



حوليات آداب عين شمس (عدد خاص 2019)

<http://www.aafu.journals.ekb.eg>

(دورية علمية محكمة)



التلال المخروطية الكارستية بهضبة الجلالة القبليّة، الصحراء الشرقية، مصر

وفاء خلف فهيم*

طالبة دكتوراة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عين شمس، القاهرة

e-mail: Wafaa-khalaf@hotmail.com

المستخلص

التلال الكربونية المتبقية هي إحدى الظواهر المرتبطة بالعمليات الكارستية بمناطق الصخور القابلة للإذابة بالعالم. أوضحت دراسة المرئيات الفضائية، والدراسة الميدانية أن هضبة الجلالة القبليّة بها تلال متبقية تتركز في مواقع متفرقة بها، ولم تدرس من قبل في الهضبة. نشأت هذه التلال في صخور الحجر الجيري الإيوسيني. تفصل بين هذه التلال مجاري مائية جافة، أو سهول أحياناً، وتشبه التلال الكارستية، وتتطلب نشأتها مناخ رطب غير متوافر في مناخ الهضبة شديد الجفاف الحالي. تم اختيار عينة منها للمسح الميداني ولتحديد بعض الأدلة على نشأتها. تبين من القياس الميداني لعدد 120 قطاع رئيس لعدد ثلاثين تلاً، وعدد 515 قطاع ثانوي (جزء) لعدد 24 تلاً من مجموع ثلاثين تلاً، مع تحليل انحدارها أن هذه التلال من نوع تلال مخاريط الأودية الكارستية cone karst hills valley، وهي تلال مع أودية، وتنتمي في بعض المواقع إلى تلال الأحواض fenglin basin، وهي تلال مع سهول. تضم تلال هضبة الجلالة القبليّة نوعين من التلال وهما: سيو Sewu، وتوال Tual. تبين أن تلال هضبة الجلالة القبليّة مخروطية إلى طولية في الشكل، وتتخذ معظمها اتجاه الشمال، وهو اتجاه محكوم باتجاه التراكيب الجيولوجية بالمنطقة. يتراوح قطر التلال بين (7م-70م). يبلغ ارتفاع التلال أقل من 15 متر. يتراوح نسبة قطر التلال إلى ارتفاعها بين (3.57-8.71)، مع وجود علاقة طردية قوية بين ارتفاع التلال وقطرها. تقع أغلب زوايا انحدار أجزاء القطاعات الرئيسية لجوانب التلال بين (10° - 30°)، مع وجود أجزاء رأسية بها. لا تتخذ معظم جوانب التلال درجة تقوس واحدة، مع تركيز لأشكال التقوس المحدبة بالقرب من قممها. تمت ملاحظة أشكال الكارن، وكهوف الإذابة، وسهل به بقايا لصخور متآكلة في محيطها. تم وضع نموذج لنشأتها يعكس تطورها الذي يحتمل أنه بدأ منذ عصر الألوجوسين نتيجة العمليات الكارستية، والقوة التكتونية، والتغيرات المناخية القديمة، وتغيرات منسوب القاعدة.

الكلمات المفتاحية: أخدود خليج السويس، التلال الكربونية المتبقية، الصدوع والفواصل، القوة التكتونية، المناخ القديم، صخور الكربونات، عمليات الكارست.

© جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة لجمعية كلية الآداب - جامعة عين شمس 2019.

المقدمة

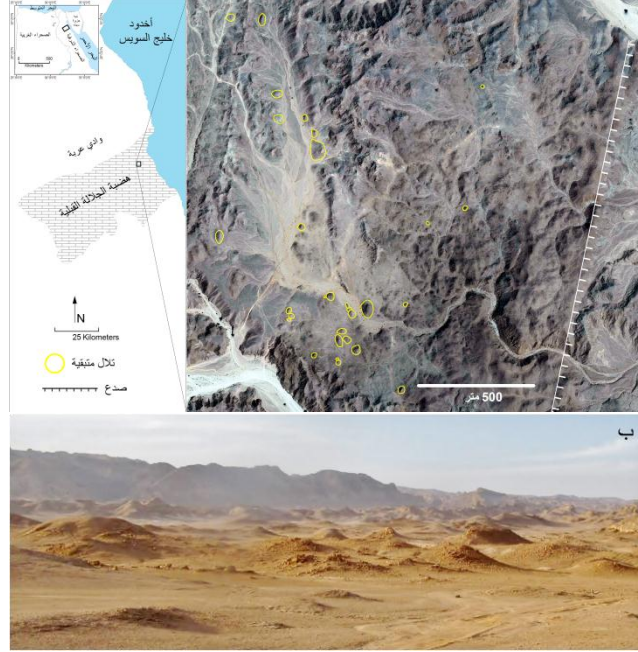
التلال الكربونية المتبقية residual carbonate hills لها نوعان رئيسيان تم تمييزهما عن طريق الشكل في الكتابات الغربية، وهما: 1- التلال المخروطية الكارستية Cone Karst، وهي التلال التي تتخذ شكلاً مخروطياً، وتساوي في المعنى المصطلح الألماني "Kegelkarst"، 2- الأبراج الكارستية Tower Karst، وهي التلال ذات الجوانب شديدة الانحدار (Day, 2004). بينما تم تمييزهما في الكتابات الصينية حسب مورفولوجية الأراضي الفاصلة بينهما؛ حيث يطلق على التلال التي لها قاعدة صخرية واحدة مصطلح "Fengcong"، بينما يطلق على التلال التي تفصل بينها أراضٍ مستوية مصطلح "Fenglin"، ولهما أنواع فرعية حسب الأراضي الفاصلة بينها (منخفضات، أودية... إلخ). توجد ظاهرات الكارست في مصر (e.g. Fahim, 2015)، وتوجد دراسات عن التلال الكارستية بها، منها دراسة (El Aref et al. 1986, 1987) بالصحراء الشرقية، والصحراء الغربية، وهي تلال تفصل بينها منخفضات، أو سهول، وقد أرجعنا نشأتها إلى عمليات الكارست التي تحكمت فيها المناخ القديم، والبنية الجيولوجية، وخصائص الصخور، مع وضع نموذج لنشأتها.

أوضحت المرئيات الفضائية، والدراسة الميدانية أن هضبة الجلالة القبلية بها تلال متبقية نشأت في صخور الكربونات، وتفصل بينها أودية، وتتحول هذه الأودية في بعض المواضع إلى سهول بها بقايا لأنظمة أودية قديمة. تشبه تلال هضبة الجلالة القبلية التلال الكارستية التي نشأت في الصين في محافظة ليبو Lipo التابعة لمقاطعة قويتشو Guizhou في صخور الحجر الجيري والحجر الجيري الدولوميتي، والتلال التي نشأت في الفتنام في محمية فونج نها- كي بانج Phong Nah-Ke Bang في صخور الحجر الجيري والدولوميت، وتتطلب نشأتها مناخ رطب غير متوافر في مناخ الهضبة شديد الجفاف الحالي، ومن ثم فإن الهدف من الدراسة الحالية تحديد نوعها وبعض الأدلة على نشأتها، ولتحقيق ذلك كان يجب معرفة مورفولوجيتها، والأشكال الأرضية المرتبطة بها، وقد تم اختيار عينة من هذه التلال لدراستها.

