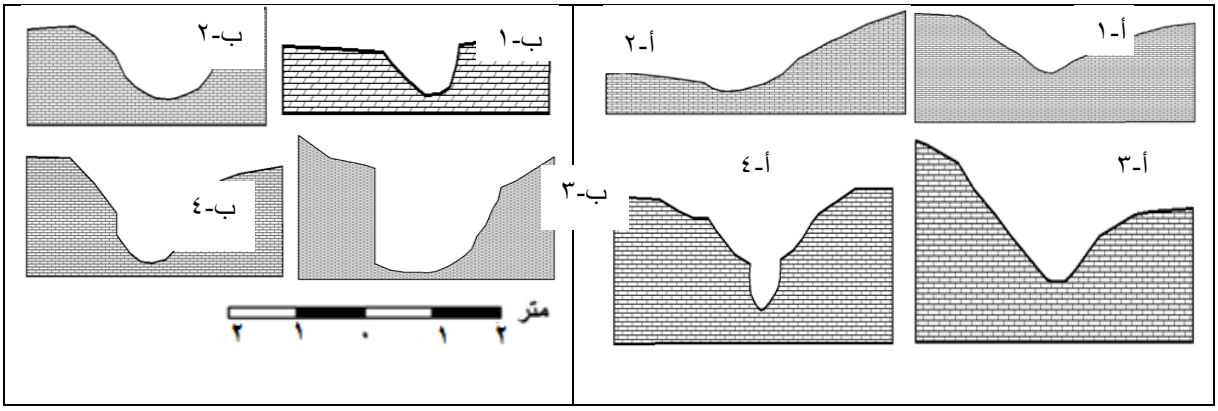
أقصى قيمة	٤٨٣.٨	٨٠.٤	١٤١
الوسيط	٤٣٠.٨	٣٧.٨	١٢٥

ب–١– القطاعات العرضية للأودية:

يتضح من جدول (٤) وشكل (٧) أن توزيع درجات انحدار إجمالي القطاعات العرضية للأودية قد تميز بوجود ثلاث مجموعات الأولى: هي الرئيسية وتراوحت بين٢ : ٣٥درجة حيث شغلت حوالى ٨١.٣% من إجمالي أطوال القطاعات العرضية للأودية, وكانت الزاوية المميزة الرئيسية لهذه المجموعة الدرجة ٦ وشغلت ٥.٧٪ ثم كلا من ١٠ و١١و٢٥ و٣١ و٣٢وشغلت كلا منها ٤.٣٪. وشغلت درجات هذه المجموعة في العادة الأجزاء الوسطى والدنيا من القطاعات . أما المجموعة الثانية فقد مثلتها درجة (الواحد) وشغلت ٧.٧٪ من إجمالي طول القطاعات العرضية , وتركزت في العادي على قيعان الأودية. أما المجموعة الثالثة : فقد شغلها درجة ٩٠ ومثلت حوالى ٧.٣٪ وانتشرت أغلب هذه المجموعة عند الأجزاء العليا من القطاعات حيث مثلت واجهات حرة . وأن أكثر فئات الانحدار انتشارًا هي تلك التى تتراوح بين صفر : ٤.٥ وشغلت ٢٦.٧٪ أي ما يزيد عن ربع طول القطاعات. ثم الفئة ما بين ١٠: ١٤.٥ وشغلت ١٦.٧٪ ثم الفئة ما بين ١٥: ١٩.٥ وشغلت ١٤.٥٪ ثم الفئة ما بين ٣٠: ٣٤.٥ وشغلت ١٠.٣٪ . وقد مثلت هذه الفئات الأربعة قرابة ٦٨.٢٪ من أطوال القطاعات العرضية للأودية

وبوجه عام بلغ متوسط انحدار جوانب الأودية ٢٩.٢ درجة, وكان أقل متوسط ٣ درجة وذلك في القطاع أ٢ أما أقصى متوسط فقد بلغ٣٥.٤ درجة في

القطاع ب٤. أما الزاوية الشائعة لجوانب الأودية فكانت الزاوية ٢٥ وتراوحت على مستوى كل الأودية ما بين ٣١ و٣٢ كما في قطاع ب ٣ وأ٤.



