جيومورفولوجية منخفض العَرَج
جنوب غربى منخفض القطارة

د. ماجد محمد محمد شعلة*

مقدمة :

ظلت واحة العرج مجهولة لكافة التخصصات الأكاديمية حتى نهاية الربع الأول من القرن التاسع عشر، إلى أن جاءت أول إشارة عنها على يد " Cailliud " وزميله " Letrozec " فى كتابهما (Voyage a Meroe ,1826) ، وتبعهما " Rohlfs " الذى زار واحة العرج فى عام 1874 عندما كان فى رحلة عودته من بحر الرمال العظيم ، وبداية من عام1896بدأت الكتابات تتزايد عن الواحات الموجودة بالإقليم ، منذ أصدر " Jennings Brawley" كتابه بعنوان (A Journey to Siwa in Sep. & Oct. 1896) و "Steindorff" فى كتابه بعنوان (Durch die Libysche Wueste,1900) و "Oric Bates" (The eastern Libyan, 1914)، وأخيراً " Belgrave " الذى أصدر كتابه بعنوان (Siwa , 1925).

ولقد أعاد " Anthony de Cosson " _ فى عام 1936 _ واحة العرج وغيرها من الواحات المجاورة إلى بؤرة الاهتمام لدى الأثريين، حين قام بنشر دراسة عن تلك الواحات بعنوان (Note on Bahrien , Naweimisa and Al-arag). (Abed, W., 1998; 216-217; Baajenes, A., 1997; 204-206) وتأتى آخر إشارة أركيولوجية عن الواحة فى كتابات " Fakhry A., " فى عام 1938 – بوصفه أول عالم آثار مصري يزور واحة العرج – عن المقابر الحجرية فى الواحة والتى نشرت تحت عنوان (The tombs of El – Areg oasis in the Libyan desert) (Fakhry , A. , 1939 ; 609-619) وانحصرت الدراسات الهيدروجيولوجية عن إقليم المنخفض فى دراسة " El Ramly , I " عن أصل مياه البحيرات بالمنطقة الواقعة جنوبى منخفض القطارة والتى تضم بحيرات العرج والبحرين وسترة ونويميسة (El Ramly , I. , 1966 ; 547 : 567).

---

* مدرس الجغرافيا بكلية الآداب – جامعة الإسكندرية (فرع دمنهور).

ويأمل الباحث فى رسم خريطة جيومورفولوجية لمنطقة لم يكشف عنها النقاب على المستوى الجغرافى بصفة عامة ، والجيومورفولوجى بصفة خاصة ، وتدور الدراسة الحالية في فلك ثلاثة أطر علمية : **أولها** : الإطار الموضوعي الأصولي عند تأصيل وتفسير نشأة كل ظاهرة **وثانيها** : الإطار التاريخي في تتبع تطور تلك الظاهرات وما يطرأ عليها من تغيرات ضمن البعد الزمني الثلاثي الامتداد (الماضي والحاضر والمستقبل) **وأخيراً** : الإطار الإقليمي الذى يهدف إلى تصنيف تلك الظاهرات إلى مجموعات أو وحدات أرضية متجانسة وإبراز شخصيتها الإقليمية التي تميزها عن غيرها من الأقاليم المجاورة كلما أمكن ذلك. كما تستعين الدراسة بالأساليب الوصفية والكمية والتحليلية، وتعد الدراسة الميدانية المصدر الأصيل لمعظم البيانات الواردة بهذه الدراسة .

ولتحقيق الهدف من البحث، تتناول الدراسة النقاط التالية:

أولاً : ملامح البيئة الطبيعية

ثانياً : جوانب المنخفض .

ثالثاً : قاع المنخفض .

رابعاً : حقل الرمال شرقى المنخفض .

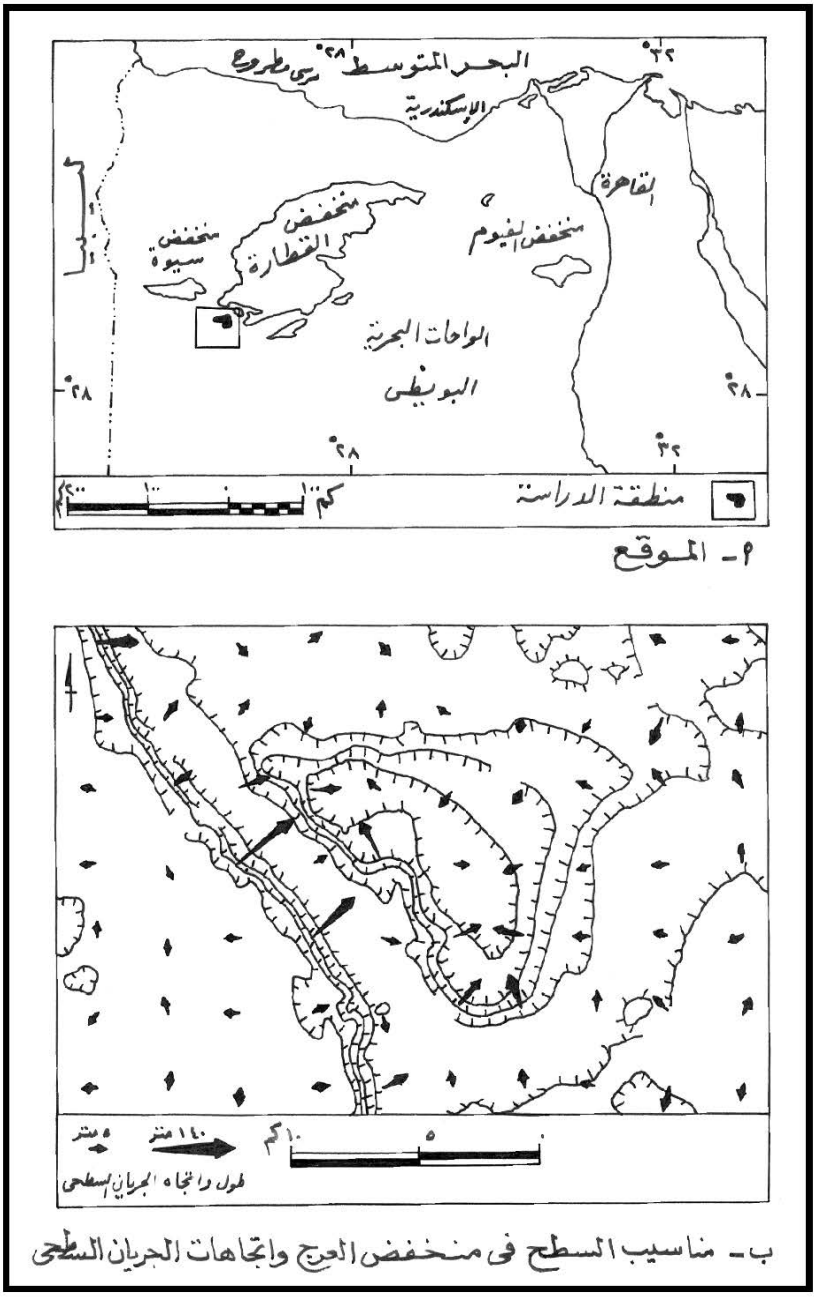
خامساً : نشأة المنخفض وتطوره .

أولاً : ملامح البيئة الطبيعية :

يقع إقليم منخفض العرج بين دائرتى عرض 1° 28/ ، 8° 28/ شمالاً، وخطى طول 14/ 26° ،30/ 26° شرقاً (شكل 1)، كما يقع المنخفض إلى الجنوب الشرقى من بلدة سيوة (الواقعة بمنخفض سيوة) بنحو 90 كيلو متراً تقريباً، على درب غير معبد الذى تحفه الكثير من الصعاب والواصل بين واحتى سيوة والبحرية.

وتبلغ مساحة المنخفض داخل حدود الحافات الظاهرة المحيطة به حوالى 200 كيلو متراً مربعاً، كما تبلغ مساحته نحو 421 كم2 عند منسوب 130 م فوق سطح البحر وهو منسوب سطح حافة هضبة " باكو " الواقعة إلى الجنوب الغربي منه. والمنخفض شبيه بالمثلث ، قاعدته في الشمال ، حيث تمتد من الغرب إلى الشرق بطول حوالى 20 كم ، فى حين يمتد حوالى 19 كم من الشمال إلى الجنوب . ويصل متوسط منسوب قاع المنخفض إلى حوالى (-55 متراً)، فى حين يبلغ منسوب أدنى نقطة به حوالى (-60 متراً) الواقعة أقصى جنوب شرقى قاع المنخفض.

وتغطى التجمعات الرملية بأشكالها المختلفة الجزء الأكبر من أسطح وواجهات حافات الجانبين الشمالى والجنوبى الشرقى، مما أدى إلى خفض معدلات تضرسهما النسبى، وصعوبة تحديدهما بالقياس بحافات الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض التى تبدو أكثر وضوحاً وسهولة فى تحديدها.



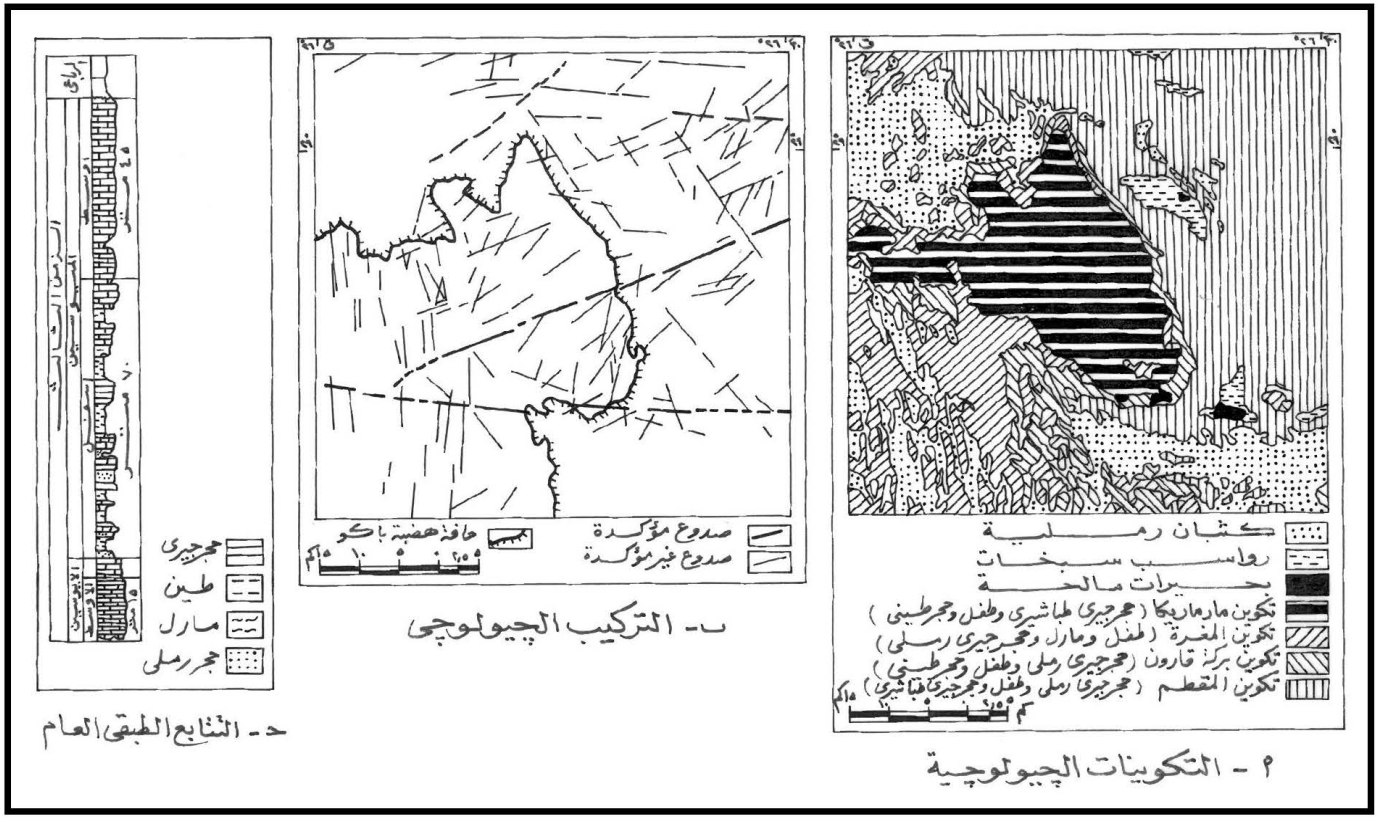
شكل (1) : موقع منخفض العرج وامتداده.

ويبدو أن منخفض العرج قد تم حفره فى تكوينات الهضبة الميوسينية التى تمتد جنوبى شرقى منخفض سيوة والمعروفة بهضبة " باكو " Pacho plateau ، وتتنوع التكوينات الجيولوجية التى تظهر على سطح منطقة الدراسة والتى يرجع أقدمها إلى عصر الإيوسين الأوسط (شكل 2)، وتعرف بتكوين المقطم، ويغطى مساحة تقدر بحوالى 40% تقريباً من جملة مساحة منطقة الدراسة، ويؤلف ذلك التكوين تتابعاً طبقياً يبدأ من أعلى بطبقة من صخور الحجر الجيرى الرملى التى ترتكز على طبقة من صخور الطفل الرمادى التى تعلو طبقة من صخور الحجر الجيرى الطباشيرى التى يتشكل منها قاعدة التكوين ، ويبلغ السمك الإجمالى لهذا التكوين نحو 318.5 متراً، ويزخر تكوين المقطم بالعديد من الحفريات البحرية والتى تتصدرها الحفريات المستديرة الشكل المعروفة بقروش الملائكة Nummulitic gizehensis (El-Bassyony, A, 1995; 89-93; El - Ramly, I., 1966, 555).

ويشغل تكوين بركة قارون (الإيوسين الأعلى) مساحة تقدر بحوالى 3% فقط من إجمالي مساحة منطقة الدراسة ، ويتشكل منه حافات شديدة الانحدار ؛ إذ يتشكل التكوين من صخور الحجر الجيرى الرملى التى يتخللها شرائح من صخور الطفل والحجر الطينى، ويظهر على واجهاتها العديد من الدرجات الصخرية البارزة والتى تشير إلى تباين مقاومة الصخور التى يتشكل منها التكوين (صورة 4). كما توجد تكوينات الميوسين الأسفل والمعروفة بتكوين المغرة متوافقة فوق تكوين بركة قارون ، وهو عبارة عن صخور ضعيفة التماسك تتكون من الطفل والمارل والحجر الجيرى الرملى، وهى فى مجموعها تمثل إرسابات قارية مختلطة برواسب مياه ضحلة، وتظهر مكاشف ذلك التكوين فوق واجهة وعند أسافل حافة هضبة "باكو" الميوسينية جنوب غربى المنخفض، ويشغل مساحة تقدر بحوالى 3% من جملة مساحة منطقة الدراسة.

وتشغل تكوينات الميوسين الأوسط التى تعرف بتكوين مارماريكا حوالى 28% من جملة مساحة منطقة الدراسة، وتعد بمثابة الغطاء الواقى لتكوين المغرة الهش الواقع أسفل منه؛ إذ يتميز بصلابته وشدة مقاومته النسبية لعوامل وعمليات التعرية المختلفة، ويتألف ذلك التكوين من صخور الحجر الجيرى الطباشيرى التى تتخلله شرائح من الطفل والحجر الطينى.

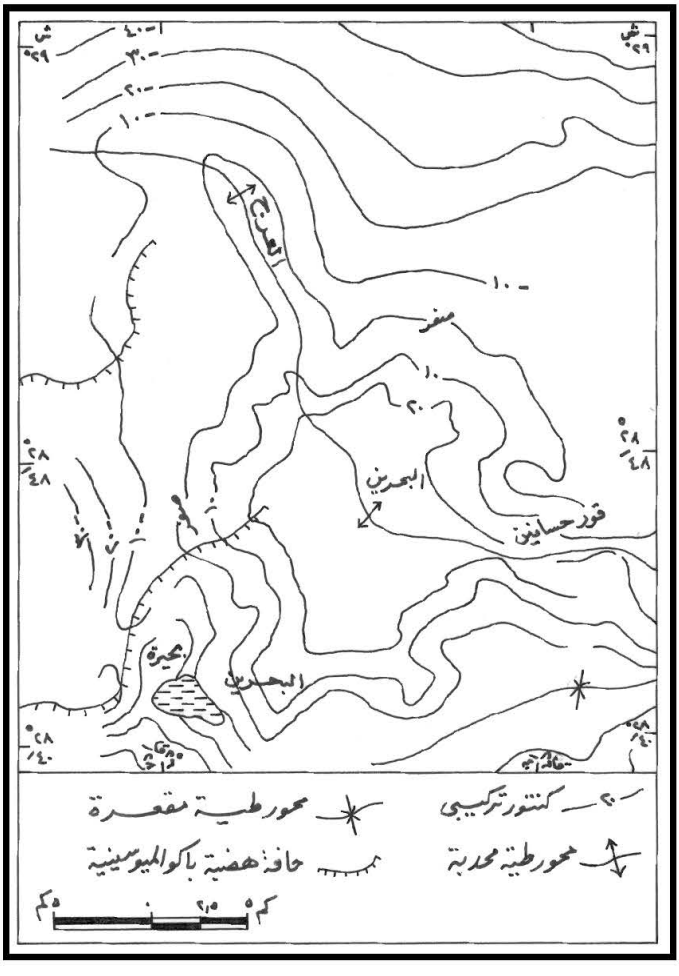
وتعد رواسب الزمن الرابع وهى أحدث الرواسب التى يزخر بها سطح المنطقة ، وتنقسم إلى نوعين رئيسين : **الأول** : رواسب عصر البليستوسين وهى عبارة عن رواسب سبخية وجيرية تشكل بقايا رواسب قاع البحيرة القديمة التى كانت تشغل قاع المنخفض ، وتفترش مساحة إجمالية تقدر بحوالى 53 كيلو متراً مربعاً، وبمتوسط سمك يبلغ حوالى 12 متراً، وتتكون من رواسب طفلية متماسكة ، يعلوها قشور ملحية يصل سمكها فى بعض المواضع إلى حوالي 80 سنتيمتراً . **والثانى**: رواسب عصر الهولوسين وهى عبارة عن رواسب رملية مفككة تتشكل منها الكثبان والغطاءات الرملية بمنطقة حقل الرمال شرقى المنخفض (الأشكال 5، 7) والرواسب الرملية دقيقة الحجم غير متماسكة، وتختلط أحياناً بالمفتتات الجيرية وقروش الملائكة على هوامش السبخة الجافة فوق قاع المنخفض.