1. منطقة الدراسة

تقع منطقة عينة الدراسة في الجزء الشرقي من هضبة الجلالة القبلية، وتبلغ مساحتها 4.5 كم² (شكل 1-أ-ب)، وتتكون من صخور الحجر الجيري الإيوسين الأدنى مع طبقات متداخلة من الحجر الجيري الدولوميتي (تكوين المنيا) (EMRA, 2005)، وتقع أسفلها تكوينات الكريتاسي غير المكشوفة التي ربما تحتوي على الكربون العضوي في منطقة عينة الدراسة، حيث عثر على الكربون العضوي في هذه التكوينات بمنطقة أخدود خليج السويس (Bosworth and McClay, 2001). تأثرت منطقة الدراسة بصدع عادي Normal Fault اتجاهه بين (15°E - 10°N)، أدى إلى رفعها بالنسبة للأرض المجاورة لها. كما تأثرت بصدوع تأخذ اتجاهات بين (12°E - 0°N) (Badr, 2001). بلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة العظمى، والصغرى، والمتوسط اليومي 13.82°C، 29.29°C، 23.36°C على الترتيب، وبلغ المتوسط السنوي للأمطار 3.15 مم، وذلك خلال الفترة بين 1991-2014، ومن ثم مناخ هضبة الجلالة القبلية شديد الجفاف، مع حدوث سيول فجائية مثل سيل أكتوبر سنة 2016 (البدو، وعمال المحاجر، اتصال شخصي)، وتعد الرياح التي تهب من اتجاه شمال الشمال الغربي هي الرياح السائدة بالمنطقة (محطة بئر عريضة، بيانات غير منشورة).

شكل 1. التلال المتبقية.
(أ) مرئية فضائية من
جوجل إيرث لمنطقة
عينة التلال، (ب) صورة
مقربة للتلال التي في
شكل 1أ، (عرض المشهد
500 متر)، الحجر
الجيري الإيوسيني
الأدنى، الجانب الشرقي
لهضبة الجلالة القبليّة
(اتجاه التصوير صوب
الشمال الغربي).



2. الأساليب ومصادر البيانات

اعتمدت الدراسة على العمل الميداني، والمرئيات الفضائية من جوجل إيرث بدقة تفريقية (6م)، وقد تم اختيار عينة من هذه التلال للعمل الميداني، وكانت معايير اختيار العينة هي: (1) الأمان، (2) إمكانية الوصول والقياس، (3) تلال ذات جوانب واضحة وذات أحجام مختلفة، (4) توافر المعلومات الجيولوجية عن المنطقة، (5) لا تقل العينة عن ثلاثين تلاً، ومن ثم تم اختيار منطقة عينة الدراسة في الجزء الشرقي من هضبة الجلالة القبليّة.

1.2. أساليب القياس

اعتمدت أساليب القياس على الأساليب الموحدة في قياس التلال، والأساليب المستخدمة في دراسات: Williams (1972)، Day (1978)، Tang and Day (2000)، والدراسات التي اعتمدت عليها. استخدمت البوصلة، والكيلنوميتر بدقة نصف درجة، وشريط القياس. تم قياس الأطوال الأفقية للتلال في الميدان، ومن المرئيات الفضائية، ومطابقتها وتعديل الأخطاء بهما إن وجدت. تم قياس الارتفاعات، والانحدارات من العمل الميداني فقط.

تم عمل أربعة قطاعات رئيسة لكل تل تبدأ من نقطة مركزية عند قمة التل، منها قطاعان طوليان يتطابقان مع المحور الطولي للتل، وقطاعان عرضيان يتطابقان مع المحور العرضي للتل وعمودين على المحور الطولي له، وفي حالة التلال التي ليس لها محورين طولي وعرضي واضحين؛ تم توجيه القطاعات مع اتجاهات البوصلة الأساسية بحيث تكون جميع القطاعات متعامدة على بعضها البعض، وفي حالة التلال التي لها جانب أو أكثر له اتجاه طبيعي، وغير متعامد على القطاع الآخر، تم قياس القطاع في الاتجاه الطبيعي لجانب التل مع عدم الالتزام بقاعدة التعامد.

تم تقسيم كل قطاع من القطاعات الأربعة الرئيسية للتلال المتطابقة مع المحاور الطولية والعرضية له إلى قطاعات أصغر فرعية (أجزاء) تبعاً لتغير الانحدار على جانب التل، وتم

قياس طول كل جزء، ودرجة انحداره مع الاحتفاظ بزاوية القطاع الرئيس، ومن ثم تم قياس 120 قطاع على ثلاثين تلا، وذلك لاستخراج الأبعاد الأفقية لها، وقياس 96 قطاع، وعدد 515 قطاع ثانوي (جزء) لعدد 24 تلا من مجموع ثلاثين تلا، وذلك لاستخراج ارتفاع التلال، وانحداراتها.

2.2. أساليب تحليل البيانات

أستخرج الطول والعرض الأفقيين للتلال عن طريق ضرب جتا زاوية الانحدار في الطول الأرضي للقطاع. بسبب أن الخط الأفقي المحيط بالحد الخارجي للتلال عند قاعدته هو خط متعرج؛ فقد أستخرج قطر التلال بالتعويض في هذه المعادلة: قطر التلال = (طول التلال + عرض التلال) / 2 (Zhang, 1996). أستخرج شكل التلال من نسبة العرض للطول (العرض/الطول)، وكلما اقترب الناتج من الواحد الصحيح دل على أن التلال يقترب من الشكل الدائري.

لمعرفة مدى تماثل المحاور الطولية والعرضية للتلال فقد تم تطبيق مؤشر التماثل Symmetry Product، ويرمز له بالحرف "P" وهو = (طول/1/طول) (عرض/1/عرض)؛ حيث طولي 1، 2 هما الطولان الأفقيان للمحور الطولي للتلال، وعرضي 1، 2 هما الطولان الأفقيان للمحور العرضي للتلال، وكلما اقترب الناتج من الواحد الصحيح دل ذلك على أن التلال متماثل (Smart el al. 1986)، وتم تقسيم القيم إلى فئات، وهي: (1) تلال متماثلة (P = 1 - 1.5)، (2) تلال شبه متماثلة (2 < P < 1.5)، (3) تلال غير متماثلة (3 < P < 2) (Xiong, 1985, cited in Zhang, 1996).

أستخرج اتجاه التلال عن طريق معرفة اتجاه المحاور الطولية للتلال بالنسبة لاتجاهات البوصلة الرئيسية، وقد تم وضعها في 18 فئة بفواصل عشرة درجات تتراوح بين (90° - 270°) أستخرج ارتفاع التلال عن طريق ضرب جتا زاوية الانحدار في الطول الأرضي للقطاع، وقد نُسب الارتفاع إلى قاعدة كل تلال في كل جانب من جوانبه الأربعة، وأكبر قيمة للارتفاع على جوانب التلال الأربعة هي الارتفاع الفعلي له. تم تحديد نوع التلال اعتماداً على تصنيف (Balazs 1973)، والذي يعتمد على نسبة القطر للارتفاع، والذي يمكن أن يكون مؤشراً فعلياً إذا كانت هناك علاقة قوية بين ارتفاع التلال وقطرها (Day, 1978).