شكل (٧) القطاعات العرضية

ب-٢- القطاعات الطولية:

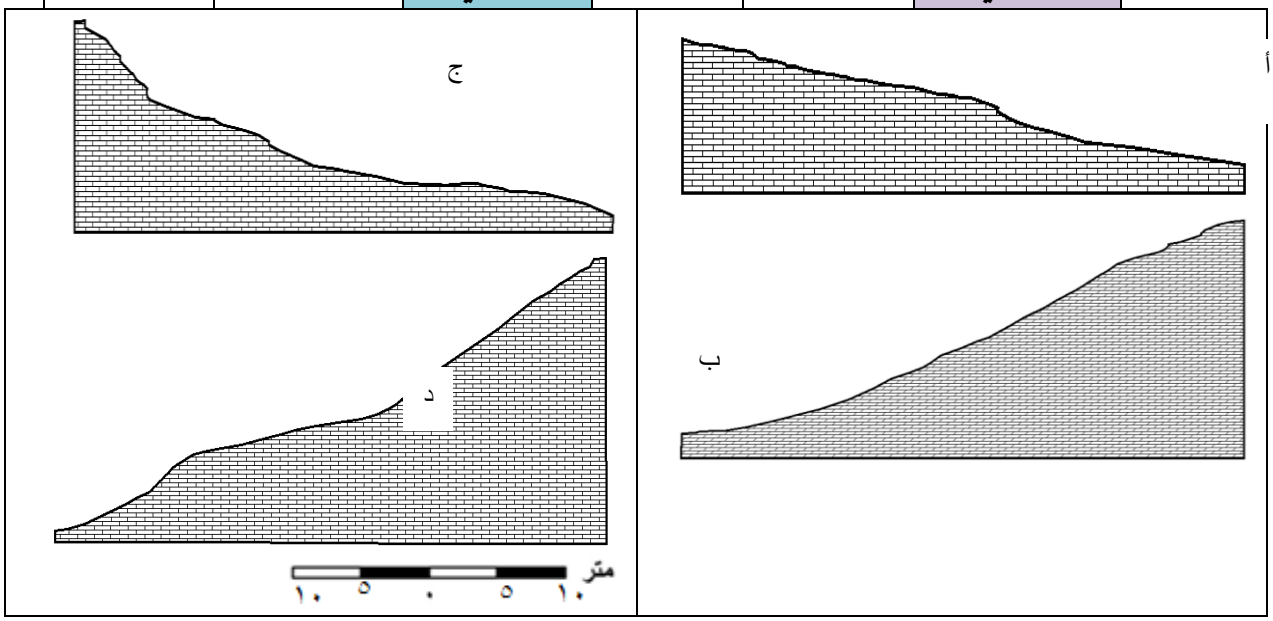
يتضح من جدول(٤) و شكل (٨) أن توزيع إجمالي درجات انحدار القطاعات الطولية للأودية قد تميز بوجود مجموعة رئيسية تراوح درجات انحدارها ما بين٣: ٣٥ درجة, وشغلت هذه المجموعة قرابة ٨٩٪ من إجمالي أطوال القطاعات الطولية, وكانت الزاوية المميزة ١١ حيث شغلت حوالى ٧.١٪ يليها الزاوية٩ وشغلت ٥.١٪ ويتخلل باقي توزيع الدرجات قمم أخرى مثل درجة ٩٠ وشغلت ١.١٪ وانتشرت في الأجزاء العليا من القطاعات حيث مثلت واجهات حرة الناتجة عن انهيار الكتل الناتج عن عملية التقويض, وعند مناطق التجديد كما في (قطاعى أ و ج). وأن أكثر فئات الانحدار انتشارًا هي الفئة ما بين١٠: ١٤.٥ وشغلت٢٠.٨ ٪ من إجمالي أطوال القطاعات الطولية, يليها الفئة ما بين ٥ : ٩.٥ وشغلت ١٩.٦٪ ثم الفئة ما بين ٢٥ : ٢٩.٥ وشغلت ١٣.٧٪ ثم الفئة ما بين صفر : ٤.٥ وشغلت ١٣.٦٪ وقد مثلت هذه الفئات الأربعة ٦٧.٧٪ من