المصدر: أ، ب خريطة مصر الجيولوجية مقياس 1: 500.00 ، لوحة سيوة، 1986. ج، الخريطة الجيولوجية لسيوة مقياس 1: 250.00، 1988.

شكل(2) : جيولوجية منخفض العرج.

ويشغل منخفض العرج موضع طية محدبة ؛ حيث يتوافق المحور الطولى للمنخفض من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى مع محور تلك الطية ومروراً بمنخفض البحرين وقور حسانين جنوبي المنخفض (شكل 3). وتميل الطبقات على جانبى المحور فى اتجاهين رئيسين هما: الشمالى الشرقى ، والجنوبى الغربى (El Ramly,I.; 1966 , 555 : 556) ولقد صاحب تشكيل الطية المحدبة ظهور العديد من نظم فواصل الشد عند قمة الطية وعلى جناحيها ، وتتوزع تلك الفواصل بين مجموعتين ، الأولى : ذات محور طولى يمتد من الشمال الشرقى إلى الجنوب الغربى، والثانية : محورها الطولى يمتد من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى .



شكل (3) : التركيب الجيولوجى لإقليم منخفض العرج.

ومن دراسة أرقام الملحقين (1، 6) وفى ضوء تصنيف " Gorczynski , 1920 "[1] لمعامل القارية فقد وجد أن قيمتة لمحطتى سيوة والبحرية قد بلغت حوالي 51.9 ، 52.3 على الترتيب، لذلك تسود عمليات التجوية الميكانيكية، والتعرية الهوائية، فى المقابل تنخفض عمليات التجوية الكيميائية وتعرية الماء الجارى.

وإذا كانت هذه هى حالة مناخ منطقة الدراسة فى الوقت الحاضر، فإنه لا يمكن إنكار دور عمليات التجوية الكيميائية وفعل الماء الجارى فى الفترات الأكثر رطوبة فى الماضى ، والتى استطاعت أن تسهم بدور فعال فى تشكيل العديد من الظاهرات التى ينظر إليها الآن على أنها ظاهرات حفرية ، ومن ثم فإننا بصدد ظاهرات جيومورفولوجية وقعت تحت تأثير ظروف مناخية متباينة، وهو ما سنتناول دراسته بالتفصيل فى المواضع المختلفة من هذه الدراسة .

كما تُولِى الدراسة الحالية أهمية لدور النبات الطبيعى[2] فى تشكيل بعض الظاهرات ، وخاصة ذات الطبيعة الديناميكية مثل الأشكال الرملية المختلفة . وتتنوع أشكال النبات الطبيعى فوق قاع المنخفض – فضلاً عن وجود أشجار النخيل – إذ تنتشر الأعشاب الحولية المستنقعية ومنها أعشاب السمارمر Juncus actus، وكذلك الشجيرات التى ترتفع إلى ثلاثة أمتار ومنها شجيرات Nitraria Retusa الغردق أو الغرقد و Zygophyllum alfam (الرطريط)،Arthrocnemum glaucum (خريزة) وأخيراً النباتات الشجرية مثل Tamarix Aphylla (الأثل). وتشترك تلك الأشكال النباتية كافة فى كون جميعها محبة للجفاف Xerophytes ، ولذا فان هذه المجموعات تتكيف مع ظروف الجفاف بالحصول على احتياجاتها المائية من المياه الباطنية؛ حيث ترتفع كثافة الغطاء النباتى بالاتجاه صوب أدنى مواضع بالمنخفض؛ حيث تكاد تختفى تماماً فى المواضع الأرضية الأخرى بإقليم المنخفض.

---

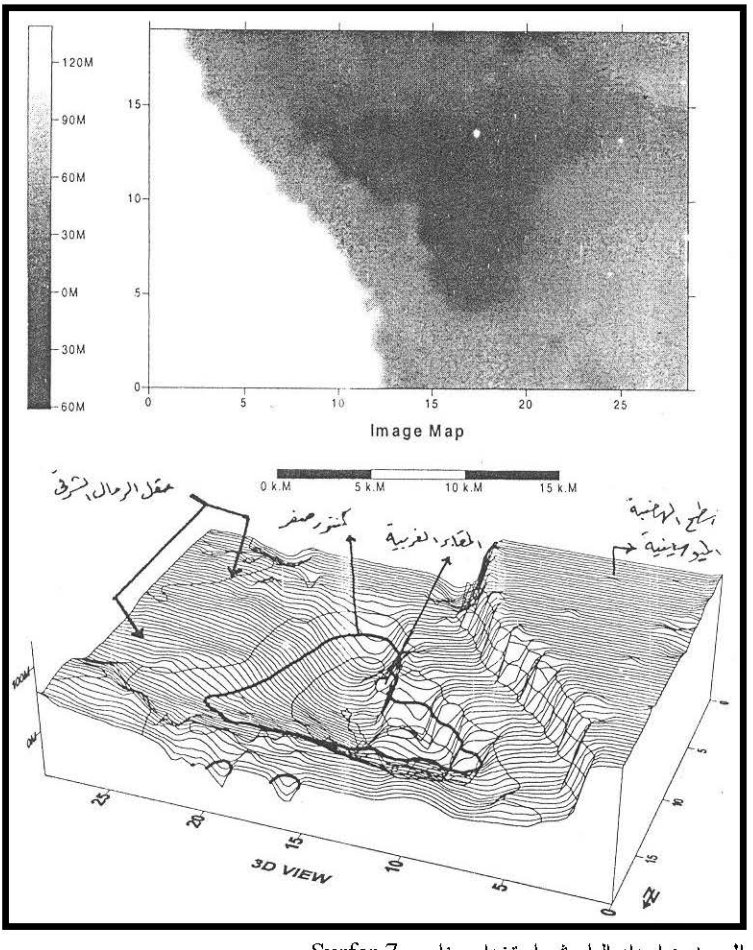
(1) درجة القارية تبعاً لصنيف جرزنسكي، $1920 = [\frac{1.3}{\text{جا درجة العرض}} \times \text{المدى السنوى لدرجة الحرارة} - 36.3]$

حيث أن درجة عرض سيوة هي 29° 12َ ش والبحرية 28° 30َ ش نقلاً عن (على موسى، 1989، 26-31) ، وتعتمد الدراسة الحالية فى دراسة خصائص عناصر المناخ على الأرصاد الجوية الخاصة بمحطتى أرصاد سيوة والبحرية باعتبارهما أقرب محطات الرصد لمنطقة الدراسة (شكل 1).

(2) تعد الدراسة الميدانية المصدر الرئيسى لمعظم البيانات الواردة بالبحث ، وقد استغرقت مدتها اثنى عشر يوماً موزعة بين ثلاث زيارات ، الأولى : فى الفترة من 19 : 25 مارس 2000 ، والثانية : فى الفترة من 12 : 14 أبريل 2001 والثالثة : يومى 27 ، 28 فبراير 2002 ، وبالنسبة للنبات الطبيعى فقد حددت خصائصه وأشكاله ومسمياته الدارجة والعلمية فى مقابلة شخصية مع ا.د. رفيق الغريب الأستاذ بقسم علوم النبات بكلية العلوم – جامعة الإسكندرية خلال شهر أبريل من عام 2001 .

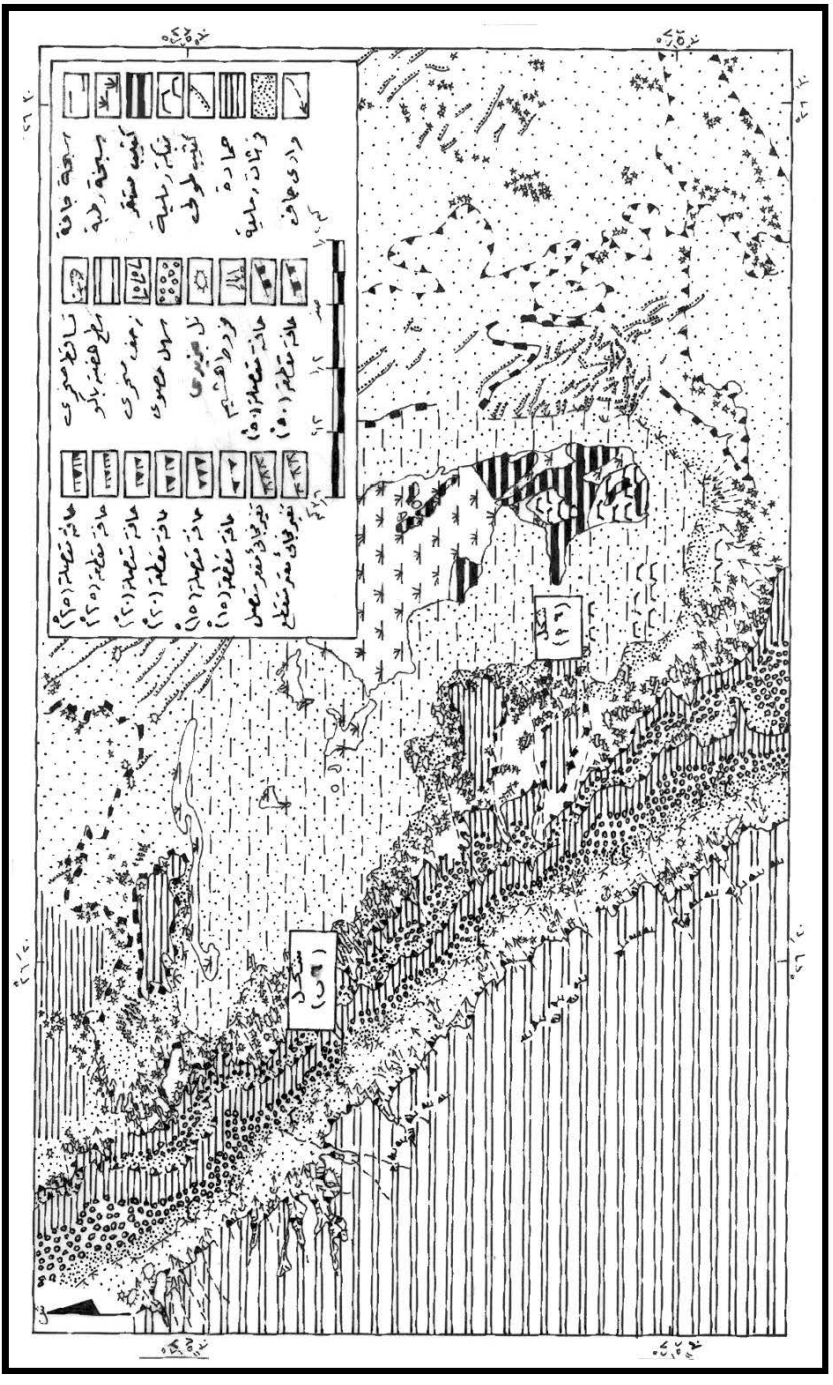
الدراسة الجيومورفولوجية :

تتوزع الأشكال الأرضية بمنطقة منخفض العرج بين ثلاث وحدات أرضية رئيسة تضم حافات جوانب المنخفض، وقاع المنخفض، وأخيراً حقل الرمال الشرقى. ومن دراسة الأشكال (4، 5، 6) يتبين وضوح الحدود الفاصلة بين تلك الوحدات ، سواء من حيث خصائص انحداراتها أو أشكالها وكذلك العناصر الأرضية التى تتشكل منها كل وحدة ، ويمكن دراسة تلك الوحدات على النحو التالى:



المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج Surfer 7.

شكل (4) : مرئية ومجسم يوضحان تضرس ووحدات منخفض العرج.



شكل (5) : جيومورفولوجية منخفض العرج.

المصدر: الصور الجوية مقياس 1: 60.000 ، والدراسة الميدانية.

ثانياً : جوانب المنخفض :

يمكن تقسيم جوانب منخفض العرج الى ما يلى :

1- الجانب الجنوبى الغربى.

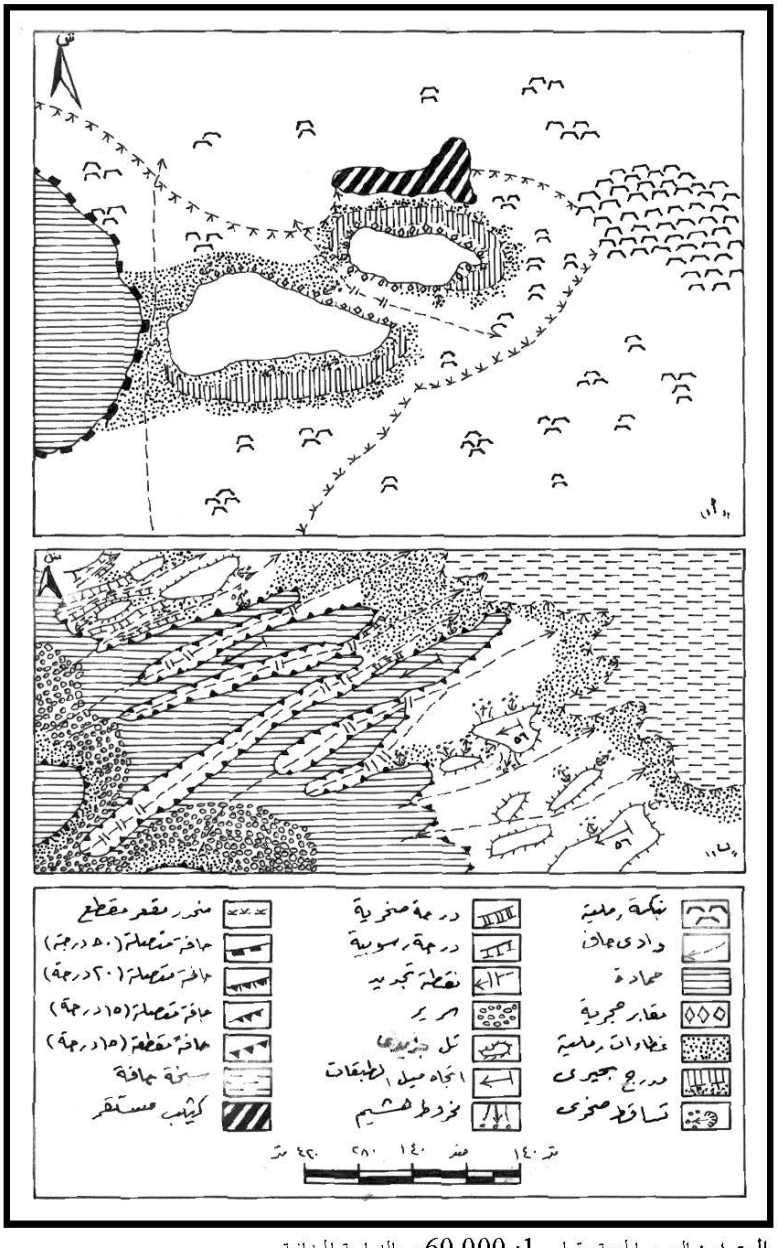
تشغل الوحدة الأرضية التى تشرف على قاع المنخفض من الجنوب الغربى مساحة تقدر بحوالى 61.6 كم2، أى بنسبة تبلغ حوالى 31% من جملة مساحة منطقة الدراسة. وتتحدد مورفولوجيتها فى واجهة سلمية تتكون من أربعة تتابعات رئيسة تتمشى حدودها مع الحدود الصخرية للتكوينات التى تميل طبقاتها جهة الجنوب الغربى بمقدار يتراوح بين 6 – 8 درجات بالإضافة إلى جزء من سطح هضبة باكو الميوسينية حيث توجد المنابع العليا لمجارى الأودية الجافة التى تنتهى إلى قاع المنخفض، ولقد اتضح من الدراسة الميدانية التنوع المورفولوجى لتلك الوحدة، ولإبرازهذا التنوع يمكن تقسيم وحدة الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض إلى وحدتين ثانويتين على النحو التالى:

أ – سطح هضبة باكو الميوسينية :

قد يبدو أن سطح الهضبة لا يمثل احدى الوحدات المورفولوجية التى يتشكل منها المنخفض، إلا أن الباحث يرى ضرورة لدراسته، لكونه متمم للهيئة المورفولوجية العامة؛ حيث يمكن الاستفادة من دراسة ملامحه فى استنباط نشأة وتطور المنخفض فى موضع لاحق بهذه الدراسة.

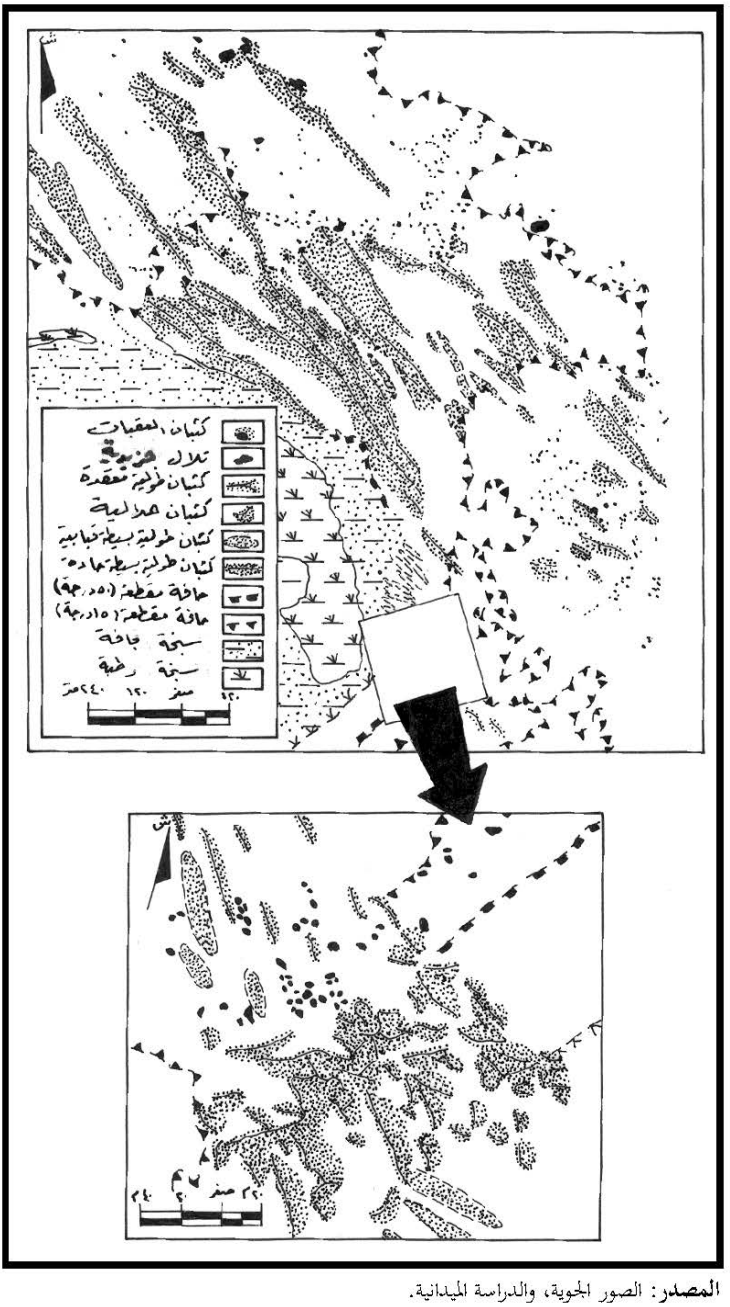
يبدو سطح الهضبة مترامى الأطراف جهتى الشمال الغربى والجنوب الغربى، مموجاً تموجاً بسيطاً ، وينحدر بشكل عام جهة الجنوب الغربى، ويعلو السطح مجموعة من القور ذات الارتفاعات المحدودة (والتى لا تزيد عن عشرة أمتار)، وهى تمثل فى مجموعها بقايا كويستات محدودة الامتداد فوق سطح الهضبة ، ذوات حافات غير واضحة تكاد تتغطى كلية برواسب غير متماسكة تشكل مخلفات عمليات الإذابة أو فعل الإرساب الهوائى ؛ إذ رصد العديد من أشكال الإرساب الهوائى النموذجية فوق سطح الهضبة ؛ حيث نجحت الرياح فى الوصول بحمولتها مكونة لكثبان رملية طولية ذات محاور شمالية غربية – جنوبية شرقية، وبارتفاعات تصل إلى المترين فوق مستوى السطح المحيط بها .