صُنفت انحدارات التلال إلى سبع فئات تبعاً لتصنيف (Young 1972)؛ وذلك لأن كل فئة في هذا التصنيف لها معنى مورفولوجي يوضح خصائص انحدارها، وهي: 1- (- 1.59 - 0) مستوى إلى هين جداً Level to very gentle، 2- (- 2 - 4.59) هين Gentle، 3- (- 5 - 9.59) متوسط Moderately steep، 4- (- 10 - 17.59) فوق متوسط Moderately steep، 5- (- 18 - 29.59) شديد Steep، 6- (- 30 - 44.59) شديد جداً Very steep، 7- (- > 45) رأسي Vertical. أتبع في تحليل شكل انحدارات التلال أسلوب (Abdel Rahman et al. 1981)؛ وذلك لأن أسلوب (Young 1972) لا يتوافق مع انحدارات تلال منطقة الدراسة، والأسلوب المتبع في القياس أيضاً؛ لأن معظم القطاعات الرئيسية لجوانب التلال تحتوي على أجزاء ذات انحدارات مختلفة، وأطوال انحداراتها مختلفة أيضاً، وأسلوب (Young 1972) لا يمكن أن يطبق بشكل صحيح إلا إذا كانت أجزاء القطاع الرئيس للمنحدر متساوية الأطوال، ولذلك فقد أستخرج شكل الانحدار عن طريق معرفة درجة التقوس عند نقطة Curvature at a Point، وهي النقطة التي تتغير عندها زاوية الانحدار بداية من قمة المنحدر في اتجاه أسفل المنحدر، ومن ثم تم حساب درجة تقوس المنحدر لكل زوج من أجزاء القطاعات الرئيسية المتتالية بداية من قمة المنحدر في اتجاه أسفل المنحدر،

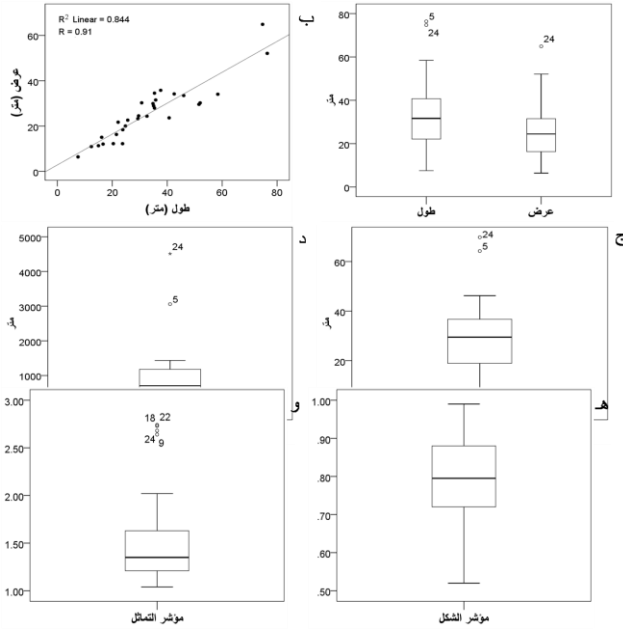
وذلك بالتطبيق في المعادلة الآتية: درجة التقوس عند نقطة = (- زاوية انحدار القطاع العلوي) - (- زاوية انحدار القطاع السفلي). يعبر عن درجة التقوس بالدرجات، وتتراوح بين (90+ - 90-)، وتدل القيم الموجبة على الانحدارات المحدبة Convex Slope، وهي التي تزيد في درجة زاوية الانحدار بالاتجاه لأسفل المنحدر. تدل القيم السالبة على الانحدارات المقعرة Concave Slope، وهي التي تقل في درجة زاوية الانحدار بالاتجاه لأسفل المنحدر. يدل عدم وجود تغير في درجة زاوية الانحدار على الانحدارات المستقيمة Rectilinear Slope.

بسبب أن القطاع الرئيس للمنحدر يحتوي على أجزاء مختلفة في درجات زوايا الانحدار، وذات أطوال انحدارات مختلفة أيضاً؛ فقد تم حساب أطوال درجة التقوس عند نقطة عن طريق تقسيم كل جزء إلى نصفين متساويين، ثم إضافة نصف القيمة إلى الجزء الذي يعلو النقطة التي يتغير عندها الانحدار، وإضافة نصف القيمة الأخرى إلى الجزء الذي يقع أسفلها (Abdel Rahman et al., 1981). لمعرفة نسبة طول درجة التقوس من مجموع أطوال الانحدارات الأخرى فقد تم تطبيق هذه المعادلة: نسبة طول درجة التقوس = طول درجة التقوس عند نقطة / مجموع أطوال درجات الانحدار عند نقطة * 100.

3. النتائج

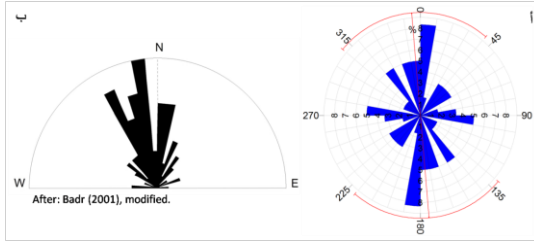
تختلف التلال فيما بينها من حيث الطول والعرض والقطر والمساحة، مع وجود علاقة طردية قوية بين طول التلال وعرضها (جدول 1، شكل 2-أ-د). تتراوح نسبة العرض للطول بين (0.99 - 0.52)، وتتركز القيم نحو القيم الكبيرة إلى حد ما (شكل 2هـ).

تبين من العلاقة بين معامل شكل التلال وقطرها، ومعامل شكل التلال ومتوسط ارتفاعها وجود علاقة عكسية ضعيفة بلغت (-0.12، -0.01) على الترتيب. يتراوح مؤشر التماثل بين (1.04 - 2.74)، وتقع التلال داخل ثلاث فئات وهي: (1) تلال متماثلة (P = 1 -



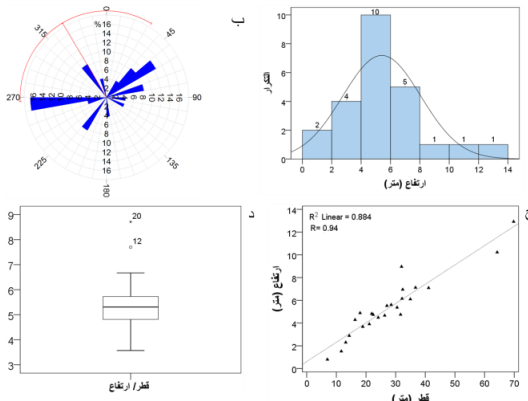
شكل 2. (أ) شكل توزيع قيم طول التلال وعرضها، (ب) العلاقة الارتباطية بين طول التلال وعرضها، (ج) شكل توزيع قيم قطر التلال، (د) شكل توزيع قيم مساحة التلال، (هـ) شكل توزيع قيم مؤشر شكل التلال، (و) شكل توزيع قيم مؤشر تماثل التلال (تشيير الأرقام داخل الأشكال إلى أرقام التلال ذات القيم المتطرفة الموجودة في جدول 1.

1.5)، تلال شبه متماثلة (2 < P < 1.5)، تلال غير متماثلة (3 < P < 2)، وتشغل نسبة (66.67% - 20% - 13.33%) على الترتيب من مجموع التلال (شكل 2و). تبين وجود علاقة ضعيفة عكسية بلغت -0.03 بين معامل شكل التلال وتماثلها.



شكل 3. اتجاهات التلال والصدوع في الجزء الشرقي من هضبة الجلالة القبلية. (أ) اتجاهات التلال، (ب) اتجاهات الصدوع. (المصدر: شكل 3أ من الدراسة الحالية اعتماداً على الدراسة الميدانية، والمرئيات الفضائية، شكل 3ب نقلاً عن (Badr 2001) بتصريف).