إجمالي القطاعات الطولية للأودية, وبوجه عام فإن ٨٩٪ من إجمالي أطوال القطاعات تقع دون ٣٥درجة. أما عن متوسط انحدار القطاعات الطولية, فقد بلغ على مستوى كل الأودية ١٤.٥ وبلغ أدنى متوسط ٣ درجات وذلك في القطاع ١ وأقصى متوسط ٤١ درجة وذلك في قطاعي رقم ١و٣. أما عن الزاوية الشائعة أو المميزة بامتداد القطاعات الطولية للأودية فكانت الزاوية ١١, وتراوحت الزاوية الشائعة ٣ كما في قطاع أ.

جدول (٤) توزيع درجات انحدار إجمالي القطاعات العرضية والطولية

القطاعات العرضية			القطاعات الطولية		
الفئات	الطول(متر)	الطول(٪)	الفئات	الطول(متر)	الطول(٪)
أقل من ٥	٩٢.١	٢٦.٧	أقل من ٥	٢٢٨	١٣.٦
٥ – ٩.٥	١٨.٩	٥.٥	٥ – ٩.٥	٣٢١.٢	١٩.٢
١٠ – ١٤.٥	٥٧.٧	١٦.٧	١٠ – ١٤.٥	٣٤٧.٤	٢٠.٨
١٥ – ١٩.٥	٥٠.٦	١٤.٥	١٥ – ١٩.٥	١٦٤.٥	٩.٨
٢٠ – ٢٤.٥	١٥.٥	٤.٥	٢٠ – ٢٤.٥	١٤٢.٩	٨.٦
٢٥ – ٢٩.٥	١٩.٦	٥.٧	٢٥ – ٢٩.٥	٢٢٨.٧	١٣.٧
٣٠ – ٣٤.٥	٣٥.٩	١٠.٣	٣٠ – ٣٤.٥	١٥٧	٩.٤
٣٥ – ٣٩.٥	١٧.٧	٥.٢	٣٥ – ٣٩.٥	٤١.١	٢.٥
٤٠ – ٤٤.٥			٤٠ – ٤٤.٥	١٧	١.٠٢
٤٥ – ٤٩.٥	١.٣	.٤	٤٥ – ٤٩.٥	.٢٠	.٠١
٥٠ – ٥٤.٥	٤.٥	١.٣	٥٠ – ٥٤.٥	٤	.٢
٥٥ – ٥٩.٥	.٥	.١	٥٥ – ٥٩.٥		

٦٠ – ٦٤.٥	٥.٣	١.٦	٦٠ – ٦٤.٥		
٦٥ – ٦٩.٥	.٦٠	.٢	٦٥ – ٦٩.٥		
٧٠ – ٧٤.٥			٧٠ – ٧٤.٥		
٧٥ – ٧٩.٥			٧٥ – ٧٩.٥		
٨٠ – ٨٤.٥			٨٠ – ٨٤.٥		
٨٥ –٨٩.٥	٢٥.٣	٧.٣	٨٥ –٨٩.٥	١٨.٧	١.١
إجمالي	٣٤٥.٥		**إجمالي**	١٦٧٠.٧	



شكل (٨) القطاعات الطولية لأودية التقويض الينبوعى بنقب أم سروال

المظاهر المرتبطة بأودية التقويض الينبوعي

اتسمت أودية التقويض الينبوعى بوجود العديد من رواسب الكارست التى تباينت ما بين رواسب كيميائية مثل الطوفا, وأخرى ميكانيكية تخلفت عن عملية الإذابة مثل شقوق الإذابة, والتربة الحمراء فضلًا عن مواد منهارة بفعل عملية الإذابة.