وتنتشر فوق سطح الهضبة العديد من المجارى المائية المضفرة والضحلة المؤقتة التى تعد بمثابة الإرهاصات الأولى لنظم التصريف، وتتبع فى جريانها الانحدار العام للسطح جهتى الشمال الشرقى – فوق واجهة الحافة الغربية للمنخفض – والجنوب الغربى كمجارى ميل . وبتوالى اتصال تلك المجارى المائية فى اتجاه المنحدر الشمالي الشرقى للهضبة فإن قطاعاتها العرضية تزداد وضوحاً ؛ إذ تصبح أكثر عمقاً وذات جوانب شديدة الانحدار، وقد تبدو رأسية فى بعضٍ منها (صورة 1).



المصدر: الصور الجوية مقياس 1: 60.000 ، والدراسة الميدانية.

شكل (6) : جيومورفولوجية منطقة تلال المقابر الحجرية (أ) والطرف الشمالي الغربي للمنخفض (ب).



المصدر: الصور الجوية، والدراسة الميدانية.

شكل (7) : مورفولوجية حقل الرمال الشرقى.

كما تظهر خريطة الجريان السطحى لمنطقة الدراسة (شكل 1ب) وجود العديد من نظم التصريف المائى المركزي فوق سطح الهضبة بمواضع ظهور المنخفضات الثانوية أو الجنينية Embryonic Depressions وهو المصطلح الذى أطلقه "رشدى سعيد" على مجموعة المنخفضات الصغيرة التى ترصع سطح الهضبة الميوسينية الأم شمالى منخفض القطارة (Said , R., 1960 ; 40 : 41).

ولقد حصر ستين منخفضاً من تلك المنخفضات فوق سطح هضبة باكو الميوسينية ، ذات مساحات وأشكال متباينة خضعت لأساليب التحليل المورفومترى للوقوف على خصائصها الشكلية ومراحلها التطورية فى موضع دراسة أدلة النشأة والتطور فى نهاية هذه الدراسة.

وتدين تلك المنخفضات فى نشأتها إلى عمليات الإذابة إبان الفترات الأكثر رطوبة فى الماضي؛ حيث أذيبت طبقة الغطاء الصلدة – من الحجر الجيرى المارماريكي – التى تشيع بها نظم الفواصل والشقوق ، أما فى الوقت الحاضر فتعد الرياح العامل الرئيسى فى تشكيلها سواء بالسلب أو بالإيجاب ، فبعضها يتعرض للردم بفعل الإرساب الهوائى ، والبعض الآخر إلى فعل الاكتساح والنحت ومن ثم التوسيع والتعميق بإزالة تكوينات المغرة الهشة الواقعة أسفل طبقة الغطاء المارماريكية الصلدة.

وتفترش المفتتات الحصوية حادة الزوايا سطح الهضبة بكثافة مرتفعة ، وتبدو بألوان بنية داكنة متأثرة بذلك بفعل التجوية أو ما يعرف بطلاء الهضبة ، وتمثل مخلفات ونواتج فعل الإذابة الكارستية التى تعرضت لها الطبقة الجيرية السطحية ، وكشفت عنها عمليات اكتساح الرياح ذات الطبيعة الانتقائية ، مما يجعل سطح الهضبة أقرب لتعبير الرصيف الصحراوى Desert pavement ، وتشير مجموعة التلال والمنخفضات الثانوية ، وكذلك الطبقة الجيرية السطحية الهشة إلى تعرض سطح الهضبة لعمليات التخفيض التى كانت نشطة فى فترات أكثر رطوبة من الآن ، وتمثل قيعان المنخفضات الثانوية على حد قول "صفى الدين " سطح تحاتى مبعوث " Exhumed erosion surface " تشغله تكوينات أشد صلابة وتماسكاً من صخور الحجر الجيرى والتى تنتظر هى الأخرى دورة تحاتية جديدة (صفى الدين أبو العز ، 1966 ، 353 ؛ Said , R. , 1960; 43).

ب- حافة الجانب الجنوبى الغربى :

تتحدد أهم المعالم المورفولوجية لحافة الهضبة فى كونها سلمية تتألف من أربعة تتابعات رئيسة يفصل بينها أسطح شبه مستوية تعلوها التلال الجزيرية وهى بمثابة بقايا للأسطح التحاتية القديمة أو أدلة لدورات التعرية التى مرت بها المنطقة.

ويمكن دراسة الخصائص الجيومورفولوجية للحافة فى إطاردراسة كل من تلك التتابعات على حدة، مع عرض لأهم الظاهرات الجيومورفولوجية المرتبطة بكل منها، وإعطاء مسمى من قِبل الباحث لتلك الحافات لتسهيل متابعتها وذلك بترتيبها من الغرب (أعلى مستوى) إلى الشرق – جهة المنخفض – على النحو التالى:

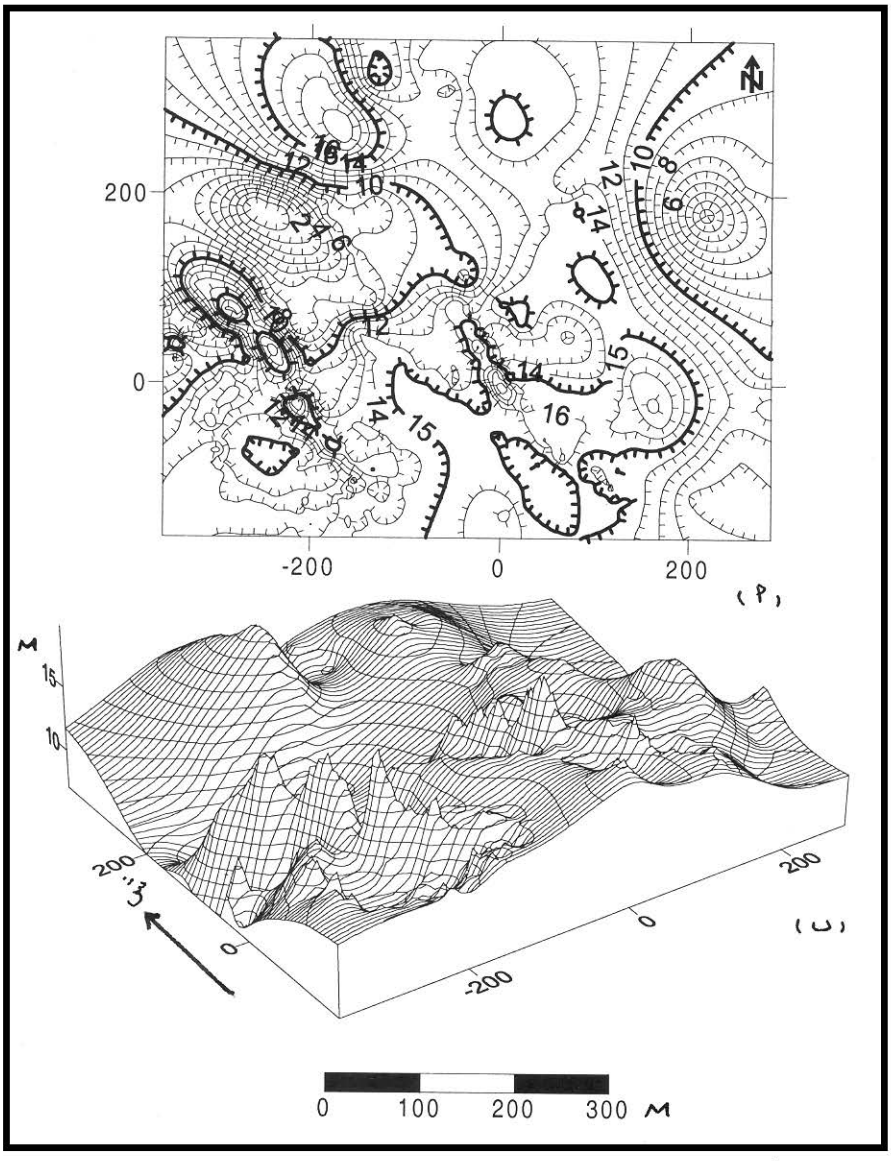
- **حافة هضبة باكو الميوسينية (المستوى الأول):**

يبلغ منسوب سطح الحافة حوالى 130 متراً فوق سطح البحر ، فى حين يبلغ متوسط ارتفاعها فوق مستوى سطح السهل الموجود عند حضيضها حوالى 68 متراً ، ومن دراسة الملحقين (2، 3 " القطاعين 1، 2 ") والأشكال (8، 9، 10) يمكن تسجيل الحقائق التالية :

- تتراوح قيمة المتوسط المرجح لزاوية انحدار القطاعين المقاسين حوالى 22°، 24°، كما تتراوح نسبة المسافات الأرضية التى تشغلها فئات زوايا الانحدار الخفيفة والمتوسطة وفوق المتوسطة (صفر – 19°) بين حوالى 45%، 80% من جملة الأطوال المقاسة، فى حين تتراوح نسبة ما تشغله فئات زوايا الانحدار الأشد (19° –90°) بين حوالى 20%، 55% من جملة الأطوال المقاسة بالقطاعين.
- سيادة العناصر الأرضية المقعرة على حساب العناصر المحدبة ؛ حيث تتراوح النسبة بينهما فى القطاعين المقاسين بين (1.73 : 1) ، (3 : 1)، لذا تتراوح قيمة معامل الشكل العام[1] للحافة بين 0.34 – 0.57 .
- تشغل فئات التقوس الدنيا سواء المحدبة أو المقعرة (10 – 1° ، 1 – 10°) نسب تقترب من نصف إجمالى طول القطاعات المقاسة.
- تشغل فئات التقوس الشديدة للعناصر المحدبة (90 – 80°) والعناصر المقعرة (60 – 70°) (ملحق 3 قطاع 2) حوالى 9.03%، 19.82% من إجمالى طول القطاع لفئتى التقوس على الترتيب.
- تشير الخصائص الشكلية لحافة المستوى الأول إلى عدم انتظامها وتدرجها فى شكل شبه سلمى، وهذا النمط من أنماط المنحدرات يرتبط بالمناطق ذات الطبقات الصخرية الأفقية والمائلة ميلاً خفيفاً التى تتناوب فيها الطبقات الصخرية الصلبة والضعيفة، وهو نمط يسود على جوانب منخفضات الواحات البحرية فى الهضبة الغربية فى مصر (امبابى، 1972؛ 80 : 81)، كما يرتبط بتلك المنحدرات العديد من الأشكال الدقيقة التى تجعلها ضمن نمط المنحدرات المركبة Compound slopes ، وهى تختلف فيما بينها على حسب العامل المشكل لكل منها ، ويمكن دراسة تلك الأشكال على النحو التالى :

---

(1) معامل الشكل العام = نسبة ما تشغله العناصر الأرضية المحدبة مقسوماً على نسبة ما تشغله العناصر الأرضية المقعرة.

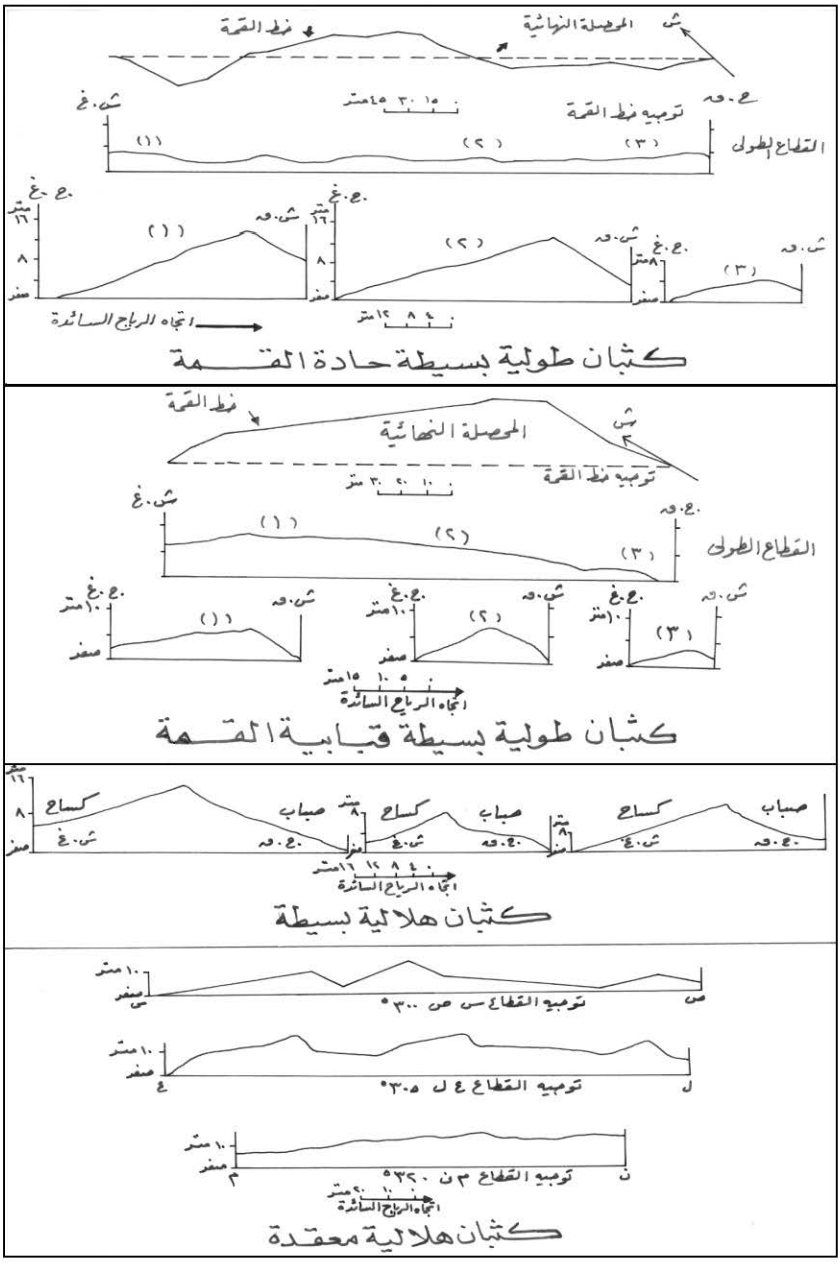


المصدر: الرفع المساحى باستخدام المحطة المساحية المتكاملة، والتوقيع باستخدام برنامج Surfer 7. .

شكل (8) : مورفولوجية الطرف الجنوبى الشرقى لحقل الرمال "دراسة الحالة"

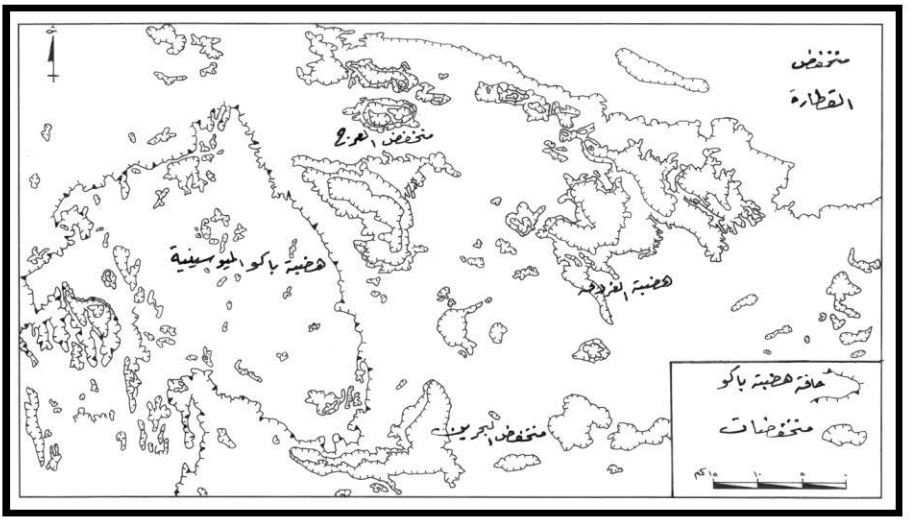
أ- خريطة مناسيب السطح مقياس 1 : 100000

ب- نموذج مجسم اعتمادا على خريطة مناسيب السطح.



المصدر : نتائج الدراسة الميدانية.

شكل (9) : القطاعات الطولية والعرضية لبعض أنماط الكثبان الرملية.



المصدر : الخريطة الطبوغرافية مقياس 1 : 250.000

شكل (10) : المنخفضات الجنينية بإقليم منخفض العرج.

* **الدرجات الصخرية :**

وهى عبارة عن أرصفة بنيوية صغيرة فوق واجهة الحافة ، تشرف بواجهات شديدة الانحدار على الأراضى السهلية الواقعة عند أسافل الحافة بزوايا شبه رأسية ، وبارتفاعات تتراوح بين 2 – 8 أمتار، فى حين يفصلها عن المنحدر الواقع أعلاها سطح الدرجة الذى يتراوح انحداره بين 6 – 28°. وتتشكل تلك الدرجات فى مواضع صخرية محددة ؛ حيث تتعاقب صخور الحجر الرملى مع شرائح الطفل والكنجلوميرات ، فتبرز الأولى مكونة لتلك الدرجات لمقاومتها النسبية لعوامل وعمليات التعرية بالقياس إلى تلك الشرائح التى تعلوها أو تقع أسفلها من الطفل .