السائدة بمنطقة أهدود خليج الس ويس (Patton et al. 1994)، وكذلك بمنطقة عينة الدراسة (Badr, 2001)، وعلى الرغم أن نسبة الاتجاهات السائدة للتلال لا تساوي نسبة الاتجاهات السائدة للصدوع في دراسة التلال تمثل الجزء الشمالي من منطقة دراسته والتي تسيطر عليها الصدوع التي تأخذ الاتجاه الشمالي (Badr, 2001)، وهو نفس الاتجاه السائد للتلال، أما الاتجاهات السائدة الأخرى للتلال فقد ترجع إلى اتجاهات



شكل 4. مؤشر قطر التلال على ارتفاعها والعلاقة بينهما. (أ) مؤشر قطر التلال على ارتفاعها، (ب) العلاقة الارتباطية بين قطر التلال وارتفاعها (تشير الأرقام داخل شكل 3ب إلى أرقام التلال ذات القيم المتطرفة الموجودة في جدول 1).

مختلفة، مع تركيزها في اتجاه الجنوب؛ والذي يمثل الاتجاه المقابل لاتجاه الصدوع السائدة بالمنطقة. توجد علاقة طردية قوية بين ارتفاع التلال وقطرها (شكل 4ج). تتراوح نسبة

تبين أن الاتجاهات السائدة للتلال هي (الشمال- شمال الشمال الغربي- غرب الشمال الغربي)، وتقع بين $10^{\circ}E$ - $10^{\circ}W$ ، $(N0 - N40-30^{\circ}W)$ ، $(N20 - N10-0^{\circ}W)$ ، $(N90 - N17-17^{\circ}W)$ ، بنسبة 28% - 17% - 17%

على الترتيب من مجموع ثلاثين تلال، ومن ثم تتركز اتجاهات التلال بين $(N40^{\circ}W-N10^{\circ}E)$ (شكل 3أ)، وتتوافق الاتجاهات السائدة للمحاور الطولية للتلال مع اتجاهات الصدوع

الصدوع الأخرى، وروافد الأودية. تقع ارتفاعات التلال الأكثر شيوعاً بين (4م- 6م) بنسبة 41% (10 تلال) من مجموع 24 تل (شكل 4أ)، وهي غير متمائلة في الارتفاع فيما بينها، ومتمائلة إلى حد ما ما في الارتفاع على جوانب التل الواحد.

تبين من العلاقة بين الجانب الذي سجل أعلى قيمة ارتفاع واتجاهه، وبين الجوانب ذات الارتفاعات غير المتمائلة واتجاهاتها أن الاتجاهات السائدة لجوانب التلال التي سجلت أعلى قيمة ارتفاع تقع بين $(N80^{\circ}W - S80^{\circ}W)$ ، وبين $60^{\circ}E$ - $40^{\circ}N$ (شكل 4ب)، وهي الزوايا العمودية على زوايا الاتجاهات السائدة للتلال المتوافقة مع الاتجاهات السائدة للصدوع في المنطقة. أما على جوانب التل الواحد، فقد تبين أن اتجاهات الجوانب غير المتمائلة في الارتفاع تأخذ اتجاهات

قطر التلال إلى ارتفاعها بين (3.57-8.71) (شكل 4د)، وجميع التلال لها معامل أقل من 8، فيما عدا تل واحد له معامل أكثر من 8.

جدول 1. الإحصاءات الوصفية للتلال الكارستية في هضبة الجلالة القبليية

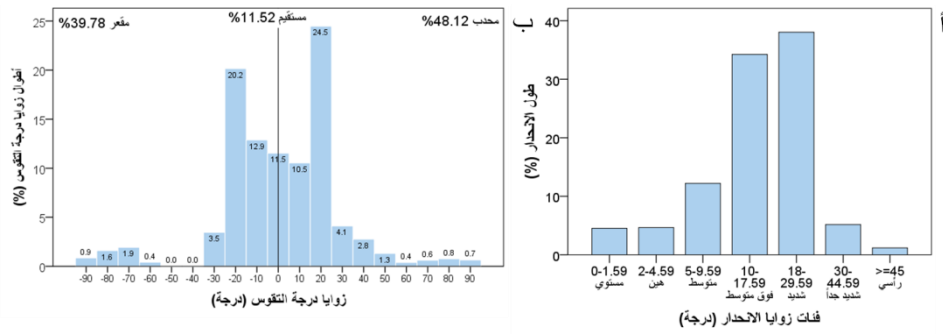
رقم التل	الطول (م)	العرض (م)	القطر (م)	المساحة (2م)	مؤشر الشكل	مؤشر التماثل	الارتفاع (م)	قطر / ارتفاع	معدل الانحدار (درجة)	الاتجاه (درجة)
1	40.69	23.65	32.17	745.62	0.58	1.13	6.15	5.23	16.71	83
2	24.79	20.04	22.42	411.62	0.81	2.01	4.74	4.73	15.81	47
3	34.81	29.94	32.38	891.69	0.86	1.53	6.95	4.66	26.75	327
4	20.37	12.26	16.31	217.78	0.6	1.27	4.29	3.8	15.25	57
5	76.41	52.09	64.25	3059.21	0.68	1.08	10.22	6.28	13.96	3
6	35.04	28.95	31.99	751.71	0.83	1.2	8.96	3.57	35.95	35
7	21.51	16.32	18.91	286.71	0.76	1.64	3.68	5.14	13.69	35.50
8	29.59	24.53	27.06	586.37	0.83	1.24	5.52	4.9	17.11	357
9	32.62	24.38	28.50	707.20	0.75	2.64	5.61	5.08	29.30	0.00
10	37.61	35.80	36.70	1179.09	0.95	1.18	7.12	5.15	16.29	343.50
11	22.13	21.73	21.93	354.46	0.98	1.35	4.83	4.54	25.95	342
12	12.38	10.96	11.67	109.11	0.89	1.24	1.52	7.7	12.63	72
13	51.98	30.25	41.11	1325.31	0.58	1.35	7.09	5.8	15.69	353.50
14	35.36	27.97	31.66	825.61	0.79	1.42	4.75	6.67	18.25	306.50
15	16.64	12.08	14.35	169.48	0.72	1.49	2.89	4.97	12.71	85
16	*25.63	22.63	24.13	428.95	0.88	1.63	4.48	5.38	13.61	298.50
17	29.32	23.28	26.30	517.31	0.79	1.04	4.66	5.64	16.27	42
18	23.74	12.25	18.00	243.47	0.52	2.73	4.89	3.68	28.23	329
19	35.36	34.54	34.95	912.93	0.98	2.02	6.1	5.73	12.37	325
20	7.53	6.42	6.98	37.65	0.85	1.1	0.8	8.71	8.38	0.00
21	30.70	30.28	30.49	699.78	0.99	1.36	5.37	5.68	17.13	6.50
22	23.82	18.41	21.12	341.22	0.77	2.74	3.91	5.4	16.52	56.50
23	14.96	11.35	13.16	127.48	0.76	1.21	2.3	5.73	12.94	345
24	74.71	64.89	69.80	4511.24	0.87	2.68	12.92	5.4	23.69	350
25	42.53	34.20	38.36	1223.52	0.8	1.24	-	-	-	277
26	45.99	33.50	39.74	1208.87	0.73	1.39	-	-	-	278
27	51.55	29.59	40.57	1195.23	0.57	1.28	-	-	-	10
28	35.80	31.52	33.66	878.92	0.88	1.53	-	-	-	277
29	16.14	15.08	15.61	194.63	0.93	1.21	-	-	-	318.50
30	58.42	34.06	46.24	1432.50	0.58	1.14	-	-	-	4
30	24	24	24	30	30	30	30	30	30	إجمالي التلال
-	435.16	129.57	129.75	46.07	23.51	25574.67	890.52	772.95	1008.13	المجموع
-	35.95	8.71	12.92	2.74	0.99	4511.24	69.80	64.89	76.41	أعلى قيمة
-	8.38	3.57	0.80	1.04	0.52	37.65	6.98	6.42	7.53	أدنى قيمة
-	18.13	5.40	5.41	1.54	0.78	852.49	29.68	25.77	33.60	المتوسط

-	16.28	5.31	4.86	1.35	0.80	703.49	29.50	24.46	31.66	الوسيط
-	1.20	1.08	0.95	1.53	-0.39	2.77	1.04	1.15	1.01	الالتواء
-	6.65	1.15	2.66	0.52	0.13	913.11	14.18	12.33	16.62	الانحراف المعياري

* ضلع ليس على امتداد خط واحد لوجود توجه طبيعي للتلال، ▲ تل له قمتان عند مستويين مختلفين، ◆ تلال شبه ملتحمة، - أبعاد لم يتم قياسها.