أ- رواسب الطوفا Tufa

الطوفا عبارة عن رواسب كيميائية من كربونات الكالسيوم نشأت بفعل مياه منخفضة الحرارة مشبعة بكربونات الكالسيوم ناتجة عن إذابة الصخور الجيرية , وغالبا ما يشترك في عملية النشأة والإرساب عمليات طبيعية– كيميائية وبيولوجية تعمل معا, ومثل هذه العمليات يتحكم فيها الظروف المناخية لدرجة كبيرة, وتشير خصائصها إلى بيئة غنية بالنباتات لوحة(١ و٢) . تعد الطوفا أكثر رواسب الكارست انتشارًا في أودية التقويض الينبوعى بمنخفض الخارجة حيث تتركز على الجوانب الدنيا من الأودية , ويتراوح سمكها بين٣ : ٦م (Ball.J,١٩٠٠,pp) ٩٢-٩١ . كما تنتشر إرسابات الطوفا بجميع أنواعها من طوفا (هضبة, الوادي) داخل الأودية, وتنتشر الطوفا في موقعين رئيسيين بالأودية, الأول طوفا الهضبة يمتد بطول الحافة, الثاني طوفا الوادي وتوجد بشكل عام على ارتفاعات منخفضة وتتبع الميل القديم للحافة كطبقات أفقية سميكة(Abotalib, Z. A., Sultan M., and Elkadiri, R., (٢٠١٦)).

ويمكن وصف إرسابات الطوفا الناتجة عن الينابيع بالتفاعل الآتي:

$$Ca^{2+}_{(aq)} + 2HCO_{3-(aq)} \rightleftharpoons CaCO_3 + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

تشير (g) إلى الحالة الغازية, وتشير(aq) إلى حالة التأين, وتشير (١) إلى الحالة السائلة

$$H_{+(aq)} + HCO_{3-(aq)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + CO_{2(g}$$

$$Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{3(aq)} \rightleftharpoons CaCO_{3(s)}$$

تشير (s) إلى الحالة الصلبة , وتشير(aq) إلى حالة التأين

التفاعل السابق مهم جدا لتشكيل الطوفا, وذلك لأن الماء الذي يحتوي على ثاني أكسيد الكربون CO_2 (بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون الإضافي المكتسب

من الكائنات الحية في التربة) يمر عبر الحجر الجيري أو المعادن الأخرى المحتوية على كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، فإنه يذوب جزءًا من كربونات الكالسيوم، وبالتالي يصبح أكثر تشبعًا بكربونات الكالسيوم. عندما تدخل المياه الجوفية المشبعة بيكربونات الكالسيوم إلى الكهوف أو تتعرض للهواء الجوي، يتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون الزائد من محلول بيكربونات، مما يؤدي إلى ترسب كربونات الكالسيوم القابلة للذوبان.

لوحة (١) توضح رواسب الطوفا في وادى المدورة

لوحة (٢) توضح نمط مثالى لرواسب الطوفا الغنية بسيقان النباتات نقب أسيوط

ب–الكتل المنهارة

تعد الكتل المنهارة إحدى متبقيات أو نواتج عملية الكارست وأكثرها انتشارا في أودية التقويض الينبوعية وتنتشر هذه الكتل بشكل واضح على قاع الأودية, يصل طول هذه الكتل في بعض القطاعات إلى ثلاثة أمتار , إلا أن الحجم السائد يتراوح ما بين ١: ٢ متر لوحة (٢).