وتظهر صخور الحجر الرملى فى بنية صفائحية تتخللها الفواصل والشقوق ، مما يسهم فى انفصال كتل صخرية تجد طريقها إلى أسافل الحافة، ومن ثم تراجع تلك الدرجات (صورة 1).

* **فرشات ومخاريط الهشيم :**

أحد الأشكال الدقيقة الناجمة عن عمليات حركة المواد؛ إذ تجد المفتتات والكتل الصخرية الناجمة عن تراجع الحافة طريقها إلى حضيض الحافة ، سواء المتحرك منها فى صورة بطيئة زاحفاً فوق منحدر الواجهة لتهذب زواياه ، أو تلك المفتتات والكتل الساقطة المزواة ، لتغطى

منحدر الواجهة فى مواضع عديدة فى شكل فرشات هشيم ، وقد تنجح المفتتات الأقل حجماً فى الوصول إلى أسافل الحافة متراكمة فى شكل مخاريط ذات قطاعات طولية شبه مستقيمة شديدة الانحدار ، حيث تختلط هنا بالرواسب الرملية الناعمة أو قد تغطيها تلك الرواسب لتبطئ من حركتها صوب حضيض الحافة .

* **الغطاءات الرملية :**

لا يكاد يسلم جزء من واجهة حافة المستوى الأول من غزو الرياح المحملة بالرمال ؛ إذ تصطدم بها الرياح المحملة لتلقى بحمولتها على الواجهة فى شكل غطاءات رملية ، والتى لا يقتصر وجودها على جزء معين من الحافة ، ولكنها تتراكم على واجهة الحافة من أعلى إلى أسفل ، بل وتنجح أحياناً فى الوصول بحمولتها إلى سطح الهضبة ذاتها كما سبق وذكر مشكّلة لمجموعة من الكثبان الطولية . وتسهم تلك الغطاءات فى تقليل معدلات الانحدار خاصة للجزء المطمور عند أسافل الحافة ، وهو نطاق الباجادا .

* **الباجادا :**

يطلق عليها أيضاً نطاق السهول الهامشية عند حضيض الحافات Alluvial plains Piedoment والتى تتكون من اندماج العديد من ركامات أسافل المنحدرات والتى تكونت من تجمع وتراكم حطام الصخر الذى تحطه السيول من علٍ ، ومثل هذه السهول شائعة الحدوث فى الأقاليم الجافة وشبه الجافة (صفى الدين أبو العز، 1966، 339).

وتغطى تلك الركامات أسافل الحافة فى شكل مجموعة من المراوح الرسوبية التى تتدرج فى انحدارها بين المنحدرات الشديدة عند قممها (حوالى 30 درجة) والخفيفة عند قواعدها (حوالى 5 درجات)، كذلك تتدرج مفتتاتها من الخشن عند قممها إلى الأقل خشونة والأدق عند قواعدها ، ولعل هذا هو السبب الرئيسى فى زيادة الانحدار جهة قممها.

ولقد لوحظ أن الإرسابات الهوائية تكاد تغطى بصورة كلية العديد من تلك المراوح مما يسهم فى طمس معالمها، وصعوبة التعرف عليها بالفحص الاستريوسكوبى للصور الجوية.

بالإضافة إلى تلك الأشكال الدقيقة بنطاق الحافة ، هناك ظاهرتان رئيستان ، إحداهما : الأودية الجافة التى ساهمت بشكل فعال فى تراجع الحافة وتشكيلها ، وثانيتها : التلال الجزيرية عند مقدمات الحافة والتى تشير إلى مراحل تطور وتراجع الحافة صوب الجنوب الغربى. ويمكن تناول الخصائص الجيومورفولوجية لهاتين الظاهرتين على النحو التالى:

* **الأودية الجافة :**

على الرغم من المظهر المستقيم الذى تبدو به حافة الهضبة من بعيد ، فإنه بالاقتراب منها يظهر تقطعها الشديد بفعل مجارى الأودية الجافة ، وهى هنا من نوع المجارى المائية العكسية، التى ترفدها مجار مضريبة، وبفحص الخريطة الجيومورفولوجية (شكل 5) يلاحظ وجود العديد من تلك الأودية الجافة التى تمتد أطوالها لأكثر من كيلو متر، وبعرض قد يصل إلى حوالى نصف الكيلو متر. وفى أثناء الدراسة الميدانية سجل الباحث الخصائص المورفولوجية لتلك الأودية فيما يلى :

- انبساط قيعانها ، وشدة انحدار جوانبها .
- طمس معالم العديد من مجارى الأودية بالرواسب الرملية وخاصة فى الجزء الأوسط من الحافة (صورة 3).
- ظهور نقاط القطع الصخرية فوق قيعان مجارى تلك الأودية ، مما يضفى سمة التضرس على قطاعاتها الطولية ، ويتباين مناسيب تلك النقاط بين مترين وستة أمتار فوق قاع المجرى ، وتتأثر تلك النقاط بعمليات التراجع الخلفى بفعل عمليات التقويض السفلى حيثما غزت عوامل التعرية شرائح الطفل والكنجلوميرات الواقعة أسفل صخور الحجر الرملى الذى تتشكل منه تلك النقاط. وعلى الرغم من الامتداد المحدود لتلك الأودية ، فإنها كانت ذات أثر فعال في تشكيل الحافة بل المنخفض بأكمله في الفترات الأكثر رطوبة من الآن ، إذ تدين مجموعة التلال الجزيرية – عند حضيض الحافة – في تشكيلها لمجاري تلك الأودية. ويقتصر دور الأودية الجافة فى الوقت الحاضر على كونها تمثل ممرات أرضية تسلكها الرياح صعداً وتلقى بحمولتها على جوانبها وقيعانها، مما يسهم فى طمس معالمها، وخاصة القصير منها والضحل.

* **التلال الجزيرية :**

ترصع أرضية السهل بمقدمات حافة المستوى الأول بالعديد من التلال الجزيرية التى يفصلها عن الهضبة الأم ممرات طولية متباينة الاتساع ؛ إذ قد تقترب تلك التلال فى بعض المواضع من الهضبة، وقد تبتعد عنها فى مواضع أخرى (شكل 5)، وتمثل تلك التلال وحدات أرضية ثانوية ذات مظهر مورفولوجى متجانس؛ إذ تنتمى بشكل رئيسى إلى نمط التلال الجزيرية المخروطية، ولا يختلف مظهر جوانبها شبه السلمية عن الحافة الأم ، ويكاد ينحصر توزيعها الجغرافى على الجانب الأيمن للطريق الممتد من سيوة إلى الواحات البحرية (صورة 2).

واتضح من الدراسة الميدانية أن الأجزاء العليا من تلك التلال تتراجع بمعدلات أسرع من مثيلتها عند أسافلها ، لتتطور إلى نمط آخر من أنماط التلال الجزيرية وهو نمط التلال

مسطحة القمة ذات المنسوب الأقل ، وتمثل تلك التلال المسطحة مقدمات التلال المخروطية التى تطورت عنها ، وتتشكل كلية من تكوينات المغرة الهشة التى تنتظر دورها فى الإزالة بواسطة عمليات التسوية المختلفة ، ومن ثم توسيع نطاق السهل التحاتى على حساب الحافة.

وبالانتقال نزلاً إلى الحافة الثانية (حافة المغرة) – صوب قاع المنخفض – نواجه بالنطاق السهلى الانتقالى الذى يشكل نطاق حضيض حافة المستوى الأول والذى يعلوه التجمعات الرسوبية (الباجادا) والتلال الجزيرية المخروطية، ويبلغ أقصى اتساع له فى أقصى الجنوب الشرقى – حوالى كيلو مترين – فى حين يضيق فى أقصى الشمال الغربى ليصل إلى حوالى نصف الكيلو متر فقط.

وتتدرج أحجام الرواسب التى تفترش سطح السهل من مفتتات صخرية بالقرب من كوع منحدر الحافة إلى رواسب أدق – معظمها من الرمال – بالاتجاه صوب حافة المغرة ، ثم سرعان ما تنكشف أرضية السهل الصخرية وتكاد تخلو من أى وجود للرواسب السطحية فى نطاق يبلغ عرضه فى المتوسط حوالى 100 متر ، وتنعكس خصائص التوزيع المتدرج لأحجام مفتتات الغطاء الرسوبى على تباين المظهر المورفولوجى العام للنطاق السهلى ؛ إذ يبدو قطاعه العرضى على شكل عنصر أرضى مقعر من أعلى – بالقرب من كوع منحدر الحافة – يبلغ متوسط منسوبه حوالي +67 متراً ، ومتوسط انحدار حوالى 15 درجة ، ويتدرج إلى سطح شبه مستوى صوب حافة المستوى الثانى بمتوسط منسوب حوالى +35 ، وبمتوسط انحدار حوالى 5 درجات ، وبصورة عامة تبلغ قيمة الانحدار المرجح لسطح السهل حوالى درجتين فقط .

وعلى الرغم من وجود العديد من الأودية الجافة التى تقطع واجهة حافة هضبة "باكو" فإنها لا تصل إلى هوامش النطاق السهلى، ويقتصر التأثير هنا على الأثر الناجم عن دور عمليتين رئيستين، إحداهما : فعل المسيلات المائية الحديثة الضحلة والمضفرة – والتى لا يزيد عمقها عن 20 سم وعرضها عن مترين – والعشوائية الجريان ؛ إذ يصعب تحديد اتجاهاتها، ويقتصر دروها فى أوقات جريانها الفصلى على إزالة المفتتات التى سبق أن أرسبتها الرياح خلال الفصل الجاف، وإرسابها على واجهة حافة المغرة . وثانيتهما : عملية التقشر التى تنشط فوق سطح الصخر المكشوف عند هوامش السهل. ويشكل سطح السهل هنا مستوى من مستويات التعرية ، أو جزءاً من السهل التحاتى الذى توقفت عنده عمليات تخفيض سطح أرض المنطقة ، فهو بمثابة سطح تحاتى مبعوث.

- **حافة المغرة (المستوى الثانى) :**

تشكل الحافة عنصر التغير الحاد الثانى الذى يظهر على الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض، ويبلغ متوسط ارتفاعها حوالى ثمانية أمتار فوق مستوى سطح السهل التحاتي الواقع عند أسافلها،

وهى بهذا تعد أقل التتابعات الرئيسة الأربعة على هذا الجانب من المنخفض ارتفاعاً، وتفصل الحافة بين مستويين للتعرية، **أولهما** : الواقع أعلاها والذى يمثل بقايا السطح التحاتى عند أسافل حافة المستوى الأول ، **وثانيهما:** بقايا السطح التحاتى الإيوسينى الأعلى الواقع عند أسافلها . ومن دراسة الملحقين (2، 3 القطاع 3) والأشكال (8، 9، 10)، يمكن استنباط الحقائق التالية :

- يبلغ المتوسط المرجح لزوايا انحدار الحافة حوالى 19.5 درجة، وتشيع هنا الأراضى ذات فئات الانحدار الأقل من 19 درجة (والتى تشمل الأراضى المستوية والأراضى ذات الانحدار الخفيف وفوق المتوسط) بنسبة 70.11% من إجمالى طول القطاع الممثل للحافة، فى حين تنخفض نسبة الأراضى ذات الانحدارات الشديدة والرأسية (19 – 90°) إلى حوالى 29.89%.
- تبلغ قيمة معامل الشكل العام للحافة حوالى 0.48 ؛ وبذلك فإن النسبة بين إجمالى طول العناصر الأرضية المقعرة والمحدبة تبلغ حوالى 2 : 1 .
- يغلب على حافة المغرة نمط منحدرات الجروف المقعرة التى تتشكل من وحدتين أساسيتين : وحدة جرفية تشغل الجزء العلوى وترتبط بطبقة الكاليش، وعنصر مقعر يشغل الأجزاء الوسطى والسفلى من المنحدر حيث توجد تكوينات المغرة الهشة ، ولقد اتضح من الدراسة الميدانية أن مجارى الأودية الجافة القصيرة – والتي لا يزيد طولها فى الغالب عن 50 متراً – وذات الشكل القمعى هى العامل الرئيسى فى تسنن الحافة وتقطعها على طول امتدادها.

وتنتشر التلال الجزيرية القبابية عند أسافل الحافة ، وفوق السطح التحاتى الإيوسينى الأعلى، وقد قيس ارتفاع بعض من تلك التلال في مواضع مختلفة ، للتعرف على تتابعها الصخرى ومضاهاته بالحافة الأم ، حيث تبين أن تلك التلال قد انفصلت عنها بفعل المياه الجارية التى كانت سائدة فى الفترات الرطبة السابقة ، وقد تركت تلك المياه الجارية بصماتها الواضحة على جوانبها التى تبدو فى شكل عناصر مقعرة ، فى حين تعد عملية الإرساب الهوائى إحدى العمليات السائدة – فى الوقت الحاضر – فى تشكيل نطاق الحافة وطمس معالمها .

وبالانتقال صوب قاع المنخفض ، يظهر السهل التحاتى الذى تشكل بموضع صخور الإيوسين الأعلى ، والذى يبلغ أقصى اتساع له فى موضعين : أولهما : فى أقصى الشمال الغربى، وثانيهما : فى أقصى الجنوب الشرقى (حوالى كيلو متر واحد)، فى حين يضيق فى الوسط فى مواضع بروز الألسنة الصخرية من حافة المغرة إلى حوالى نصف الكيلو متر تقريباً.

ويتوزع سطح السهل بين شريطين أرضيين ، **الأول** : الواقع عند حضيض حافة المغرة ويعلوه غشاء رسوبى من المفتتات التى انفصلت من الحافة بعمليات حركة المواد ، أو المفتتات التى أرسبتها مجارى الأودية فوق سطح هذا النطاق ، **والثانى** : شريط أرضى يفصل بين نطاق حافة المستوى الثالث (حافة الإيوسين الأعلى) والنطاق السهلى الرسوبى السابق ، وهو عبارة عن سطح صخرى

مكشوف أثرت فى تشكيله عمليتا الاكتساح والنحت بواسطة الرياح ؛ حيث أزالتا الغطاء الرسوبى وشكلتا خطوطاً طولية غائرة (الثلوم) تتفق محاورها الطولية مع توجيه الرياح الشمالية والشمالية الغربية السائدة ، ولقد لوحظ أن تلك الثلوم لا تسهم فى تضرس سطح هذا الجزء من السهل التحاتى ، ذلك لأن أعماقها محدودة للغاية (لا تزيد عن 10 سنتيمترات) وأن المسافات الفاصلة بين زوجين من الخطوط المتجاورة لا تقل عن المترين ، ولعل محدودية تلك الأبعاد لظاهرة الثلوم تشير إلى حداثة تكوينها . كما يزركش سهل السطح المكشوف العديد من حفر الإذابة الدقيقة ذات الأحجام المتباينة ؛ إذ لا يتعدى حجم كل منها بضعة ديسيمترات مكعبة، وقد أسهمت عمليات تذرية الرياح فى الكشف عن آثار لعملية التقشر لصخر الحجر الجيرى الإيوسينى الأعلى.

- **حافة الإيوسين الأعلى (المستوى الثالث) :**

تمثل الحافة ثالث موضع للتغير الحاد فى الانحدار على الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض ، ويبلغ منسوب سطح الحافة حوالى 46 متراً فوق سطح البحر، فى حين ترتفع 27 متراً عن سطح السهل الواقع عند أسافلها .

ويتضح من دراسة الخريطة الجيومورفولوجية عدم انتظام الامتداد الطولى للحافة ؛ إذ تبدو مسننة بفعل مجارى الأودية الجافة التى يفصل بينها مجموعة من الألسنة الصخرية التي تبرز بروزاً واضحاً قد يصل إلى حوالى 300 متر فى اتجاه قاع المنخفض. ومن دراسة الملحقين (2، 3 القطاع 4) والأشكال (8، 9، 10) يمكن تسجيل الحقائق التالية :

- تبلغ قيمة المتوسط المرجح لزاوية انحدار الحافة حوالى 15 درجة، وتتوزع زوايا انحدار الحافة بين مجموعتين، الأولى: بفئتي الانحدار المتوسط وفوق المتوسط (3 – 19°) بنسبة 77.6% من جملة الأطوال المقاسة ، والثانية : بفئات الانحدار الشديدة والشديدة جداً والرأسية (19 – 90°) بنسبة حوالى 22.4% من جملة الأطوال المقاسة .
- تعد العناصر الأرضية المقعرة أكثر العناصر التى تتشكل منها الحافة ؛ إذ بلغت قيمة معامل الشكل حوالى0.31 ، أى أن النسبة بين العناصر الأرضية المقعرة والمحدبة حوالى 3 : 1 .
- شيوع فئتى درجات التقوس الدنيا (10 – 1°، 1 – 10°) بنسب تقدر بحوالى 55%، 80% من جملة أطوال العناصر المحدبة والمقعرة على الترتيب.
- اتضح من الدراسة الميدانية وجود عدد من التتابعات الثانوية فوق واجهة الحافة تشكل الدرجات الصخرية ذات الواجهات شبه الرأسية، وبارتفاعات تتراوح بين 2 ، 4 أمتار، فى حين يتراوح اتساع أسطحها بين 6 – 11 متراً وبانحدارات تتراوح بين 6 – 32 درجة، وهى التى تضفى سمة عدم انتظام واجهة الحافة.