التلال غير متماثلة في الانحدار فيما بينها، وشبه متماثلة في الانحدار على جوانب التلال الواحد. الانحدارات فوق المتوسطة، والشديدة أكثر الانحدارات شيوعاً وطولاً على جوانب التلال (شكل 15)، وتتركز عادةً عند قمة المنحدر ووسطه، بينما تتركز الانحدارات المستوية، والهيبة عند سطح التلال، وعند الأجزاء الدنيا منها.

جوانب التلال لها ثلاثة أشكال: (محدبة، ومقعرة، ومستقيمة)، بنسبة (48.12%- 39.78%- 11.52%) على الترتيب من إجمالي أطوال درجات تقوس (شكل 5ب). تتركز درجات زوايا التقوس المحدبة عادةً عند الجزء العلوي لجانب المنحدر، وتتركز درجات زوايا التقوس المقعرة عادةً عند قاعدة المنحدر. أما على مستوى القطاعات الرئيسية لجوانب التلال فإن معظمها لا يأخذ درجة تقوس واحدة؛ حيث تحتوي على أجزاء ذات انحدارات محدبة ومقعرة، قد تكون منفردة، أو في شكل تسلسل من الانحدارات المحدبة والمقعرة المتبادلة معاً (شكل 6أ-ب).

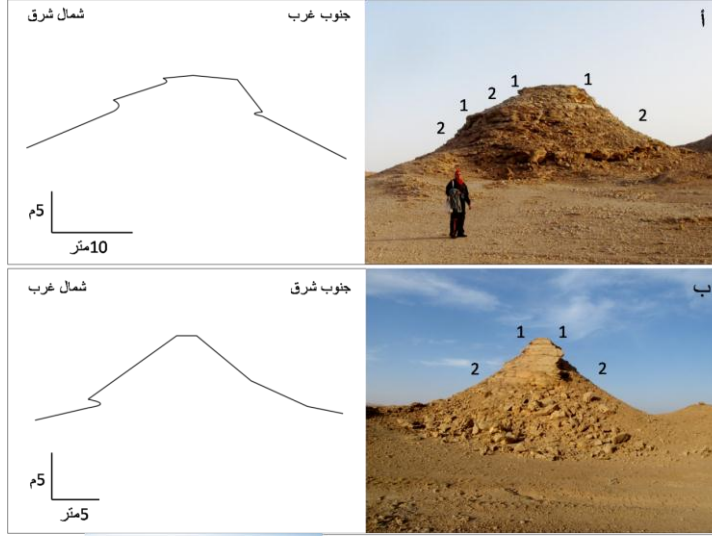


شكل 5. (أ) نسب أطوال فئات زوايا انحدار التلال، (ب) زوايا درجات تقوس جوانب التلال ونسب أطوالها.

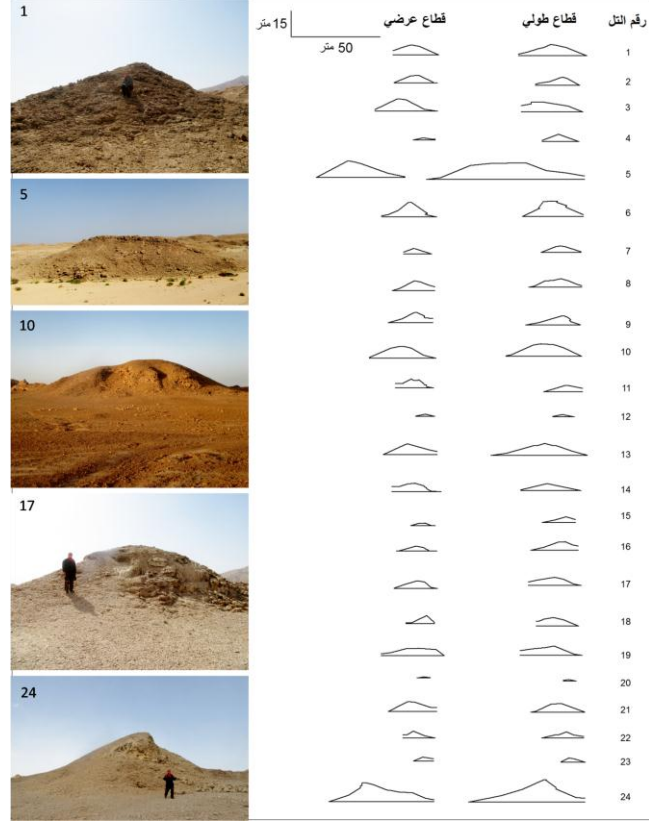
التلال المخروطية الكارستية بهضبة الجلالة القبلية، الصحراء الشرقية، مصر

وفاء خلف فاهيم

شكل 6. تلال ذو درجات تقوس مختلفة على جوانبه. (أ) مشهد عمودي على القطاع الطولي للتلال رقم 6 في جدول 1 مع القطاع الطولي له، (ب) مشهد عمودي على القطاع العرضي لتلال شكل 6 مع القطاع العرضي له (يشير رقم 1 إلى تقوس محدد، ويشير رقم 2 إلى تقوس مقعر).



شكل 7. القطاعات الطولية والعرضية للتلال المتبقية وصور لبعضها (تمثل الأرقام المكتوبة على الصور أرقام التلال في القطاعات، والتلال التي لها جانب مفتوح هي التلال غير المتماثلة في الارتفاع على جوانبها نتيجة وجود جانب متصل بأرض مرتفعة عن الجانب الأخر)، صخور الحجر الجيري الإيوسيني، الجانب الشرقي لهضبة الجلالة القبلية.

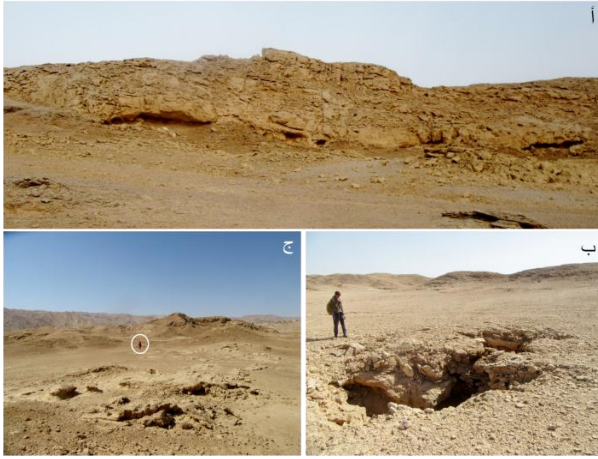


4. الملاحظات الميدانية

تتكون تلال منطقة الدراسة من صخور الحجر الجيري ذات طبقات شبه أفقية، مائلة اتجاه خليج السويس، ويتراوح سمكها بين بضعة سنتيمترات إلى عدة سنتيمترات، كما يوجد عند قمم بعضها طبقات من الحجر الجيري الطباشيري، أو الطباشير ذات سمك

صغير. تقع التلال على مناسيب تتراوح بين (244م- 215م) فوق منسوب سطح البحر الحالي. تتقطع التلال وأراضي ما بين التلال بالشقوق، وتفصل بينها مجاري مائية جافة. معظم التلال ذات قمة شبه مستوية، وجوانبها المواجهة للأودية الرئيسية أكثر انحداراً عادةً، وقد توجد عند الأجزاء الدنيا منها الكتل الصخرية المنهارة مختلفة الحجم. تنتشر على جوانب معظم التلال - خاصة عند أقدامها - التجاويف التي يبلغ حجمها عدة سنتيمترات، مع انتشار حفر وشقوق الكارن على جوانبها وسطحها (شكل 6أ، شكل 7).