لوحة (٣) توضح الكتل المنهارة على قاع أودية نقب الرفوف

ج– التربة الحمراء والبريشيا الحمراء :

تتكون التربة الحمراء من مواد بنية مائلة للاحمرار والطفل والصلصال والرمال والتى تخلفت كبقايا – غير مذابة– لعملية الإذابة التى تعرض لها الحجر الجيري, وتختلط التربة الحمراء في بعض الأحيان مع أجزاء من الحجر الجيري أطلق عليها ساندفورد عام ١٩٣٤ بريشيا الرمال الحمراء Sandy red breccia. وتوجد التربة الحمراء على قاع الأودية.

د– أقراص العسل:

عبارة عن تجاويف صغيرة الحجم, شكلها يتراوح بين الدائري والبيضاوي المثلثى وبعضها يأخذ شكل المعين. ويفصل بين هذه التجاويف عادة حواف حادة القمة , ولهذا تتخذ أشكالاً أقرب لبنية أقراص العسل, وتظهر عادة على وجهات الحافات . وقد ذكرت هذه الظاهرة لأول مرة في دراسة Darwin عام ١٨٣٩, وتوجد مسميات عديدة لها مثل alveolar weathering, stone lace, stone lattice وهى مسميات سائدة بين الجيومورفولوجيين الفرنسيين, في حين تعرف في الكتابات الانجليزية باسم fretting Honeycomb weathering (أشرف أبو الفتوح,٢٠٠٧, ص١٠٦) ورغم تشابه ظاهرة أقراص العسل مع تكهفات التافونى

Tafoni من حيث عامل النشأة حيث ينشأ كلاهما بفعل الإذابة بواسطة المياه في ظل ظروف التباين الحرارى إلا أن أقراص العسل يسهل التعرف عليها من خلال مظهرها الجيومرفولوجى المميز (محمد مجدى تراب,١٩٩٣, ص١٥٤).

توجد ظاهرة أقراص العسل على الحافات وعلى جوانب الأودية , حيث نجدها على جوانب الأودية وخاصة قرب القمة لوحة (٣), تتباين أبعاد فجوات أقراص العسل بصورة كبيرة حيث يتراوح طولها ٣: ٧ وعرضها بين ٢:٦والعمق بين ٣: ١٥سم ولكن في الكثير من الأحيان تزيد الأبعاد عن ذلك كثيرًا نتيجة لاتصال الفجوات ببعضها, أما من حيث الشكل فأغلب الفجوات تأخذ الشكل الدائري أو البيضاوي وهى في هذه الحالة تنشأ في صخور متجانسة في مساميتها.

لوحة(٤) ظاهرة أقراص العسل على الحافة الشرقية بمنخفض الخارجة، حيث تشير صورة (أ) إلى الظاهرة في نقب المدورة، وصورة (ب) في نقب أم سروال.

هـ– شقوق الإذابة:

عبارة عن قنوات نشأت بفعل الإذابة على امتداد مجموعة من الفواصل التى تتسع تدريجيا لتتحول إلى مجموعة من القنوات التى تقطع الصخر, ويطلق على هذه الظاهرة مسميات عديدة منها Kluftkarren وهو مصطلح ألماني الأصل يقابله في اللغة الإنجليزية مصطلح Grikes, أما في حالة تطورها أسفل غطاء التربة فيطلق عليها Cutters وتتميز هنا بامتلائها بالرواسب وهو من الأنواع

الشائعة في الولايات المتحدة, وإذا ما تطورت الشقوق بصورة تسمح بتجول الإنسان بداخلها أطلق عليها الممرات Corridors (أشرف أبو الفتوح,٢٠٠٧,ص ص ١٢٦,١٢٧)

تظهر شقوق الإذابة في الأجزاء العليا من أودية التقويض الينبوعى سواء منفردة أو في صورة مجموعات , وهى ذات أبعاد كبيرة حيث يصل طولها في بعض الأحيان إلى ٩ أمتار بينما يتراوح عرضها بين ١: ١.٦م ويتراوح عمقها ٤:٦م, وتتميز بجدرانها الحائطية وقيعانها المتضرسة سواء نتيجة لاتصالها بشقوق مجاورة أو لتراكم كتل حجرية (لوحة٥).