وترتبط تلك الدرجات بصخور الحجر الجيرى الرملى التى تبدو أكثر صلابة من شرائح الطفل التى تتخللها ، ومن ثم تنجح عمليات التشكيل المختلفة فى إزالتها وتقويض تلك الدرجات لترفع من قيم تضرس وتسنن واجهة الحافة 0ويتبين المظهر المورفولوجى الدقيق بنطاق الحافة من خلال العديد من الظاهرات الناجمة عن فعل التعرية المائية ، والأخرى المتمثلة فى الظاهرات المتبقية ، وفيما يلى دراسة لتلك الظاهرات :

* **الأودية الجافة :**

تمثل الأودية الجافة التى تقطع حافة المستوى الثالث القطاعات العليا والوسطى للمجارى المائية التى استطاعت الوصول إلى قاع المنخفض، ولقد اتضح من خلال الدراسة الميدانية وفحص الخرائط الجيومورفولوجية (الشكلين 5، 6) أن مجارى الأودية الجافة المرتبطة بحافة الإيوسين الأعلى تتميز بمجموعة من الخصائص تنفرد بها ، وتختلف عن مظهر المجارى التى تقطع حافتى المستوى الأول والثانى الواقعتين أعلاها ، ويمكن إجمالى خصائصها فيما يلى :

- انبساط قيعان مجارى الأودية الجافة، والذى يقطع استمراريته وجود جزر صخرية أو أكمات من صخور الحجر الجيرى التى قاومت عمليات التعرية المائية (صورة 4).
- استقامة مجارى الأودية ، بحيث تبدو كظاهرات خطية متأثرة بظروف البناء الجيولوجى لتكوينات الإيوسين بصورة عامة والذى تشيع به الفواصل خطية الاتجاه .
- تأثر جوانب الأودية بعمليات التساقط الصخرى ، مما يسهم فى توسيعها على حساب أراضى ما بين الأودية وتطورها إلى مجموعة من التلال الجزيرية (صورة 6).
- افتراش الغطاءات الرملية قيعان مجارى الأودية وجوانبها، مما يسهم فى طمس معالم الدرجات الرسوبية على جوانبها .
- تسهم مجارى المسيلات المائية السيلية فى تعميق مجارى الأودية، حيث تظهر رواسب حشو قيعان الوديان بارزة فى شكل حافات رسوبية ترتفع إلى حوالى نصف المتر فوق قاع المجرى.
- ظهور ثلاثة مستويات للدرجات الرسوبية ولأول مرة ، يمكن تتبع خصائصها المورفولوجية من دراسة الجدول (1). ولقد تأثرت تلك الدرجات بفعل عمليتى الإرساب الهوائى والتساقط الصخرى، وخاصة المستوى الأعلى منها .
- تم تمييز ثلاثة مستويات لنقاط تجديد تطورية تتوافق مناسيب أسطحها مع مناسيب أسطح الدرجات الرسوبية ، ولقد كانت تلك النقاط تتراجع تراجعاً خلفياً نشطاً ، قبل أن يدركها ظروف الجفاف الحالي ؛ إذ لم يعد يفصلها عن مواضع منابع مجاريها – فوق واجهة الحافة الرئيسية " الثالثة " – إلا مسافات لا تزيد عن عشرين متراً للمستوى الأعلى ، وحوالى 50 متراً للمستوى الأسفل (نقطة تجديد 3 متر).

جدول (1) : بعض الخصائص المورفولوجية للدرجات الرسوبية بنطاق حافة الإيوسين الأعلى.

الدرجة	الارتفاع عن قاع المجرى الحالى (بالمتر)	اتساع السطح (بالمتر)	انحدار الواجهة (بالدرجة)	انحدار السطح (بالدرجة)	خصائص التكوين
العليا	11 – 9.5	4 – 3	90 – 80	5 – 4	صخرية
الوسطى	6.5 – 5.5	11 – 10	55 – 50	17–15	صخرية يعلوها طفل متماسك بسمك 1متر
السفلى	4 – 3	3 – 2	55 – 50	27–25	صخرية يعلوها طفل متماسك بسمك 40 سم

المصدر: نتائج الدراسة الميدانية.

* **التلال الجزيرية :**

تؤكد الأنماط المتعددة للتلال الجزيرية بنطاق الحافة الثالثة على انفرادها بخصائص مورفولوجية تميزها عن غيرها من حافات الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض ، ولعل أهم تلك الخصائص ارتفاع كثافة التلال بشكل ملحوظ ، مما يسهم فى رفع قيمة وعورة هذا النطاق ، وربما يشير إلى حداثة الدورة الجيومورفولوجية لهذا النطاق بالنسبة للنطاقين السابقين ، كذلك تتنوع هنا أنماط التلال الجزيرية وتتوزع فى نمط شبه متواز ، وفيما يلى دراسة لأنماط التلال الجزيرية :

- **التلال مسطحة القمة :**

وهى عبارة عن تلال طولية تتفق محاورها الطولية مع محاور الأودية الجافة التى تعد المسئول الرئيسى عن تشكيلها ، فهى بمثابة بقايا أراضى نطاق ما بين الأودية ، وتتوزع على طول أسافل نطاق الحافة الثالثة من الشمال الغربى إلى أقصى الجنوب الشرقى ، وتبدو جوانبها فى هيئة تتابعات سلمية، أو مستقيمة شبه رأسية ، ويتطور هذا النمط إلى تلال مزدوجة القمة حيثما نجحت عوامل التعرية فى غزو التلال الطولية بمواضع الضعف الجيولوجى. ومن دراسة أرقام الملحقين(2، 3 القطاعات 5، 6، 7، 8) والأشكال (8، 9، 10) يمكن استنباط الحقائق التالية:

- شدة انحدار جوانب التلال مسطحة القمة؛ إذ تراوحت قيمة المتوسط المرجح لدرجة الانحدار بين حوالى 21، 25 درجة.

- تتراوح قيمة الارتفاع الرأسي للتلال المقاسة بين 14، 19 متراً فوق مستوى سطح السهل المجاور، وهى بهذا تنخفض عن منسوب سطح الحافة الثالثة التى انفصلت عنها بمقدار يتراوح بين 8 ، 13 متراً ، مما يعنى تعرضها لعمليات التسوية والتخفيض.
- تباين قيمة معامل الشكل للقطاعات المقاسة بين حوالى 0.68، 0.95، حيث تراوحت النسبة بين العناصر الأرضية المحدبة والمقعرة بين حوالى 1 : 1.05، 1 : 1.48، وهي تنتمى إلى نمط المنحدرات السلمية، وتشير نتائج الدراسة الميدانية إلى تنوع عمليات تشكيل منحدرات التلال المسطحة؛ إذ تنشط عملية التفلق الصخرى فى فصل كتل مزواة من الحجر الجيرى التى تستقر عند أسافلها ، كما تسهم الرياح فى نقل وتذرية نواتج الإذابة التى تحدث على الأجزاء – من المنحدرات – الواقعة فى الظل معظم ساعات النهار ، لتكشف عن الأعمدة الصخرية التى قاومت فعل الإذابة وتتشكل منها الشواهد الصحراوية . كذلك لم تسلم الأجزاء العليا من منحدرات جوانب التلال المسطحة – والواقعة أسفل طبقة الغطاء المشكلة من الكاليش – من عمليات التقويض السفلى ، حديث تبدو طبقة الكاليش كمظلات صحراوية على جوانب التلال.

- التلال القبابية والأكمات الصخرية :

بالاتجاه صوب قاع المنخفض، يتحول نمط التلال مسطحة القمة إلى تلال قبابية وأكمات صخرية Midget Inselbergs أقل ارتفاعاً وذات مساحات محدودة، ومن دراسة النتائج الواردة بالملحقين (2، 3 القطاعات 9، 10، 11، 12) والأشكال (8، 9، 10) يمكن ملاحظة ما يلى:

- تباين الارتفاع الرأسى للتلال القبابية ما بين 7 – 9 أمتار تقريباً ، فى حين يتراوح ارتفاع الأكمات الصخرية بين 3.5 – 5 أمتار فوق مستوى السطح المجاور لها.
- تبلغ قيمة المتوسط المرجح لزوايا انحدار جوانب التلال القبابية والأكمات الصخرية حوالى 25°، 16° لكل منها على الترتيب .
- سيادة العناصر الأرضية المقعرة على جوانب منحدرات التلال القبابية والأكمات الصخرية ؛ إذ بلغت قيمة معامل الشكل حوالى 0.4 ، 0.2 لكل منها على الترتيب .
- شيوع درجات الانحدار فى فئتى الانحدارات فوق المتوسطة والشديدة (11 – 19 °، 19 – 30°) من بين الفئات المختلفة على جوانب التلال القبابية بنسب تتراوح بين حوالى 40%، 90% من إجمالى طول المسافات الأرضية المقاسة لمنحدراتها، فى حين تنخفض النسبة التى تشغلها الفئتين معاً إلى حوالى 24% فقط من إجمالى طول المسافات الأرضية لمنحدرات جوانب الأكمات الصخرية .

ومما سبق يتضح أن التلال الجزيرية الأكبر حجماً (الأكثر امتداداً فى المستويين الأفقى والرأسى) تميل جوانبها إلى شدة الانحدار، كما تتجانس نسبة ما تشغله كل من العناصر الأرضية المقعرة والمحدبة عليها ، فى حين تقل درجات الانحدار، وتسود نسبة ما تشغله العناصر الأرضية المقعرة على حساب العناصر الأرضية المحدبة كلما كانت التلال الجزيرية أصغر حجماً ، وتتفق تلك النتيجة مع ما توصل إليه "عبد الرحمن وزملاؤه" فى دراستهم عن التلال شمالي منخفض سيوة (Abdel - Rahman et al, 1980 , 34 : 37).

ولقد تبين من خلال الدراسة الميدانية ، ومن فحص الصور الجوية ، أن التلال مسطحة القمة والقبابية والأكمات الصخرية لا تتوزع بصورة عشوائية ، بل ينتظم كل نمط منها فى شكل صف، بمعنى أنه بالاتجاه صوب قاع المنخفض وبعد الهبوط من حافة الإيوسين الأعلى (المستوى الثالث) سوف نجد صفاً من التلال المسطحة القمة، يليه صفاً من التلال القبابية، وأخيراً صفاً من الأكمات الصخرية.

ويشير هذا التوزيع شبه المنتظم إلى المراحل التطورية لحافة الإيوسين الأعلى التى تعرضت لعمليات التراجع شبه المتوازى بفعل التعرية المائية فى الفترات الأكثر رطوبة، ومن ثم فإن الأشكال التلالية الثلاثة تمثل ثلاث مراحل تطورية للأراضى المتبقية من نطاق أراضى ما بين الأودية ؛ إذ تبدو مسطحة القمة فى بداية مرحلة تطورها، ثم قبابية فى أواسط دورتها، وأخيراً فى شكل أكمات صخرية قزمية بالإقتراب من نهاية دورتها حيث تنشط عمليات التسوية فى إزالة بقايا تلك الأكمات ليتسع السهل التحاتى (صورة 9).

- **حافة الإيوسين الأوسط (المستوى الرابع) :**

بمتابعة السير صوب قاع المنخفض وعلى مقربة من الأكمات الصخرية السابقة ينحدر السطح فجائياً من منسوب " صفر " إلى منسوب –25 متراً ، لتظهر حافة المستوى الرابع والأخير على الجانب الجنوبى الغربى للمنخفض ، والتى تعد أشد الحافات – على هذا الجانب من المنخفض – انحداراً ؛ إذ تبدو بصورة شبه رأسية وبمتوسط انحدار يصل إلى حوالي 50 درجة .

وفى عديد من المواضع على طول الحافة وبالقرب من مخارج الأودية الجافة تشرف الحافة على قاع المنخفض فى شكل مظلات صحراوية ، حيث تبرز ألسنة من صخر الحجر الجيرى الرملى بطول قد يصل إلى ستة أمتار جهة قاع المنخفض ، فى حين قُوضت صخور الطفل والطباشير الواقعة أسفل منها (صورة 5).

ويلاحظ من دراسة الشكلين (6، 7) عدم انتظام الحافة وتسننها ، حيث تبرز الرؤوس الصخرية الطولية صوب قاع المنخفض ، يفصل بينها القطاعات الدنيا من مجارى الأودية الجافة التى تستقى مائيتها من فوق سطح حافة الإيوسين الأعلى (المستوى الثالث) ، وكذلك لوحظ أنه حيثما استطالت

تلك الرؤوس الصخرية صوب قاع المنخفض فإنها تنفصل عن الحافة الأم مشكلة تلالاً طولية مسطحة القمة كما هو الحال بموقع تلال المقابر الحجرية (صورة 8).

ولقد اتضح من الدراسة الميدانية أن الأجزاء الشمالية من الحافة قد تأثرت كثيراً بالتعرية الهوائية، والتى ألقت بحمولتها من الرمال الناعمة عند أسافل الحافة ، لتنمو تلك الرواسب صعداً على الواجهات شديدة الانحدار وتغطيها كلية ولتتشكل منها كثبان العقبات .

وتسهم بعض العمليات الجيومورفولوجية فى تثبيت تلك الكثبان وإعاقة حركتها كعمليتى السقوط والزحف الصخريين لكتل متفاوتة الأحجام من صخر الحجر الجيرى الرملى أو ما أطلق عليه "طبقة المظلة الصحراوية"، حيث وجدت تلك الكتل مستقراً مناسباً لها فوق أسطح تلك الكثبان وجوانبها.

وتعد القطاعات الدنيا لمجارى الأودية الجافة – والتى تنتهى إلى قاع المنخفض – وتلال المقابر الحجرية أهم الظاهرات الجيومورفولوجية بنطاق حافة المستوى الرابع ، وفيما يلى دراسة لخصائص كل منهما :

* **القطاعات الدنيا لمجارى الأودية الجافة :**

يوضح الشكل (6ب) بعض الخصائص الجيومورفولوجية للقطاعات الدنيا لمجارى الأودية الجافة ومنها يتبين ما يلى :

- تشبه مخارج الأودية عند خروجها من نطاق الحافة والتقائها بأرض قاع المنخفض ظاهرة المصبات الخليجية القمعية الشكل ، ففى حين يصل اتساعها عند مخارجها إلى أكثر من 300 متر ، سرعان ما يتناقص الاتساع بالاتجاه إلى أعالى تلك الأودية ليصل إلى أقل من خمسين متراً (شكل 6ب).
- سيادة الانحدارات المعكوسة على جوانبها ؛ إذ تبدو فى شكل أقواس تنحنى صوب داخلية أراضى ما بين الأودية، لتبدو الأخيرة فى شكل مظلات صخرية مقوضة من كلا جانبيها، مما يسهم فى تنشيط العمليات المختلفة لحركة المواد وخاصة التساقط الصخرى لكتل متفاوتة الأحجام.
- يوجد عدد من المصاطب أو الدرجات الصخرية التي يعلو سطحها بقايا رواسب طفلية شديدة التماسك على جوانب الأودية، وتتباين تلك الدرجات في أعدادها ما بين ثلاث وخمس درجات، وتشرف على قيعان المجاري المائية بواجهات شبه رأسية.
- رصد خمسة تتابعات من نقاط التجديد على طول القطاعات الطولية لمجاري الأودية وبمواضع مختلفة على طول الحافة من شمالها الغربي إلى جنوبها الشرقي للتأكد من انتشارها داخل حدود المنطقة و أنها ليست موضعية النشأة لتأثرها التركيبي أو الصخرى ، ولقد لوحظ أن بعضا من

تلك النقاط قد تباينت قيم تراجعها صوب المنابع – إبان الفترات الأكثر رطوبة من الآن – إذ ظهرت النقطتان منسوب 21 ، 26 متراً (فوق قاع المجرى الحالي) متقاربتين ولا يكاد يفصل بينهما إلا مسافة لا تزيد على عشرة أمتار على طول قيعان بعض المجاري ، فى حين طمست الغطاءات الرملية معظم الدرجات السفلي (منسوب 3 ، 8 ، 18 متراً) مع حلول الجفاف الحالي، حيث أرسبت الرياح حمولتها فوق قيعان مجارى تلك الأودية عندما اتخذتها الرياح معابر أرضية صعداً إلى المستويات الأعلى للحافات، وتبدو بعض من تلك الأودية في الوقت الحاضر وقد أغلقت كلية بالرواسب الرملية (صورة 7).

وتختلط الرواسب الرملية عند مخارج الأودية بالرواسب التي أرسبتها تلك المجاري الجافة _ إبان الفترات الأكثر رطوبة _ والتي يغلب عليها حفرية قروش الملائكة المختلطة بمفتتات دقيقة من الطفل والطباشير، ويبدو أن رواسب تلك الأودية كانت تشكل عند مخارجها مراوح فيضية محددة المعالم في فترات سابقة قبل حلول ظروف الجفاف الحالي والذى أسهم بصورة مباشرة في سيادة التعرية الهوائية التي طمستها وحولتها إلى كومات تسد مخارج تلك الأودية.

* **التلال الجزيرية (تلال المقابر الحجرية) :**

تكتسب التلال الجزيرية في هذا الموضع من إقليم المنخفض أهميتها وشهرتها في كونها مواضع أثرية؛ إذ لا توجد أي معالم أثرية بالمنخفض إلا في هذا الموضع. ومن دراسة الشكل (6أ) يمكن ملاحظة ما يلي:

- تمثل تلال المقابر الحجرية أهم مجموعة التلال الجزيرية التي انفصلت عن حافة الإيوسين الأوسط، وذلك من حيث الامتداد والمساحة، فعلى سبيل المثال يبلغ طول أحدهما (الجنوبي الغربي منهما) حوالي 600متراً ، وبمتوسط عرض 250 متراً، والآخر (الشمال الشرقي) بطول حوالي 350 متراً، وبمتوسط عرض 150 متراً.
- ارتفاع أسطح تلك التلال عن سطح قاع المنخفض بحوالي 40 متراً ، و تشرف عليه بواجهات رأسية تماما من الصخور الجيرية و الطفلية و الطباشيرية ، وترصعها نظم عديدة من الفواصل والشقوق (الصورتان 11، 12).
- ساهمت العمليات الجيومورفولوجية وكذلك الإنسان – كعامل جيومورفولوجي – في تشكيل تلك التلال، فعلى واجهاتها الرأسية وبمواضع نظم الفواصل تنشط عمليات التساقط الصخري، وعند أسافلها أرسبت رواسب بحيرية في شكل درجات (سيأتي دراستها دراسة تفصيلية في موضع لاحق)، كما قطعتها المياه الجارية إلى أجزاء يفصل بينها السروج.

وقد كان لدور عمليات الارساب الهوائي أثر كبير في تشكيل أسافلها والسروج الفاصلة بينها وطمس بعض من معالم الدرجات البحيرية التي تحيط إحاطة تامة بتلك التلال، حيث أرسبت الغطاءات الرملية والنباك في مواضع تواجد السروج .

أما عن دور الإنسان في تشكيل تلك التلال، فقد حفرت العديد من المقابر الحجرية التي أرجعها الأثريون إلى العصرين البطلمي والروماني، وقد استخدمها الرهبان في بداية العصر المسيحي (Fakhry, A., 1939; 614).

2- الجانب الجنوبي الشرقي.

يمثل الجانب الجنوبي الشرقي لمنخفض العرج حافة قوسية الشكل تنحني صوب الشمال الشرقي، و يبلغ طولها حوالي 20 كيلومتراً ، وتساهم الرواسب الهوائية في طمس العديد من أجزاء هذا الجانب من المنخفض ولمسافة تقدر بحوالي كيلومتراً، أي حوالي ثلثي الطول الإجمالي لهذا الجانب.