توجد على جوانب الأراضي التي لم تتقطع في شكل تلال تجاويف وكهوف عند مستويين مختلفين، تقع تجاويف وكهوف المستوى الأول عند منسوب 242م فوق منسوب سطح البحر الحالي، وهي تجاويف أنبوبية الشكل، وذات نهايات مغلقة Dead-end نشأت عند أو تحت منسوب المياه الجوفية، بينما تقع تجاويف المستوى الثاني عند أقدامها عند حوالي 217م فوق منسوب سطح البحر الحالي (شكل 8أ)، وبعضها نشأت عند أو تحت منسوب المياه الجوفية، وبعضها



الآخر نشأت نتيجة العمليات الكيميائية والميكانيكية معاً.

تتميز أراضي ما بين التلال بوجود حفر وأوعية الإذابة، وأبار وشقوق الكارن، وبعض المنخفضات التي يبلغ قطرها وعمقها بضعة أمتار، ويغطي أرضيتها الكتل الصخرية المنهارة (شكل 8ب). تتميز أراضي ما بين التلال بوجود سهل صخري ربما يكون من نوع سهل التآكل لمنسوب القاعدة Baselevelled corrosion plain به بقايا تلال في هيئة أعمدة مقوضة ارتفاعها عدة سنتيمترات (شكل 8ج).

شكل 8. بعض أشكال الإذابة المرتبطة بمنطقة التلال. (أ) تجاويف نشأت عند أو تحت طبقة المياه الجوفية (عرض المشهد 50م)، (ب) منخفض عند أراضي ما بين التلال، (ج) سهل إذابة صخري بين أراضي ما بين التلال به بقايا تلال (تشير الدائرة البيضاء إلى شخص كمقياس).

5. المناقشة ونشأة التلال

تشير نتائج تحليل قياسات

التلال أن التلال المتبقية في الجانب الشرقي لهضبة الجلالة القبليّة تختلف فيما بينها من حيث (الطول، والعرض، والقطر، والمساحة، والارتفاع، والانحدار)، بنسبة (56.02%- 60.30%- 57.47%- 81.1%- 58.15%- 49.56%) على الترتيب. توجد علاقة طردية قوية بين طول التلال وعرضها، وبين قطر التلال وارتفاعها، مما يدل على أن هذه التلال انخفضت وتراجعت بشكل متواز، ومن ثم عمليات التشكيل كانت شبه متساوية على التل الواحد، ولكن درجة نشاطها كانت مختلفة من تل إلى آخر. تدل نسبة عرض التلال لطولها على أن نصف عدد التلال يتخذ شكلاً دائرياً وشبه دائري، والنصف الآخر مختلف الشكل. تدل العلاقة العكسية الضعيفة بين معامل شكل التلال وقطرها، ومعامل شكل التلال ومتوسط ارتفاعها على أنه كلما يقل قطر التلال وارتفاعها كلما تقترب من الشكل الدائري. تدل العلاقة العكسية الضعيفة بين شكل التلال وتمائلها على أن بعض التلال متماثلة في

المحاور الطولية والعرضية ولا تتخذ الشكل الدائري والعكس، ومن ثم يوجد عامل رئيس أو أكثر تحكم في عمليات تشكيلها، ومورفولوجيتها. تتوافق الاتجاهات السائدة للمحاور الطولية للتلال مع اتجاهين من اتجاهات الصدوع السائدة بمنطقة أخدود خليج السويس والمرتبطة بنشأتها، وهما: الاتجاه القلزمي Clysmic Trend Fault (N10°W -N30°E)، والموازي للأخدود Rift-Parallel (N50-20°W) (Patton et al. 1994). كما أن منطقة عينة التلال تمثل كتل صدعية مرتفعة Block Fault لصدع عادي Normal Fault اتجاهه بين (N15°E -N10°E)، وهذه الصدوع نشأت أثناء نشأة أخدود خليج السويس في أواخر الألوغوسين. تعد هذه الصدوع أحد العوامل الرئيسية التي تحكمت في عمليات تشكيلها، ويدل على ذلك أن اتجاه جوانب التلال التي سجلت أعلى قيمة ارتفاع هي عمودية على اتجاه الصدوع السائدة بالمنطقة. يرجع عدم تماثل الارتفاع على جوانب التلال الواحد إلى وجود بعض التلال بها جانب أو أكثر شبه ملتحم بغيره؛ نتيجة أن العامل الآخر والذي يمثل الروافد الصغيرة لم يؤثر بشكل كبير على تشكيل التلال مثل الروافد التي تتبع بشكل رئيس الفواصل والصدوع. اقترح (Balazs 1973) تصنيف عام للتلال على أساس نسبة قطر التلال إلى ارتفاع، وقد ميز أربعة أنواع: (1) أقل من 1.5، (2) بين (1.5-3)، (3) بين (3-8)، (4) أكثر من 8، وأطلق عليها أسماء تبعاً لمناطق وجودها وهي: يانغشو Yangshuo، أورجانوس Organos، سيو Sewu، توال Tual على الترتيب. اقترح (Day 1978) أن نسبة القطر للارتفاع يمكن أن تكون مؤشراً فعلياً على تحديد نوع التلال في أي منطقة، وذلك إذا كانت هناك علاقة قوية بين ارتفاع التلال وقطرها. توجد علاقة طردية قوية بين ارتفاع التلال وقطرها بمنطقة الدراسة، وبالتالي يمكن تطبيق تصنيف (Balazs 1973) عليها، ومن ثم تضم تلال هضبة الجلالة القبليّة نوعين من التلال وهما: سيو Sewu، وتوال Tual. تبين وجود علاقة ضعيفة بين معدل انحدار التلال وبين طولها، وعرضها، وقطرها، ومساحتها، ومؤشر شكلها. تبين وجود علاقة متوسطة بين معدل انحدار التلال ومتوسط ارتفاعها، ويدل هذا على أن معدلات زوايا انحدار التلال لا ترتبط بدرجة كبيرة بأبعاد التلال، ومن ثم عمليات تشكيل انحدارات التلال كانت متغيرة جداً، وربما يرجع ذلك إلى المدة الزمنية الكبيرة التي نشأت خلالها، والتي بدأت منذ تصدع المنطقة أثناء نشأة أخدود خليج السويس في أواخر الألوغوسين، إلى جانب تأثرها بالرياح والسيول الفجائية في الوقت الحاضر.