لوحة (٥) شقوق إذابة وادى ٢ نقب أم سروال

سادساً: نشأة أودية التقويض الينبوعي وتطورها :

تندرج ظاهرة الأودية الموجودة على الحافة الشرقية والشمالية لمنخفض الخارجة تحت النوع المسمى بأودية التقويض الينبوعى. وتعد هذه الأودية إحدى الظاهرات الناتجة عن عملية الإذابة وعملية التقويض الينبوعى, ويقصد بها عملية نز الماء تحت الأرضي Ground– water sapping processes وعملية تساقط المواد والكتل. وكما سيتضح فإن هذه العمليات الثلاثة (الإذابة والنز وتساقط الكتل) مرتبطة ببعضها البعض. ويمكن تتبع مراحل نشأة هذا النوع من الأودية (Abotalib, Z. A., Sultan M., and Elkadiri, R., ٢٠١٦)كما يلى:

١– شهد منخفض الخارجة بين الحين والأخر تساقط الأمطار خلال الزمن الجيولوجي الرابع وخاصة البليستوسين, وقد تسربت جزء كبير من هذه المياه عبر الشقوق والفواصل داخل الحجر الجيري المكون الرئيسي لسطح الحافة الشرقية والشمالية للمنخفض, وقد ازدادت هذه الشقوق اتساعًا من خلال عملية الإذابة.

٢– خروج المياه الجوفية عند أقدام الحافة الشرقية وللمنخفض في شكل ينابيع, وذلك لأسباب تتعلق بالتتابع الجيولوجي والخصائص الليثولوجية للتكوينات وخصائص البنية, والطبيعة المياه الجوفية المحصورة, ووجود الصدوع العميقة العمودية.

٣– قامت المياه المتدفقة عند أقدام الحافة بدورها في عملية النز Sapping (سواء من خلال عملية Piping أو عملية Seepage erosion) ومع استمرار ذلك يحدث تفريغ خطى للإرسابات والمواد عند أقدام الحافة, ويتخذ ذلك مراحل متعددة تبدأ من ثقوب صغيرة إلى فجوات أكبر ثم كهوف أولية إلى أن يتكون الكهوف التى يطلق عليها " المآوى الصخرى" ذات الأسقف المعلقة Rock shelter .