وبالتحرك صوب الشرق و الشمال الشرقي على واجهة تلك الحافة فإنه يصعب تمييز نقاط تغير فجائي في الانحدار Break of slope كالتي وجدت على الجانب الجنوبي الغربي للمنخفض، بل يتدرج الارتفاع من قاع المنخفض صعداً إلى السطح الهضبي (منسوب + 50 متر) الذى تشغله الأشكال الرملية المختلفة والتي عرفت في هذه الدراسة بحقل الرمال شرقي المنخفض.

ويبدو من دراسة الحافة في المواضع المكشوفة التي لم تغط بالرمال و جود آثار مهمة لفعل التعرية المائية تتمثل في ظهور عدد من مجاري الأودية الجافة التي ساهمت في تشكيل عدد من التلال الجزيرية المخروطية و المسطحة القمة.

وتتميز الأودية الجافة التي تقطع الحافة بتقعر و شدة انحدار قطاعاتها الطولية و تقارب مخارجها (الشكلان 1ب، 5)، الأمر الذى انعكس علي تطور أراضي ما بين الأودية إلى تلال منعزلة ذات أشكال متنوعة تتمثل في الشواهد الصحراوية والأكمات الصخرية و قواعد التماثيل التي تعلو سطح الحافة و تطل على سطح السبخة المجاورة من علِ.

وقد تبين من الدراسة الميدانية تماثل التتابع الصخري لحافة الجانب الجنوب الشرقي مع حافة الإيوسين الأوسط في الجانب الجنوبي الغربي للمنخفض ، والذى يتشكل من تكوينات المقطم في تتابع من أعلى إلى أسفل من صخور الحجر الجيري الرملي المرتكز على صخور من الطفل ، وترتكز الأخيرة على صخور من الحجر الجيري الطباشيري ، وبمواضع طبقة الحجر الجيري الرملي التي تمثل طبقة الغطاء الأكثر صلابة من الطبقات الواقعة أسفل منها تلتزم الحافة وجوانب التلال

الجزيرية عند أسفلها شكل الجروف المقعرة ، فى حين تتتابع الأرصفة البنيوية على باقي أجزاء منحدر الحافة وجوانب التلال الجزيرية.

3- الجانب الشمالي .

يتباين المظهر المورفولوجي للجانب الشمالى من المنخفض عن الجوانب الأخرى ، في كونه لا يمثل حافة متصلة ، فقد أوضحت النتائج المستقاة من فحص الصور الجوية والدراسة الميدانية أن هذا الجانب من المنخفض يتشكل من مجموعة من الصفوف شبه المتوازية من التلال ذات القمم المسطحة ، والتي تدين في نشأتها إلى المجاري المائية متقاربة المخارج مما أعطى انطباع اتصال الحافة وليس انفصالها، و تمثل تلك التلال امتداداً لذلك القوس الجنوبي الشرقي الذى يتكون من مجموعة صخور الإيوسين الأوسط ، ويبلغ طول الجانب الشمالي حوالي 7 كيلومترات ، ثم ما تلبث عند نهايتها الشمالية الغربية أن تنحني في اتجاه الجنوب الغربي لتتداخل مع حافتي المستويين الثالث والرابع على الجانب الجنوبي الغربي للمنخفض، واللتين سبق أن أطلق عليهما حافتي الإيوسين الأعلى والإيوسين الأوسط على الترتيب.

وتعد حافة الجانب الشمالي للمنخفض أقل حافات المنخفض ارتفاعا؛ إذ لا يزيد منسوب سطح الحافة عن + 20 مترا، و بفارق رأسي حوالي 80 مترا فوق منسوب أدنى نقطة بقاع المنخفض، وانعكست خصائص مناسيب سطح الأرض – على هذا الجانب – على تواضع قيم التضرس بالنسبة للتلال الجزيرية هنا، حيث لا تزيد قيم تضرسها النسبي عن عشرة أمتار (صورة 4) وبالاتجاه شمالا سرعان ما تختفي معالم هذا الجانب من المنخفض أسفل الغطاءات والكثبان الرملية التي تمثل البدايات الشمالية الغربية لحقل الرمال شرقي المنخفض.

نستخلص مما تقدم أنه على الرغم من تباين وضوح الجوانب المحددة لمنخفض العرج ، فإن السمة الجيومورفولوجية الرئيسية المشتركة فيما بينها تتمثل في شيوع الظاهرات المتبقية عن فعل التعرية المائية التي كانت سائدة في الفترات الأكثر رطوبة في الماضي، كذلك اتضح أن عدم وضوح معالم الجانبين الشمالي و الجنوبي الشرقي للمنخفض تدين إلى الإرساب الهوائى بمساعدة عامل التوجيه التضاريسي لواجهات حافاتها شبه المتعامدة مع الرياح السائدة بالإقليم ، واتضح أن منخفض العرج يشترك مع غيره من مخفضات الهضبة الغربية في أن بعض جوانبه محدد بحدود واضحة (كما هو الحال من جانبه الجنوبي الغربي) فى حين يكون شبه مفتوح من بعض الجوانب؛ حيث ترتفع مناسيب أرضيته ارتفاعا تدريجياً غير ملحوظ من الداخل صوب الخارج.

ثالثاً : قاع المنخفض :

يقع منخفض العرج دون منسوب سطح البحر ، و تتحدد هوامشه الخارجية بخط كنتور – 25 متراً ، ولهذا فإن مساحته تبلغ حوالي 53.3 كيلومتراً مربعاً، أوما يعادل حوالي 26.6% من المساحة الإجمالية لإقليم المنخفض.

ويبدو سطح قاع المنخفض مموجاً غير منتظم بالاتجاه من هوامشه الخارجية و صوب " عين الصبايا " التي تقع علي منسوب (– 60 متراً)، و قد انعكس تباين منسوب مستوى الماء الباطني أسفل سطح قاع المنخفض على تباين الدرجات اللونية لرواسب سطح السبخة ، والتي ظهرت جلية عند فحص الصور الجوية ؛ حيث بدت بدرجات لونية مختلفة يفصل بينها حدود واضحة.

وتبلغ المساحة الحقيقية لقاع المنخفض حوالي 1017.06 كيلومتراً مربعاً ، و من ثم فإن نسبة تضرس القاع[1] تبلغ حوالي 0.05، مما يدل على شدة تضرسه وعدم انتظام سطحه، وتتضح تلك الحقيقة من دراسة الشكل (1ب) حيث يظهر العديد من المنخفضات الثانوية على القاع في شكل تجمعات مركزية التصريف.

---

(1) نسبة تضرس القاع = المساحة البلانيمترية للقاع مقسومة على المساحة الحقيقة للقاع ، فإذا بلغ المعدل الواحد الصحيح دل ذلك على استواء السطح تماماً ،في حين إذا اقترب الناتج من الصفر دل ذاك على شدة التضرس (محمد محمود طه ، 2000 ، 249).

وبالنسبة للهيئة الداخلية للمنخفض، فقد بلغت نسبة مساحة قاع المنخفض البلانيمترية إلى المساحة البلانيمترية الكلية للمنخفض حوالي 12.66%، مما يعني أن منخفض العرج يقع ضمن فئة المنخفضات قمعية الشكل ، وتدل تلك النتيجة مع ما توصل إليه "محمد محمود طه" عند دراسته لمنخفضات الهضبة الجيرية فيما بين وادي النيل ومنخفض الخارجة ؛ إذ شغلت قيعان المنخفضات موضوع الدراسة حوالي 15% من إجمالي المساحة البلانيمترية الكلية للمنخفضات (محمد محمود طه، 2000؛ 246–247). و يرى " كوك وزملاؤه Cooke , R. , et al , 1993 " أن الخصائص المورفولوجية لأسطح السبخات تتحدد في ضوء دراسة رواسبها المشكلة لها ووضعها الهيدرولوجي، باعتبارها نظم نحت وإرساب متداخلة ، حيث تعكس أسطح السبخات تفاعل العديد من المتغيرات و التي من أهمها مستوى الماء الجوفي و ظروف الجريان السطحي وخصائص مياه البرك والمستنقعات والأملاح وفعل الرياح والتفاعلات الكيميائية والبيولوجية (Cooke , R. , et al , 1993 ; 205).

وفي ضوء بعض من تلك المتغيرات يمكن دراسة سطح قاع منخفض العرج من خلال العناصر التالية:

1- الخصائص الحجمية و الكيميائية لرواسب قاع المنخفض.

لدراسة الخصائص الحجمية والكيميائية لرواسب قاع المنخفض، فقد جمعت ست عينات – على عمق حوالي 10 سم من كل موضع – على طول قطاع يمتد من أسفل حافة المستوى الرابع

(بمنطقة تلال المقابر الحجرية) وباتجاه أدنى نقطة بالمنخفض صوب الشرق[1]، وبحيث تمثل الوحدات الأرضية الثانوية كافة على قاع المنخفض.

ومن دراسة أرقام الملحق (5) يمكن تحديد خصائص رواسب قاع المنخفض على النحو التالي:

أ- **الخصائص الحجمية :**

استعان الباحث بتصنيفات كل من Falk & Ward, 1957 و Sahu, 1964 و Griffiths, 1967 في تحديد الخصائص الحجمية للرواسب السطحية، والتي نوجز نتائجها على النحو التالي[2]:

---

(1) حدد الباحث مواقع العينات تحديداً فلكياً باستخدام جهاز G.P.S وموضح مواقعها الفلكية بالملحق رقم (4) حيث تمثل تلك العينات الوحدات الأرضية الثانوية الثلاثة التي يتشكل منها قاع المنخفض والنطاقات الفاصلة بينها.

(2) استخدم الباحث برنامج S.G - SAR- program الخاص بتحليل أحجام الرواسب السطحية والذى صممه السيد الدكتور / أشرف محمد مصطفى الأستاذ المساعد بقسم علوم الأراضى والمياه بكلية الزراعة جامعة الإسكندرية طبقاً لمعادلات كل من Falk & Ward, 1957, Sahu,1964 ; Grffiths, 1967. وقد طبق هذا البرنامج وتأكدت صحة نتائجه فى الدراسة التى أعدها الباحث المذكور عن خصائص التربة حول بحيرة ادكو (Moustafa, A., 1993, 60 : 64).

- يتراوح حجم الحبيبات المشكلة للرواسب بين الرمال الناعمة والمتوسطة (2.303 ϕ - 1.925 ϕ)، وإن استحوذت عينات الرمال الناعمة على النسبة الأكبر من إجمالي عدد العينات (أربع عينات من ست) ، كما يلاحظ تناقص متوسط حجم الحبيبات بالاتجاه من الهوامش الخارجية لقاع المنخفض (العينة 2) الممثلة لسطح السبخة الجافة بمتوسط قدرة 1.925ϕ وبالاتجاه صوب المسطح المائي والذى بلغ متوسط حجم حبيبات قاعه حوالي 2.252 ϕ.
- تقع كافة العينات المدروسة ضمن فئة التصنيف الجيد جداً Very well sorted ؛ إذ تراوحت قيم معامل التصنيف بين (0.597 ϕ – 1.216 ϕ)، مما يشير إلى سيادة فعل الرياح في نقل تلك الرواسب و أنها مشتقة من أصل صخري واحد.
- يبدو أن توزيع أحجام الحبيبات حول متوسطها الحسابي شبه متماثل فوق سطح الوحدات الأرضية الثلاث، وخاصة رواسب قاع المسطح المائي (حيث بلغ معامل التوائها حوالي -0.045 ϕ)، فى حين تجنح رواسب النطاقات الهامشية التي تفصل بين تلك الوحدات إلى التوزيع غير المتماثل ، حيث تراوح معامل التوائها بين(-0.16 ϕ ، -0.237ϕ).
- تشير نتائج معامل التفلطح إلى سيادة العينات ذات فئة التفلطح المدببة leptokurtic (لعدد ثلاث عينات) وبقيم تتراوح بين (1.115 ϕ . 1.171 ϕ) يليها فئة عينات التفلطح المتوسط (عدد عينتين) بقيم تتراوح بين (1.056 ϕ . 1.068 ϕ)، وأخيراً وقعت نتائج عينة واحدة

(الممثلة للنطاق الهامشي بين وحدتي السبخة الرطبة و المسطح المائي) ضمن فئة التوزيع المفلطح Platy kurtic ، مما يعني أن معظم أحجام الحبيبات المشكلة لرواسب سطح قاع المنخفض تميل إلى التركز ضمن فئة حجميه واحدة حول متوسطها الحسابي.

وفي ضوء تصنيف كل من Griffiths, 1967 ، Sahu , 1964 فإن النتائج المستقاة من الخصائص الحجمية للرواسب السطحية فوق سطح قاع منخفض العرج تشير إلى أن معظمها قد أرسب بواسطة الرياح والقليل منها أرسب بفعل المياه الجارية ، وتم نقلها بعمليتي القفز والدحرجة وإرسابها في بيئة بحيرية شاطئيه هادئة نسبياً، حيث أعيد تصنيفها على المستوى الأفقي باستقرار الرواسب الأكبر حجما عند أطراف البحيرة ، فى حين استقرت الرواسب الأدق في المياه الأعمق التي تميزت بهدوء التيارات المائية بها.

ب- الخصائص الكيميائية :

من دراسة الملحق (5) يمكن ملاحظة ما يلي:

- تنخفض درجة تركيز الملوحة الكلية بالاتجاه من الهوامش الخارجية لقاع المنخفض وبالاتجاه صوب العيون المائية؛ إذ بلغت درجة التركيز لعينة سطح السبخة الجافة حوالي 39808 جزء/المليون (عينة 2)، فى حين بلغت درجة التركيز لعينة سطح السبخة الرطبة حوالي 38720 جزء/مليون (عينة 4)، فمياه المستنقعات المحيطة بالعين (حوالي 10490، 14144 جزء/مليون)، للعينتين 6، 7 على الترتيب، وأخيرا بلغت درجة تركيز الملوحة لمياه العين _ عين الصبايا _ حوالي 2560 جزء/مليون.

  ومرد هذا التدرج في درجة تركيز الملوحة بين أسطح الوحدات الثانوية المشكلة لقاع المنخفض إلى عاملين مهمين : **أولهما:** طول فترة الجفاف التي تزامنت مع انحسار مياه البحيرة القديمة من الهوامش وصوب الداخل، **وثانيهما:** ما يعرف كيميائيا بظاهرة تأثير التركيز؛ حيث تتركز العناصر من الصورة الذائبة إلى الصورة المتبلورة بتركيز أعلى لنفس الوحدة الحجمية.
- يبلغ أعلى تركيز لعنصري الكالسيوم و الماغنيسيوم لرواسب سطح السبخة الرطبة (حوالي 154، 45 ملليمكافىء/لتر) للعنصرين على الترتيب، فى حين احتلت رواسب سطح السبخة الجافة المرتبة الثانية بدرجات تركيز حوالي 113، 30.7 ملليمكافيء/لتر للعنصرين على الترتيب، وأخيراً بلغت درجة التركيز بالمستنقعات المحيطة بالعين حوالي 37، 29 ملليمكافىء/لتر للعنصرين على الترتيب، ويرجع هذا التباين في توزيع درجة تركيز هذين

العنصرين إلى أنه من المحتمل في حالة السبخة الرطبة – المشبعة جزئياً – وجود كلا العنصرين في صورته الكاتيونية الذائبة دون أن يتفاعل مع معادن أخرى بحيث يصعب إذابة هذا الشق الكاتيوني منها (الشق الموجب)، فى حين في حالة سطح السبخة الجافة فإن طول فترة الجفاف تؤدي إلى ارتفاع نسبة احتمالية ارتباط هذين العنصرين بمعادن أخرى ، الأمر الذى يسهم في صعوبة كسر هذا الارتباط، ومن ثم انخفاض درجة تركيزهما، كما أن انخفاض تركيز العنصرين في عينة مياه المستنقع المحيط بالعين يرجع إلى تأثير فعل التخفيف الناجم عن مياه العين ذات درجة التركيز الملحية الكلية المنخفضة.

- تتباين عينات الرواسب الممثلة للوحدات الأرضية الثانوية لقاع المنخفض في محتواها من نسبة كربونات الكالسيوم؛ إذ يلاحظ تناقص نسبة كربونات الكالسيوم من حوالي 11.36% لعينات السبخة الجافة وهوامشها إلى حوالي 7.41%، 3.7% لعينتي رواسب السبخة الرطبة والمستنقع المائي (العينتين 4، 5) على الترتيب، و يرجع انخفاض نسبة كربونات الكالسيوم بصورة عامة برواسب قاع المنخفض – على الرغم من أن المنخفض قد حفر كلية في تكوينات جيرية – إلى أنه من المحتمل أن كربونات الكالسيوم غير نقية تماما؛ إذ لوحظ من نتائج الدراسة الجيولوجية السابقة وجود تكوينات طفليه ورملية يتشكل منها إقليم المنخفض، أو ربما أضيفت محاليل بيكربونات الكالسيوم المذابة إلى باطن الأرض.

من هذا يتضح أن الخصائص الحجمية والكيميائية للرواسب قد تأثرت إلى حد كبير بثلاث عوامل رئيسية ، **أولها** : العامل الهيدرولوجي المتمثل في المياه المنبثقة من العيون والتي مازالت تعمل حتى الوقت الحاضر وتؤثر في الخصائص الكيميائية ، خاصة في تخفيض نسبة كربونات الكالسيوم في قاع المنخفض بفعل تسربه في صورة بيكربونات كالسيوم مذابة ليضاف إلى الماء الأرضي ومن ثم تعميق المنخفض، وتلك النتيجة تتفق مع ما أورده "طه جاد" في دراسته عن التطور الجيومورفولوجي لمنخفضات الهضبة الغربية بمصر (طه محمد جاد، 1991، 73–77). كما أن ارتفاع نسبة المواد الناعمة بالاتجاه صوب العيون المائية (أخفض أجزاء القاع) يعد مؤشر طبيعي على أن انخفاض مستوى الماء الجوفي عن مناسيب قاع المنخفض قد صاحبه تكون تيار مائى من مياه التساقط فى اتجاه السطح المنكمش ، والذى حمل الرواسب الدقيقة صوب تلك الأجزاء المنخفضة ، فى حين تجمعت الرواسب الخشنة تجاه الأطراف حيث لم يتمكن التيار المائي المصاحب للسطح المائي المنكمش من حملها جهة الاتجاه السفلي. **وثانيها:** العامل المناخي، إذ سمحت ظروف الجفاف التي سادت بالمنطقة منذ بداية الهولوسين و حتى الوقت الحاضر في تنشيط التفاعلات الكيميائية من جانب و تنشيط حركة الرياح من جانب آخر، كما ساهمت ظروف الجفاف بشكل عام في تنشيط تفاعلات كيميائية ذات روابط معقدة خاصة بنطاق السطح الجاف من

قاع المنخفض، فى حين ساهمت الرياح في إعادة توزيع الرواسب السطحية على هذا القاع ويرجع إليها الفضل في توفير بيئة رسوبية جيدة التصنيف. **وثالثها** : العامل الطبوغرافي، والمتمثل في التماوج والتضرس فوق قاع المنخفض والذى يسهم بصورة مباشرة في تباين توزيع العناصر الكيميائية المشكلة لرواسب قاع المنخفض.