يدل وجود أشكال الكارن، وكهوف الإذابة، وسهل الإذابة في محيط التلال على أن عمليات الإذابة كان لها دور في تشكيل المنطقة. تبين من درجات تقوس التلال أن الانحدارات المحدبة هي المهيمنة على التلال، تليها الانحدارات المقعرة، ثم المستقيمة، ومن استنتاجات (Tjia 1969) حول العلاقة بين درجات تقوس جوانب التلال وعمليات الإذابة، وهي أن الانحدارات المحدبة تدل على عمليات الإذابة الرأسية، وتدلل الانحدارات المقعرة على عمليات الإذابة الجانبية. ومن ثم عمليات الإذابة الرأسية كانت أكثر العمليات المهيمنة على نشأة التلال بمنطقة الدراسة نتيجة عملية الرفع و/أو انخفاض منسوب القاعدة التي تعرضت لها المنطقة، بالإضافة إلى عمليات الإذابة الجانبية، أما الانحدارات المستقيمة فهي نتيجة أن عمليات التشكيل كانت شبه متساوية.

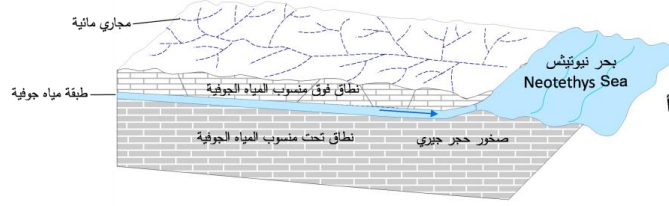
يمكن القول أن عمليات الكارست كان لها دور في نشأة التلال المتبقية في هضبة الجلالة القبلية مثل التي درسها (1986, 1987) El Aref et al. في الصحراء الشرقية والغربية، إلا أن ظروف نشأتها مختلفة، ولذلك النموذج الذي وضعه (1987) El Aref et al. لنشأة التلال الكارستية في منخفض البحرية لا يمكن تطبيقه على تلال منطقة الدراسة، ومن ثم فقد وضعت الدراسة الحالية نموذج لنشأة التلال المتبقية في هضبة الجلالة القبلية يتوافق مع ظروف نشأتها، والتي بدأت منذ عصر الألوغوسين، وهي أول فترة انخفض فيها منسوب سطح بحر نيوتثس Neotethys بعد ترسب التكوينات الصخرية التي تشكلت فيها التلال، مع وجود أنظمة نهريّة بالجانب الشرقي لخليج السويس (Abul-Nasr, 1990) مقابل منطقة الدراسة، وقوة تكتونية أثناء نشأة أخدود خليج السويس Bosworth and McClay (2001, and references therein)، وفيما يأتي نموذج نشأة التلال الكارستية بهضبة الجلالة القبلية:

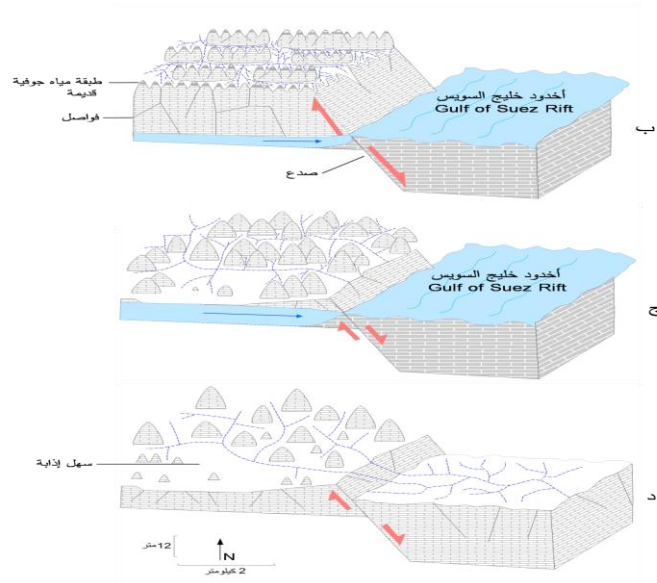
- 1- تكونت طبقة من المياه الجوفية عند منسوب 242م فوق منسوب سطح البحر الحالي، وكانت قريبة من السطح ومستقرة نسبياً؛ مما أدى إلى تكوين تجاويف وكهوف أنبوبية صغيرة بها، مع وجود مجاري مائية (شكل 9أ).
- 2- تعرضت المنطقة لقوة تكتونية أثناء نشأة أخدود خليج السويس؛ أدت إلى تكوين صدع عادي اتجاهه بين (N10° -15° E)، وحدث رفع لمنطقة عينة التلال. تزامن مع نشأة هذا الصدع، أو بعد نشأته انخفاض في منسوب المياه الجوفية تاركة منسوبها القديم به التجاويف والكهوف الصغيرة التي نشأت عند أو تحت منسوبها القديم. أصبح سطح هذه التجاويف والكهوف غير مستقر نتيجة إزالة قوة دعم الطفو Buoyant Support (White, 2012)، وتشكلت طبقة جديدة من المياه الجوفية عند منسوب بين (220م- 211م) فوق منسوب سطح البحر الحالي، وكانت مستقرة، ولأنها كانت مستقرة - وتخفيض السطح مقيد بمنسوب القاعدة - فقد أدى ذلك إلى زيادة معدلات التعرية السطحية، واستمرت المجاري المائية السطحية بتعميق وتوسيع مجاريها للوصول إلى منسوب القاعدة الجديد، وذلك عند مسارات المياه المتمثلة في الصدوع والفواصل، ولذلك كانت أكبر قيمة لارتفاع التلال على جوانب التلال التي تتخذ الاتجاه العمودي على اتجاه الصدوع السائدة بالمنطقة. أثناء ذلك بدأت تتشكل أراضي ما بين الأودية، وتأثرت الكهوف بالمياه السطحية، وحدث انهيار كلي، أو جزئي لها، وانكشف بعضها على جوانب أراضي ما بين الأودية (شكل 9ب).
- 3- بسبب أن معدلات التعرية كانت أكبر من معدلات انخفاض منسوب القاعدة؛ فقد عمقت ووسعت الأودية مجاريها وتشكلت تلال تفصل بينها مجاري مائية سطحية، وهي تلال مخاريط- الأودية الكارستية Cone -Valley Karst Hills، وبسبب استقرار منسوب القاعدة؛ فقد سيطرت على التلال عمليات التعرية السطحية والجانبية، مع إزالة مستمرة لنواتج عمليات التعرية بواسطة المياه الجارية سواء بالنقل، أو الإذابة، ولذلك جاءت العلاقة قوية وطرديّة بين قطر التلال وارتفاعها.
- 4- استمرت عمليات التعرية السطحية، ونتيجة استقرار منسوب المياه الجوفية؛ فقد تم تخفيض السطح في بعض المواقع وصولاً إلى السطح العلوي لطبقة المياه

الجوفية Epiphreatic Zone، واختلطت المياه السطحية بالمياه الجوفية، والتي ربما كانت تحتوي على محاليل حمضية مصدرها تكوينات الكريتاسي التي تقع تحتها، مما زاد من شراهة عملية الإذابة، وتشكل سهل إذابة، ويحتمل أنه من نوع سهل التآكل لمنسوب القاعدة Baselevelled Corrosion Plain، ولكن لم يتعمق سهل الإذابة بسبب الممال الهيدروليكي Hydraulic Gradient المنخفض (Ford and Williams, 2007). نتيجة هذا التقييد في التعميق؛ فقد توسع السهل عن طريق التراجع التدريجي لبعض التلال، وأشكال السطح المجاورة، مما أدى إلى إزالة بعض التلال مع وجود بقايا لبعضها، وتسمى هذه العملية باسم "التسوية بواسطة التآكل Corrosion Planation"، والتي تتضمن عملية الإذابة الرأسية بواسطة مياه الأمطار المباشرة، والتقويض السفلي بواسطة التآكل السريع في مناطق المستنقعات عند قاعدة التلال (Ford and Williams, 2007)، وقد تحولت التلال في مواقع هذا السهل من نوع تلال الأودية إلى تلال الأحواض Fenglin Basin (شكل 9ج).