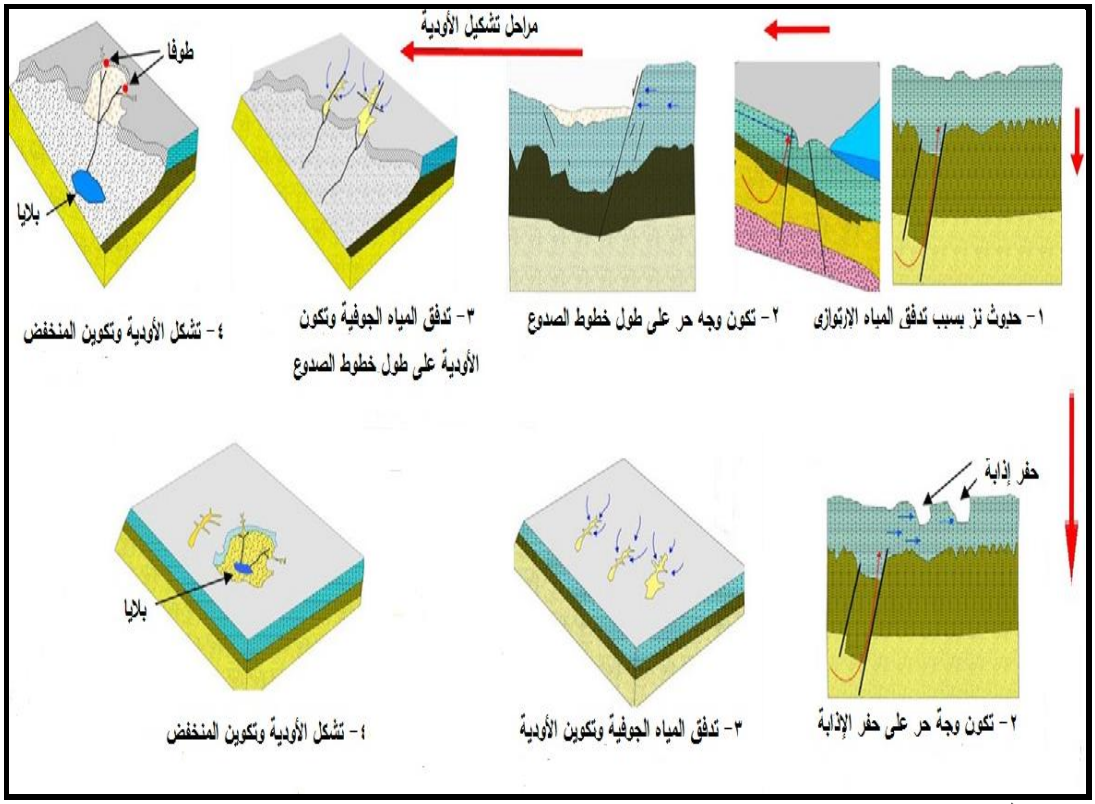
٤– تقويض الجزء العلوى للصخور الذى يأخذ شكل سقف معلق نتيجة عملية الإذابة في المستويات الأدنى من الحافات بالمنخفض.

٥- مع استمرار التراجع عند مواضع نز الماء المتسرب يحدث انهيار مفاجئ للأسقف المعلقة عند أقدام الحافة, ويبدأ حدوث تراجع لمواضع رؤوس الأودية.

٦- إزالة الحطام الصخري من الجرف بواسطة المياه السطحية أثناء فترات الجريان المائي السطحى أو عن طريق الرياح في الفترات الجافة.

٧- ومع استمرار العمليات السابقة بشكل متكامل تبدأ أودية التقويض الينبوعى في الظهور داخل الحافة, وتتكون له منحدرات تتسم بالثبات الديناميكي ولها خصائص مختلفة نسبيا عن منحدرات المراحل السابقة.

وعلى هذا فإن هذه الفرضية للنشأة ترى أن هذه الأودية قد نشأت من أسفل أولا, وأن الجريان المائي السطحى لم يكن هو العامل المؤثر في نشأتها كما هو المعتاد في الأودية النهرية. ويؤكد ضعف دور الجريان السطحى في نشأة هذه الأودية, ويشير ذلك بأن الأودية لم تكن نتاج الجريان السطحى للماء. وقد يرجع ضعف هذه العلاقة بالدرجة الأولى إلى تسرب الماء عبر الشقوق والفواصل. كما يتضح من ملامح هذا النوع من الأودية , قلة وجود إرسابات منقولة من حصى ورمال عند مصبات الأودية , وهذا يشير إلى أن أغلب الحمولة كانت حمولة مذابة . ولذلك تكونت إرسابات كيميائية مثل إرسابات الطوفا التى المنتشرة بهذه الأودية. لهذا فإنه من المرجح أن هذا النوع من الأودية كان يمثل مصدرا مهما للإرسابات البحيرية خاصة كربونات الكالسيوم .



المصدر: Abotalib Z. Abotalib, Mohamed Sultan, Racha Elkadiri ,(٢٠١٦),p ١٣٠

شكل (٩) مراحل تكون أودية التقويض الينبوعى حيث التكوين الأول بفعل الصدوع والثانى بفعل حفر الإذابة

المراجع:

- أشرف أبو الفتوح مصطفى(٢٠٠٧): جيومورفولوجية أشكال الكارست في منخفض الفرافرة, رسالة دكتوراه غير منشورة, كلية الآداب, جامعة عين شمس.
- جودة حسنين جوده(١٩٩٨) الجيومورفولوجيا, علم أشكال سطح الأرض, دار المعرفة الجامعية, الإسكندرية.
- محمد مجدى تراب(١٩٩٣): أشكال الصحارى المصورة, مطبعة الانتصار, الإسكندرية.