2- الوحدات المورفولوجية لقاع المنخفض .

يتوزع قاع المنخفض بين ثلاث وحدات أرضية ثانوية تشمل :

* السبخة الجافة.
* السبخة الرطبة.
* العيون المائية والمستنقعات.

و فيما يلى دراسة للخصائص الجيومورفولوجية لتلك الوحدات :

أ- السبخة الجافة:

تشغل السبخة الجافة نطاقا هامشياً ينحصر بين منسوبى – 25 متراً، –50 متراً، بمساحة تقدر بحوالي 34.43 كم2، أو ما يعادل حوالي 64.6% من إجمالي مساحة قاع المنخفض. ويبلغ أقصى اتساع للنطاق في الشمال الغربي؛ حيث يبلغ اتساعه حوالي سبعة كيلومترات، فى حين يضيق إلى نصف الكيلومتر في أقصى الجنوب الشرقي.

وعلى الرغم من أن المعدل العام لدرجة انحدار سطح النطاق قد بلغ حوالي 8 دقائق فقط، فإن نسبة تضرسه قد بلغت حوالي 0.04 مما يعني عدم استواء السطح و ميله للتضرس؛ وليس في تلك النتائج تضليل بقدر ما هو تباين في طريقة حساب كل من معدل درجة الانحدار العام ونسبة التضرس؛ إذ تؤكد الملاحظات الميدانية على حقيقة عدم استواء السطح لانتشار العديد من الظاهرات الدقيقة التي تعلوه و التي سوف يتم دراستها لاحقاً.

وثمة ملاحظة أخرى مهمة– على الرغم من أن هذا الموضع ليس بصدد دراسة سطح السبخة الرطبة – تتمثل في انخفاض نسبة تضرس سطح السبخة الرطبة، حيث بلغت نسبة التضرس حوالي 0.11، مما قد يعنى أن نسبة التضرس فوق سطح الوحدتين الجافة و الرطبة قد ارتبط بالمرحلة الجيومورفولوجية لكل منهما ؛ إذ كان سطح السبخة الجافة أكثر عرضة لعوامل التشكيل الخارجية و في فترة زمنية أطول من تلك التي تعرض لها سطح السبخة الرطبة في اتجاه انحسار مياه البحيرة القديمة نحو أدنى نقطة بقاع المنخفض.

وتتحد د أهم الملامح المورفولوجية لسطح السبخة الجافة في ضوء دراسة بعض الأشكال الدقيقة التي تتوزع بين ثلاثة أنماط وفقاً للعامل والعملية المشكلة لكل منها ، وتشمل ظاهرات الإرساب البحيري، والهوائي، والظاهرات الناتجة عن عمليات التجوية الكيميائية. و يمكن تناول كل منها علي النحو التالي:

- **الدرجات البحيرية :**

تظهر الدرجات البحيرية بالجانب الجنوبي الغربي لقاع المنخفض بمنطقة تلال المقابر الحجرية، وكشفت نتائج الدراسة الميدانية عن وجود ثلاث مستويات للإرسابات البحيرية عند أسافل تلك التلال، ويبين الجدول (2) بعض أبعاد تلك الدرجات وخصائصها الانحدارية، ومنه يتبين ما يلي :

- وجود ثلاثة مستويات للدرجات البحيرية علي مناسيب (18 – 16)، (10 –8)، (3 – 2) متراً فوق سطح السبخة الجافة الحالية، والتي يمكن الربط بينها وبين مستويات نقاط التجديد التطورية التي تظهر بالقطاعات الدنيا لمجاري الأودية الجافة بنطاق حافة الإيوسين الأوسط على الجانب الجنوبي الغربي للمنخفض؛ إذ تمثل الدرجات البحيرية بقايا البحيرات البليستوسينية التي كانت بمثابة مستوى قاعدة محلي لمجاري تلك الأودية، ومن ثم فإن نقطة التجديد التطورية عند مستوى 18 متراً ترتبط بالدرجة البحيرية العليا، يليها نقطة التجديد عند منسوب 8 أمتار وترتبط بالدرجة البحيرية الوسطى وأخيرًا نقطة تجديد عند منسوب 3 أمتار وترتبط بالدرجة البحيرية السفلي.
- انخفاض درجة انحدار أسطح الدرجات البحيرية من أعلى إلى أسفل، ويرجع ذلك إلى زيادة تراكم الكتل الساقطة والرواسب الرملية على تلك الأسطح في الاتجاه نفسه، مما يعمل على تقليل درجة الانحدار.
- شدة انحدار واجهة الدرجة الوسطى (65° في المتوسط) والتي ظلت بمنأى عن الإرسابات الرملية التي غطت معظم أجزاء الدرجة السفلي، وكذلك لعدم تأثرها بعمليات التسوية البشرية التي تأثرت بها واجهة الدرجة العليا إبان فترة حفر المقابر الحجرية وتشكيلها (الصور 10، 11، 12).

جدول (2) : الخصائص المساحية و الانحدارية للدرجات البحيرية.

المتغيرات / الدرجة	منسوب[1] الدرجة/ متر	متوسط اتساع سطح الدرجة/متر	متوسط انحدار سطح الدرجة/ درجة	متوسط ارتفاع واجهة الدرجة/متر	متوسط انحدار واجهة الدرجة /درجة
العليا	16-18	6.00	33	3.7	45
الوسطى	8-10	16.00	24	2.1	65
السفلي	2-3	1.5	15	2.00	30

المصدر : نتائج الدراسة الميدانية.

(1) منسوب الدرجة فوق مستوى سطح السبخة الجافة الواقع عند أسافلها .

- **أشكال الإرساب الهوائي :**

تتنوع أشكال الإرساب الهوائي بنطاق السبخة الجافة ، فهي إما عبارة عن غطاءات رملية يعلو سطحها علامات التماوج بالقرب من الهوامش الخارجية للنطاق أو نباك رملية تعلو عن سطح الأرض بأكثر من متر ونصف المتر على الهوامش الداخلية للنطاق (جدول 4) مرتبطة بذلك بارتفاع كثافة النبات الطبيعي في هذا الاتجاه وهي من نمط النباك الثابتة ، كما يوجد نمط من النباك الأقل حجما تشغل المساحات البينية بين النباك الأكبر منها ؛ إذ تتراوح أبعادها بين عدة سنتيمترات ونصف المتر ، ولا يزيد ارتفاعها عن ربع المتر ، وتتشكل من حبيبات رملية متماسكة بفعل الأملاح بوصفها مادةً لاحمة لها، فى حين استطاعت بعض الأعشاب الفقيرة من النمو خلالها والإسهام في تثبيتها، وتجد المركبات صعوبة في السير في أماكن انتشارها، حيث تسهم تلك التجمعات الرملية الصغيرة في رفع معدل وعورة سطح السبخة الجافة.

وبالاتجاه شمالاً من موضع تلال المقابر الحجرية، وعلى مقربة من المستنقع المائي الذى تشغل مركزه عين مائية هي "عين إبراهيم" (شكل 6أ) يوجد تجمع من الكثبان الطولية الثابتة، ذات محاور من غرب الشمال الغربي إلى شرق الجنوب الشرقي (299°، 305°) ، وقد قيست أبعاد أحد تلك الكثبان فوجد إجمالي طوله يبلغ حوالي 350 متراً، وتباين عرضه بين 70 متراً ، 140 متراً ، ويرتفع عن مستوى سطح السبخة الجافة بمقدار يتراوح بين مترين و ثلاثة أمتار ، يفصل ما بين الكثبان أجزاء شبه مستوية من سطح السبخة الجافة حيث تتشكل هنا المضلعات الملحية الطفلية، كما لوحظ عدم استقامة خط قمم محاور الكثبان في المستوى الرأسي؛ إذ يبدو مموجا وربما يرجع

ذلك إلى ظروف النشأة الأولى لكل منها ، فكل منها في الأصل قد تكون من التحام الكثبان الصغيرة المتجاورة، وقد أدى اختلاف معدلات حركتها إلى التحامها معاً فى حين بقيت المناطق الفاصلة فيما بينها في شكل سروج تفصل بين القمم المتعددة للكثيب الواحد.

وترتفع كثافة النبات الطبيعي فوق الأجزاء المختلفة لتلك الكثبان، مما يشير إلى وجود وفرة من المياه تعول تلك النباتات مختزنة بداخلها أو أسفل منها لقربها من عيون المياه؛ حيث ساهمت المياه الجوفية من جانب ونشاط الخاصية الشعرية من جانب آخر في صعود المياه التي تتبخر على السطح الخارجي لتلك الكثبان، مما يؤدي إلى تكوين القشرة الملحية الرقيقة والتي ميزها الباحث بالحقل بسمك قد يصل إلى سنتيمترين في بعض المواضع، وعلى الرغم من دقة سمك تلك القشرة فهى بمثابة درع واقى لتلك الكثبان.

- **المضلعات الملحية :**

وهي عبارة عن قشور ملحية بيضاء محاطة بحافات دقيقة مكونة من خليط من الأملاح والطفل وذات لون بنى فاتح، ولا يزيد ارتفاع تلك الحافات عن خمسة أو عشرة سنتيمترات، وسطح القشرة الملحية داخل المضلع أملس ناعم، وتتعدد أبعاد وأشكال تلك المضلعات، إلا أن أغلبها يتراوح طول مضلعاته بين نصف المتر والمتر ، كما تشكلت في بعض المواضع القريبة من المضلعات تنهدات مكونة من قشور ملحية طفلية مقوسة إلى أعلى بارتفاع حوالي ربع المتر نتيجةً للنمو البلوري لذرات الأملاح المصحوب بالتمدد في المستويين الأفقي والرأسي.

ب- السبخة الرطبة :

يبدأ سطح السبخة الرطبة في الظهور متاخماً للهوامش الداخلية لسطح السبخة الجافة في الاتجاه الجنوبي الشرقي لقاع المنخفض، حيث تختلط الرواسب الدقيقة هنا بالماء لتتحول إلى طين تغوص به الأقدام ، بل إن الماء يبدأ في الظهور على السطح بمواضع تلك الأقدام ، كما تكثر البرك المحاطة بنباك رملية ثابتة، ويبدو سطح السبخة هنا أقل استواء عن سابقه فوق سطح السبخة الجافة.

وتبلغ مساحة السبخة الرطبة حوالي 18.87 كيلومتراً مربعاً ، أي ما يعادل حوالي 35.4% من إجمالي مساحة قاع منخفض العرج المحدد بمنسوب – 25 متراً، و يقع المسطح بأكمله دون منسوب – 50 متراً. وتتحدد الملامح المورفولوجية العامة لسطح السبخة الرطبة في و جود نطاق غير متصل تشغله الكثبان الرملية الطولية الثابتة، ويتضح من دراسة الشكل (5) أن هذا النطاق يتوزع بين منطقتين :

الأولى: إلى الشمال من الخط الواصل بين عين ماء الإبل (في الغرب) وعين ماء الصبايا في الشرق ويتراوح أطوال كثبانها بين حوالي 100-1000 متر، **الثانية :** تقع إلى الجنوب من هذا الخط، ويغلب على كثبانها الامتداد الطولي الأكبر؛ إذ يتراوح أطوالها هنا بين 750 – 1500 متر.

وتشترك الكثبان الطولية بالمنطقتين بمجموعة من الخصائص الشكلية يمكن إجمالها فيما يلي:

- لا يتراوح اتجاه محاورها الطولية بين الشمالي – الجنوبي، والشمال الغربي– الجنوبي الشرقي، وقممها قبابية الشكل.
- ارتفاع كثافة النبات الطبيعي من أشجار الأثل ذات المجموع الجذري الكبير الذى يسهم في تثبيت الكثبان، كما تنتشر شجيرات الرطريط بالقرب من ملامسة جسم الكثيب للمياه الموجودة عند أسافله.
- ساهمت مياه العيون التي تنتشر على السطح في شكل أذرع مائية شديدة الضحاله في تثبيت تلك الكثبان، ولقد لوحظ فى أثناء الدراسة الميدانية آثار نشع لتلك المياه على ارتفاعات تصل إلى 50 سم فوق سطح الماء المكشوف.

كذلك يبدو من تتبع توزيع تلك الكثبان تأثرها بعلاقة الجوار الجغرافي لحقل الرمال الشرقي؛ إذ يلاحظ تركزها على الجانب الجنوبي الشرقي لقاع المنخفض حيث يوجد المصدر الرئيسي للرمال المشكلة لها، وأكدت ذلك الملاحظة الميدانية لألسنة رملية قد بدأت تأخذ طريقها نزلاً على واجهة الحافات – وهى من نمط الكثبان الهابطة – الشمالية والجنوبية الشرقية للمنخفض حيث تضاف إلى أقرانها من التجمعات الرملية الثابتة فوق سطح قاع المنخفض وبذات المحاور الشمالية والشمالية الغربية.

ج- العيون المائية والمستنقعات :

تعد العيون المصدر الرئيسي للمياه التي تظهر على سطح قاع منخفض العرج في الوقت الحاضر، ويبلغ إجمالي مساحة المسطح المائي والمستنقعات المحيطة به حوالي 2.27 كيلومتراً مربعاً، وتتوزع مصادرها الأصلية بين خمس عيون مائية كما هو موضح بالجدول (3).

وتتركز تلك العيون ومستنقعاتها في أقصى الجنوب الشرقي للمنخفض حيث أعمق أجزائه (-60 متراً) ؛ إذ يوجد هنا المسطحات المائية لأربع عيون تشغل مساحة تقدر بحوالي 2.016 كيلومتراً مربعاً وهو ما يوازى حوالي 89% تقريبا من إجمالي المساحة التي تشغلها تلك المسطحات. ولقد لوحظ أثناء الدراسة الميدانية أن المواضع التي تشغلها العيون المائية والمستنقعات المحيطة بها لها خصائص مورفولوجية مميزة يمكن إجمالها فيما يلي:

جدول (3) : مساحات العيون المائية والمستنقعات المحيطة بها.

العين	المساحة / كم2[1]
الإبل	0.252
إبراهيم + النخل	1.224
العسكر	0.216
الصبايا	0.576

المصدر : الخرائط الطبوغرافية مقياس 1 : 100.000

(1) تشمل تلك المساحة كلاً من سطح الماء المكشوف والمستنقعات المحيطة به.

- تحيط التجمعات الرملية بتلك المواضع في شكل حافات شبه دائرية يتراوح عرضها بين 70–76 متراً، فى حين يتراوح ارتفاعها بين 9–12 متراً فوق مستوى سطح السبخة الجافة ، وقد عرفت تلك الحافة في دراسات (Cooke, R., et al.,1993; 210) " بحافة الانزلاق " "Gleyed Rim" .
- للتجمعات الرملية انحداران ، أولهما: المواجه لسطح السبخة الجافة والرياح السائدة، ويتراوح متوسط انحداره بين 9–11 درجة ، وثانيهما : المواجه للمسطح المائي (ظل الرياح) بدرجة انحدار شديدة تتراوح بين 29–35 درجة.ويمكن أن يطلق على تلك الواجهة تعبير "واجهة الانزلاق" Gleyed Face (صورة 11).
- ارتفاع مستوى سطح ماء العيون عن سطح السبخة الجافة بقيم تتراوح بين 3–6 أمتار ، مما يعني وجود فرصة لتسرب المياه من خلال حافة الانزلاق جهة السبخة الجافة ليتشكل ما يطلق عليه "هالة الغسيل Wash aureole " حيث تنمو خلالها الأشجار والشجيرات مستفيدة بتلك المياه المتسربة.
- يعلو سطح حافة الانزلاق العديد من النباك ذات الأبعاد المتباينة على نحو ما هو موضح بالجدول (4) – يبرز من حافة الانزلاق العديد من الألسنة الرملية في المواضع التي تخلو من أشجار النخيل والأثل التي تشكل حواجز لمنع توغل تلك الألسنة داخل المسطح المائي وفوق سطح المستنقع المحيط به.

وتشير الملامح المورفولوجية للكثبان الحلقية بمواضع العيون المائية إلى إمكانية و ضع تصور للمراحل والكيفية التي تشكلت بها تلك الظاهرة على النحو التالي :

في المرحلة التي بدأت فيها ظروف الجفاف تطبق على المنطقة بدأت مياه البحيرات القديمة التي كانت تشغل قاع منخفض العرج في الانحسار نتيجة لارتفاع معدلات التبخر والجفاف ومن ثم

بدأ غزو الرمال من الجانبين الشمالي والشمالي الشرقي ؛ إذ إن الانحدارات الهينة لحافة الانزلاق تواجه هذين الاتجاهين، وفي ذات الوقت شكلت الأشجار – ذات الكثافة المرتفعة جداً – مصدات لتلك الرياح حيث أرسبت حمولتها في شكل حافات شبه مغلقة تحيط بالمسطحات المائية ، وقد أسهمت النباتات التي سرعان ما نمت خلال تلك الرمال في تثبيتها و منعها من الوصول إلى المسطحات المائية. ومع ذلك فقد اتضح من الدراسات الميدانية أن الألسنة الرملية الممتدة من جسم حافة الانزلاق قد امتدت صوب العيون المائية مما قد يهدد بإطماء تلك العيون خاصة من جوانبها الشمالية والشمالية الشرقية.

جدول (4) : أبعاد بعض النباك على سطح حافة الانزلاق بمنطقة عين الصبايا.

رقم العينة	الطول (متر)	العرض (متر)	الارتفاع (متر)	التوجيه (درجة)
1	27.65	15	2.4	40
2	0.90	0.85	0.2	200
3	3.2	2.8	0.4	56
4	4.1	3.5	0.8	80
5	3.00	2.00	0.45	85
6	1.65	1.25	0.20	45

المصدر: نتائج الدراسة الميدانية.