5- انخفض منسوب المياه الجوفية أسفل سهل الإذابة، ونتيجة تأثر المنطقة بالصدوع والفواصل؛ فقد تسربت معظم المياه تحت السطح، وهجرت مجاريها السطحية تاركة تلال متبقية، وسهول تحاتية، وبعض الحفر والمنخفضات بين الأودية، وأصبحت التلال تتأثر بالرياح والسيول الفجائية التي تشهدها المنطقة في الوقت الحاضر (شكل 9د).

الشكر: تشكر الباحثة الأستاذ الدكتور جون ميلروي John Mylroie من جامعة ولاية مسيسبي بالولايات المتحدة الأمريكية على مساعدته في كيفية تحليل بعض بيانات قياسات التلال، كما تشكر عمال شركة الأمانة على مساعدتهم أثناء الدراسة الميدانية.





شكل 9. نموذج نشأة وتطور التلال المتبقية في هضبة الجلالة لقلبية (مقياس الرسم الرأسي للتلال فقط) (للتوضيح انظر النص).

Abstract**Cone Karst in El-Galala El-Qibliya Plateau, Eastern Desert, Egypt****Wafaa Khalaf Fahim**

Satellite images and field investigation demonstrated that El-Galala El-Qibliya Plateau (Southern Galala) contains residual hills. They are located in separate localities and have not been previously described in the plateau. The residual hills are developed in Eocene limestone rocks. The residual hills are dissected by dry valley (wadi) and occasionally plains. The residual hills resemble karst hills, and their origin requires humid climate conditions, which are different from the current hyper-arid climate conditions of the plateau. One sampling area was selected for field survey and to identify some evidence of their formation. Through a detailed field survey on 120 slope profiles on 30 hills with 515 slope segments on 24 hills of the 30 hills and analysis of slope forms, it was found that the residual hills are cone valley karst hills and fenglin basin hills at a few localities. They have two types of hills: Sewu and Tual. The residual hills are conical to elongated. Most of the hills are aligned roughly along the north direction, controlled by faults and joints. The height of the hills is less than 15 meters. Their diameters range from 7 m to 70 m. Their diameter/height ratios range from 3.57 to 8.71, with a significant positive correlation between their diameter and height. Most of the slope angle of the hills ranges from 10° to 30°. The hills have more than one slope curvature, with a high percentage of convex slope at the upper part of the hills. Some of the hills have small vertical cliffs and staircases. Karren features, dissolution caves, and likely base-levelled corrosion plain are associated with the hills. The residual hills formed likely since Oligocene. A hypothetical genetic model is introduced reflecting their evolution as a result of a combination of karstification and tectonic movement, geologic fractures, paleoclimate, and changes of base level.

Keywords: Carbonate Rocks, Cone Valley, Gulf of Suez Rift, Karstification, Paleoclimate, Residual Carbonate Hills, Tectonic Movement.

المراجع

- Abdel Rahman M. A., Embabi N. S., El-Etr H. A. and Moustafa A. R., 1980-1981, Some geomorphological aspects of Siwa depression, the western desert: Bulletin de la Societe de Géographie d'Egypte, Tomes v. 53-54, p. 17-41.
- Abul-Nasr, R. A., 1990, Re-evaluation of the upper Eocene rock units in west-central Sinai, Egypt: Earth Science Series, Ain Shams University, v. 4, p. 234-247.
- Badr, A. A., 2001, Surface and subsurface structural setting of the area east and southeast of the South Galala Plateau, [M.S. Thesis]: Cairo, Ain Shams University, 138 p.
- Balazs, D., 1973, Relief types of tropical karst areas, in IGU Symposium on Karst Morphogenesis (ed. L. Jakucs), Szeged, Szeged Attila Jozsef University, p. 16-32.

- Bosworth, W., and McClay, K., 2001, Structural and stratigraphic evolution of the Gulf of Suez rift, Egypt: a synthesis, *in* Ziegler, P. A., Cavazza, W., Robertson, A. H. F., and Crasquin-Soleau, S., eds., *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins*: Paris, Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, v. 186, p. 567–606.
- Day, M. J., 1978, Morphology and distribution of residual limestone hill (mogotes) in the karst of northern Puerto Rico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 89, p. 426-432. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1978\)89<426:MADORL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1978)89<426:MADORL>2.0.CO;2).
- Day, M. J., 2004, Cone Karst, *In* Gunn, J., ed., *Encyclopedia of Caves and Karst Science*: New York: Fitzroy Dearborn, p. 241-243.
- El Aref, M., Awadallah, F., and Ahmed, S., 1986, Karst Landform Development and Related Sediments in The Miocene Rocks of the Red Sea Coastal Zone, Egypt: *Geologische Rundschau*, v. 75, p. 781-790.
- El Aref, M., Abou Khadrah, A., and Lotfi, Z., 1987, Karst topography and karstification processes in the Eocene limestone plateau of El Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt: *Z. Geomorph.*, v. 31, p. 45–64.
- EMRA, Egyptian mineral resources authority, 2005, Geologic map of Ras Abu Bakr Quadrangle, Egypt, NH 36 B6, scale 1: 100 000, 1 sheet, Reproduced from EGSMAS Field Project No. 7196.
- Fahim, W. Kh., 2015, Karst landforms in Matruh area a geomorphological study using geographic information systems techniques, [M.S. Thesis]: Benha, Benha University, 302 p. http://db4.eulc.edu.eg/eulc_v5/Libraries/Thesis/BrowseThesisPages.aspx?fn=PublicDrawThesis&BibID=12131195
- Ford, D., and Williams, P., 2007, *Karst hydrogeology and geomorphology: West Sussex, England*, John Wiley and Sons Ltd., 562 p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- Patton, T. L., Moustafa, A. R., Nelson, R. A., and Abdine, S. A., 1994, Tectonic evolution and structural setting of the Suez rift, *In* Landon, S. M., ed., *Interior rift basins*: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists Memoir 59, p. 9–55.
- Smart, P., Waltham, T., Yang, M. and Zhang, Y., 1986. Karst geomorphology of western Guizhou, China: *Transactions of the British Cave Research Association*, v. 13, p. 89-103.
- Tang, T. and Day, M. J., 2000, Field survey and analysis of hillslopes on tower karst in Guilin, southern China: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 25, p. 1221-1235. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200010\)25:11<1221::AID_ESP133>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200010)25:11<1221::AID_ESP133>3.0.CO;2-D).
- Tjia, H. D., 1969, Slope development in tropical karst: *In* *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* v. 13, p. 260– 266.
- White, E. L., 2012, Breakdown, *In* White, W. B., and Culver, D. C., ed., *Encyclopedia of Caves*: Chennai, Academic Press, p. 68–74.
- Williams P. W., 1972, Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea: *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 761– 796. [https://doi.org/10.1130/00167606\(1972\)83\[761:MAOPKI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1972)83[761:MAOPKI]2.0.CO;2).
- Xiong, K., 1985, Evolution of Shuicheng karst landforms, [M.S. Thesis]: Guiyang, Guizhou Normal University.
- Young, A., 1972, *Slopes*: Edinburgh, Oliver and Boyd, 288 p.
- Zhang, D., 1996, A morphological analysis of Tibetan limestone pinnacles: Are they remnants of tropical karst towers and cones?: *Geomorphology*, v. 15, p. 79-91. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00109-I](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00109-I).