- **Abotalib, Z. A., Sultan M., and Elkadiri, R.,** (٢٠١٦): Groundwater processes in Saharan Africa: Implications for landscape evolution in arid environments, Journal of Earth-Science Reviews ١٥٦, P١٠٨–١٣٦.
- **Awad, G. H. & Ghobrial, M. G**. (١٩٦٥): Zonal stratigraphy of the Kharga Oasis. Geol. Surv. Egypt, Paper No. ٣٤, Cairo**.**
- **Hermaina, M.,** (١٩٩٠): The Surrounding of Kharga, Dakhle and Farafra. In Rushdi Said (ed) Geology of Egypt. Balkema, Chapter ١٤, pp. ٢٥٩ – ٢٩٢.
- **Higgins, C. G.**(١٩٩٠): Seepage-induced cliff recession and regional denudation, with case studies by Osterkamp, E. R., and Higgins, C. G., in Higgins, C. G., and Coates, D. R., eds., Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms: Geological Society of America Special Paper ٢٥٢, p. ٢٩١–٣١٧.
- **Jennings, J. N.**(١٩٨٥) :Karst geomorphology, Basil Blackwell Ltd. Oxford, ٢٩١ p.
- **Kochel, R. C., and Piper, J. F**.(١٩٨٦) :Morphology of large valleys on Hawaii: Evidence for groundwater sapping and comparisons with Martian valleys: Journal of Geophysical Research, v. ٩١, p. E١٧٥–E١٩٢.
- **Laity, J. E., and Malin, M. C**.(١٩٨٥) Sapping processes and the development of theater-headed valley networks on the Colorado plateau: Geological Society of America Bulletin, v. ٩٦, p. ٢٠٣–٢١٧.

- **Luo, W., R. E. Arvidson, M. Sultan, R. Becker, M. K. Crombie, N. Sturchio and Z. EL Alfy.**(١٩٩٧): Ground- water sapping

processes, Western Desert, Egypt. GSA Bull. Vol. ١٠٩, p.٤٣-٦٢.

- **Maxwell, T. A.**(١٩٨٢) Erosional patterns of the Gilf Kebir plateau and implications for the origin of Martian Canyonlands, in El-Baz, F., and Maxwell, T. A., eds., Desert landforms of southwest Egypt:A basis for comparison with Mars: Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration CR-٣٦١١, p. ٢٨١–٣٠٠.
- **McCauley, J. F., Breed, C. S., and Groler, M. J.**(١٩٨٢): The interplay of fluvial, mass-wasting and aeolian processes in the Eastern Gilf Kebir region, in El-Baz, F., and Maxwell, T. A.,(eds), Desert landforms of southwest Egypt: A basis for comparison with Mars: Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration CR-٣٦١١, p. ٢٠٧–٢٣٩.
- **Nash, D. J.**(١٩٩٧) Groundwater as a geomorphological agent in drylands, chapter ١٥ in Arid zone geomorphology: processes, form and change in drylands, (Editor: D. S. G. Thomas) John wiley & sons Ltd. P. ٣١٩-٣٤٨.
- **Said, R.**(١٩٨٣) Remarks on the origin of the landscape of the eastern Sahara: Journal of African Earth Sciences, v. ١, p. ١٥٣–١٥٨.
- **Schumm, S. A., Boyd, K. F., Wolff, C. G., and Spitz, W. J.**(١٩٩٥) A ground-water sapping landscape in the Florida Panhandle: Geomorphology, v. ١٢, p. ٢٨١–٢٩٧.