كما تتميز المسطحات المائية ذاتها بمجموعة من الخصائص يمكن إجمالها فيما يلي:

- صغر مساحة المسطح المائي المكشوف ؛ إذ يظهر في شكل شبه دائري لا يزيد قطره على 10 أمتار، بينما تختفي المياه أسفل غطاء سميك من أشجار النخيل و نبات السمارمر (صورة 11).
- ضحالة المسطحات المائية، إذ لا تزيد أعماقها على المتر الواحد في المنطقة المحيطة بعين الماء، وسرعان ما يتناقص العمق نحو الأطراف الخارجية للعين ليصل إلى بضعة سنتيمترات.
- ارتفاع درجة تركيز الملوحة بشكل فجائي بالاتجاه من العين ذات المياه المتجددة (حوالى 2560 جزء/مليون) وصوب المستنقعات المحيطة بها ، والتي تراوحت درجة تركيز ملوحة مياهها بين 14144– 20288 جزء/مليون (العينات أرقام 5، 6، 7 بالملحق 2) كما أظهرت نتائج التحليل أن المياه قلوية إذا بلغ رقم الـ pH[1] لها 9.5 .
- يبلغ إجمالي تصرف المياه الجوفية من الطبقة الحاملة لها (وهي تكوينات الإيوسين الأوسط) حوالي 477750 متراً مكعباً/ يوم، والتي يفقد معظمها بفعل عمليتي التبخر والنتح على مدار العام، وخاصة خلال فصل الصيف الحار (El Ramly, I ; 1966 , 558 : 559).

نستخلص مما تقدم أن تنوع الوحدات الأرضية المشكلة لقاع المنخفض وما يعلوها و يحيط بها من ظاهرات تدين في المقام الأول إلى التغيرات المناخية التي انتابت المنطقة ما بين فترات رطبة وأخرى جافة، ومن ثم فإنه يجب دائما أن يوضع في الاعتبار تلك التغيرات عند دراسة تلك المناطق الصحراوية.

(1) يقصد بقيمة pH اللوغاريتم السالب لدرجة تركيز أيون الهيدروجين فإذا زاد الرقم عن "7" دل ذلك على القلوية ، وإذا قل عن " 7 " دل ذلك على الحموضة .

رابعاً : حقل الرمال الشرقي :

تنتشر الكثبان الرملية في مساحة إجمالية تقدر بحوالي 77.71 كيلومتراً مربعاً وهي إجمالي مساحة ما يطلق عليه حقل الرمال الشرقي في تلك الدراسة ، فى حين تبلغ المساحة الفعلية التي تغطيها الأشكال الرملية المختلفة مساحة تقدر بحوالي 44.21 كيلومتراً مربعاً، أي ما يعادل حوالي 56.84% من إجمالي مساحة الحقل و هي بتلك النسبة تشكل ما يمكن أن يطلق عليه تعبير "بحر الرمال"، الذى يمثل جزءاً من حقل الرمال الواقع جنوبي منخفض القطارة، والذى تبلغ مساحته الإجمالية حوالي 10.000 كم2، وتدين نشأة الرمال التي تتشكل منها الكثبان جنوبي منخفض القطارة إلى عمليتي النحت و الاكتساح بواسطة الرياح من منخفض القطارة وتكوينات الهضبة الميوسينية شمالى الهضبة الغربية (Ashour , M . 1995 ; 17 ; Embabi , N., 1995 ; 64).

ويمكن تناول دراسة الخصائص الجيومورفولوجية لحقل الرمال من خلال دراسة العناصر التالية :

1) عوامل وعمليات تشكيل الكثبان الرملية.
2) الخصائص المورفولوجية العامة للكثبان.
3) الطرف الجنوبي الشرقي لحقل الرمال – دراسة حالة.

1- عوامل وعمليات تشكيل الكثبان الرملية .

تتعدد عوامل وعمليات تشكيل الكثبان الرملية، ولعل أهمها الرياح بوصفها عاملاً مورفومناخياً سواء فيما يختص بتوجيهه أو سرعته، وكذلك طبيعة السطح المرسب عليه حمولة تلك الرياح، بالإضافة إلى مصدر وكمية الرمال المتاحة و خصائص النبات الطبيعي.

ولدراسة مورفولوجية حقل الرمال شرقي منخفض العرج سوف نناقش عاملين مهمين من تلك العوامل وهما خصائص كل من الرياح و الموضع على النحو التالي :

أ- **خصائص الموضع :**

كان لخصائص موضع حقل الرمال الشرقي الأثر الكبير في تحديد الملامح المورفولوجية لبعض الكثبان الرملية بالحقل. وقد أشارت العديد من الدراسات السابقة إلى أهمية عامل السطح الذى يعمل على تشويه الكثبان وضعف الارتباط بين أبعادها وكذلك تحديد اتجاهاتها ومدى تعقدها ومن تلك الدراسات دراسة كل من :

امبابي و عاشور ، 1983 ، 101:100؛ عاشور ، 1992 ، 205 ؛ أحمد عبد السلام ، 1999 ، 330 ؛ صابر دسوقى ، 2000، 253 : 254؛ (Bagnold, R., 1933, 124; Cooke, R., et al., 1993: 335; Ashour, M., 1995, 17; Embabi, N., 1995, 71).

ومن دراسة الخريطة الجيومورفولوجية (شكل 5) يلاحظ أن الجانبين الشرقي والشمال الشرقي للمنخفض عبارة عن حافات سلمية، قد لا يزيد ارتفاع كل درجة منها عن خمسة عشر متراً، وأن توجيها بصورة عامة هو من الشمال إلى الجنوب كان له أثر كبير في تحديد الاتجاه العام للمحاور الطولية للكثبان، خاصة وأن هذا التوجيه يصنع زاوية تتراوح بين الحادة والقائمة مع الاتجاه السائد للرياح وهو الشمال الغربي – معظم أوقات السنة – أو الجنوب الغربي في بعض أوقات السنة.

وللتأكيد على تأثير توجيه الحافة و تضرس سطحها في هذا الجانب من المنخفض فقد ميز الباحث عدداً من أنماط الكثبان ذات الارتباط الوثيق بخصائص الموضع على النحو التالي:

- **نمط كثبان طولية متشعبة** أو ما يطلق عليه نمط الوصلة Y Junction ، و تتخذ شكلين، **أولهما:** الكثبان الطولية ذات الفتحة المواجهة للرياح، و توجد في أقصى الجانب الشمالي الشرقي لحقل الرمال ، و يبدو كل منها في شكل كثيب يتفرع إلى فرعين، وسرعان ما يلتحما مرة أخرى عند هبوطهما إلى حضيض الحافة الواقعة في أقصى الشمال الشرقي للحقل ويتشكل منها النمط الثاني ويطلق عليه نمط الوصلات العادية Normal Junction (Embabi , N. , 1995 , 71)، وما يلبث هذا النمط أن يتحرك على سطح قاع منخفض ثانوي ثم يبدأ في الصعود على واجهة حافات الجانب الجنوبي الشرقي للمنخفض ، ليبدأ في التفرع إلى فرعين و لكن هذه المرة تكون فتحة الوصلة في اتجاه منصرف الرياح و هو ما يطلق عليه نمط الوصلة المعكوسة Reversed type حيث الارتفاع التدريجي لسطح الأرض في اتجاه منصرف الرياح.
- **نمط كثبان العقبات**، وقد ميز الباحث عدداً من الأنماط الثانوية لتلك المجموعة ، وهي ذات أحجام متباينة ومتعددة الأشكال ومنها كثبان الصدى عند أسافل الحافات السلمية على الجانب الشرقي لحقل الرمال ، وكثبان الظل الواقعة في ظل التلال الجزيرية وفي اتجاه منصرف الرياح ، وكذلك الكثبان الصاعدة و الهابطة ، وكل نمط من تلك الأنماط تشير إلى التأثر المباشر بالسطح غير المنتظم ودوره في تحديد الخصائص المورفولوجية للكثبان بالمنطقة .

ولقد اتضح من الدراسات الميدانية أن العديد من أجزاء الحافات السلمية بنطاق حقل الرمال الشرقي قد اختفى أسفل الكثبان الرملية المعقدة وخاصة في أقصى الجنوب الشرقي للمنخفض، حيث يوجد تجمع من الكثبان الهلالية المعقدة والكثبان الصاعدة، وكلها تشير إلى اتجاه حركة الرمال بالحقل، وهو بصورة عامة من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي.

ب- الخصائص المورفومناخية للرياح :

للوقوف على مدى ما تسهم به الرياح في تشكيل الكثبان الرملية بالمنطقة ، فقد استعان الباحث بمعادلات كل من (Fryberger & Dean, 1979)[1] (Shwab, et al., 1966)[2] وذلك لتحديد طبيعة الرياح وطاقتها الكلية ومن ثم قدرتها على تشكيل الكثبان الرملية بالمنطقة، وجدير بالذكر أن كمية الرمال المنقولة تتحدد تبعاً لمكعب سرعة الرياح الأعلى من السرعة الحرجة والجذر التربيعى لحجم حبيبات التربة (محمد وصيف ، 2000 ، 41).

---

(1) تحسب الطاقة الكلية للرياح تبعاً لـ " Fryberger & Dean , 1979 "، لكل اتجاه من الاتجاهات الرئيسية والفرعية ثم تجمع طاقة كل الاتجاهات على النحو التالى :

$$DP = v^2 (v-vo)\, t / 12.12$$

حيث :الطاقة الكلية للرياح بالمتر المكعب / متر / سنة = DP

مركز فئة السرعة الأكبر قيمة من السرعة الحرجة المثيرة للرمال = V

السرعة الحرجة المثيرة للرمال = 12 عقدة / ساعة = vo

نسبة هبوب فئة السرعة الأكبر قيمة من السرعة الحرجة = t

واستخدام الباحث الرقم الثابت 12.12 لتحويل الطاقة الكلية للرياح من وحدات اتجاه vector unit إلى الوحدات المستخدمة م3/م/سنة . نقلاً عن : (Cooke, R., et al , 1993, 280:281)

(2) الطاقة الكلية للرياح تبعاً لمعادلة "Shwab, et al,1966" نقلاً عن: (محمود عفيفى، 1992، 41-42)

$$S \alpha (v-vo)^3 \sqrt{D}$$

حيث :

الحجم الاجمالي لكمية الرمال =S

السرعة بالمتر /ث =V

السرعة الحرجة المثيرة للرمال = Vo

قطر الحبيبة / مم= D

قطر الحبيبة / مم	السرعة الحرجة م/ث
0.25-0.1	4
0.5-0.25	5.6
1-0.5	6.7
2-1	7.1

كما يقترح الباحث وضع نسبة الهبوب لكل فئة سرعة داخل المعادلة للحصول على الحجم الكلى للرمال موزعاً بين الفئات الحجمية كل منها على حدة ليصبح شكل المعادلة على النحو التالى :

$$S \alpha (v\text{-}vo)^3 \sqrt{D.\ t}$$

حيث : t هى نسبة هبوب سرعة معينة ،والشكل الأخير للمعادلة هو الذى استخدم فى الدراسة الحالية فى محاولة لمقارنة التوزيع النظرى للفئات الحجمية مع التوزيع الفعلى المعملى.

ومن دراسة الجدول (5) يمكن ملاحظة ما يلى :

- تتناقص قدرة الرياح على حمل الرمال بصورة عامة بالاتجاه من الشمال إلى الجنوب ؛ إذ بلغت حوالي 43.2 متراً مكعباً / م / سنة بنطاق محطة أرصاد سيوة إلى حوالى 3.38 متراً مكعباً / م / سنة بنطاق محطة أرصاد البحرية ، الأمر الذى انعكس بصورة مباشرة على تناقص أبعاد وأحجام الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة في اتجاه عام من الشمال إلى الجنوب، وتتفق تلك النتيجة مع ما توصل إليه "إمبابي" (Embabi , N.,1995,77) في دراسته لأنماط الكثبان الرملية جنوبي منخفض القطارة، حيث أشار بأن نمو الكثبان الرملية و تحركها يزداد في الأجزاء الشمالية في الهضبة الغربية ثم يتناقص في الوسط والجنوب تمشيا مع ضعف طاقة الرياح و البعد عن المصدر الرئيسي للرمال و المتمثل في منخفض القطارة.
- تبلغ قيمة معامل إجمالي كمية الرمال المحتمل للرياح من حملها (م3/م/سنة) فى كل الاتجاهات إلى إجمالي كمية الرمال المحتمل للرياح من حملها فى الاتجاه السائد للرياح (المحصلة النهائية للرياح) حوالى 0.067 ،0.172 لمحطتى سيوة والبحرية على الترتيب، ويطلق على هذا المعامل " دليل الاتجاه " Directionality index ، وتشير تلك القيم إلى تعدد اتجاه الرياح بإقليم منطقة الدراسةComplex Direction تبعاً لتصنيف " Fryberger & Dean)" (Cooke, R, et al , 1993 ; 280 : 281 .
- تشير نتائج تطبيق معادلة "Shwab ,et al ,1966 " إلى أن الرياح بنطاق محطتي سيوة و البحرية تستطيع أن تحمل كمية من الرمال تقدر بحوالي 49.91، 2.3 متراً مكعباً/متر/سنة على الترتيب إذا توافرت مصادر الحمولة، و تتوزع تلك الكميات توزيعاً نظرياً بين أربع فئات حجمية تشمل فئة الرمل الناعم (0.1 – 0.25 مم)، والرمل المتوسط (0.25 – 0.5مم) ، و الرمل الخشن (0.5 – 1 مم)، والرمل الخشن جدا (1 – 2مم) بنسب تبلغ حوالي 36.72%، 23.63%، 18.58%، 21.07% للفئات الأربع بنطاق محطة أرصاد سيوة (على الترتيب)، وحوالي 43.53% ، 29.13%، 13.28%، 14.07% للفئات الأربع بنطاق محطة البحرية (على الترتيب). ويؤكد هذا التوزيع على أن طاقة الرياح بنطاق محطة أرصاد سيوة لها القدرة على حمل كميات أكبر من فئتي الرمال الخشنة والخشنة جداً إذا ما قورنت بطاقة الرياح بنطاق محطة أرصاد البحرية.

وبمقارنة التوزيع النظري لنتائج معادلة " Shwab ,et al ,1966 " بالتوزيع الفعلي باستخدام تحليل التباين Analysis of Variance – لنتائج التحليل الحجمي لعينات الرمال التي تتشكل منها الكثبان بالمنطقة ؛ حيث ضم التحليل نتائج ثلاث عشرة عينة تمثل المواضع المختلفة للوحدات الأرضية التي تتشكل منها الكثبان ، والتي سيرد دراسة خصائصها الحجمية والإحصائية بموضع دراسة الحالة لكثبان الطرف الجنوبي الشرقي لحقل الرمال – وجد أن هناك اختلافات جوهرية بين نتائج التوزيعين النظري والفعلي لأحجام الرمال بالمنطقة ، وباحتمال قدره 95% لا ترجع تلك الاختلافات إلى الصدفة أو العشوائية.

ويرى الباحث أن تلك الاختلافات ترجع في المقام الأول إلى أن معادلة " Shwab ,et al 1966, " لم تراع المتغيرات العديدة التي تؤثر في قدرة الرياح على النقل والتعرية وإنما اقتصرت على متغيرين فقط هما سرعة الرياح وحجم الحبيبات المنقولة حيث لم يراع المتغيرات العديدة التي تؤثر في قدرة الرياح على النقل والتعرية. وقد عبر " Wilson, S. and Cooke, R., 1980" عن تلك المتغيرات بمعادلة الانجراف الريحي Erosivity والتي تأخذ الشكل التالي:

E = F (I, K, C, L, V)

E = الكمية الكلية للمواد المعرضة للنقل بواسطة الرياح طن/إيكر

I = Erodibility دليل قابلية التربة للانجراف

K = معامل وعورة السطح

C = عامل المناخ ، L = امتداد السطح المكشوف والمعرض للرياح السائدة

V = كثافة الغطاء النباتي / رطل / إيكر (Wilson, S. & Cooke, R., 1980 , 240 : 241)

جدول (5) : الطاقة الكلية للرياح ودليل الاتجاه.

المتغير / المحطة	فترة الرصد من إلى	الموقع الفلكى	منسوب المحطة بالمتر	نسبة توجيه الرياح على حسب فئات السرعة (عقده)						الطاقة الكلية (١)		دليل التوجيه (٢)	
				٧- ١٠	١١- ١٦	١٧- ٢١	٢٢- ٢٧	٢٨- ٣٣	الإجمالي ٪ (٣)	بالوحدات الاتجاهية	بالمتر المكعب/ سنة = DP	كمية الرمال من الاتجاه السائد للرياح /م٣/ سنة RDP	RDP / DP
سيوة	٨٢-٩٨	٢٩ ٦٢ش ٢٥ ١٩ق	+١٥	٣٠,٤	٢٦,٩	٧,٢	٢,٤	٠,٥	٣٧	٥٢٣,٦	٤٣,٢	٢,٥٩	٠,٠٦٧
البحرية	٦٨-٩٨	٢٨ ٢٠ش ٢٨ ٥٤ق	+ ١٢٧,٧٥	٢٥,٣	٧,٦	٠,٥	٠,١	٠٠	٨,٢	٤٠,٩٠	٣,٣٨	٠,٤١	٠,١٧٢

المصدر : من حساب الباحث اعتمادا على بيانات هيئة الأرصاد الجوية ، قسم المناخ ، ج.م.ع

(1)، (2) حسبت كل من الطاقة الكلية ودليل التوجيه اعتماد على معادلة فرايبرجر وديان Fryberger & Dean, 1979 (Cook, R., et al., 1993, 280:281).

(3) إجمالى نسبة الرياح المثيرة للرمال فقط وهى تشمل الفئات ذات السرعات الأكبر من 12 عقدة/ساعة.

2- الخصائص المورفولوجية العامة للكثبان الرملية.

تتوزع الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة بين ثلاثة أنماط رئيسية تشمل الكثبان الطولية والهلالية وكثبان العقبات، وسنقوم بدراسة خصائصها المورفولوجية بصورة عامة اعتمادًا على البيانات المستقاة من الصور الجوية والخرائط الطبوغرافية، ومن دراسة النتائج الواردة بالجدولين (6، 7) يتبين الحقائق التالية:

- ارتفاع قيمة متوسط المساحة كلما زاد تعقد نمط الكثيب.
- انخفاض قيمة معامل اختلاف متوسط مساحة الكثبان الطولية البسيطة بالتطور الجيومورفولوجي من النمط القبابي – الذى يمثل مرحلة تعرية متقدمة – إلى النمط حاد القمة – الذى يمثل مرحلة تعرية أكثر تقدماً – مما يعني أنه بانتقال الشكل الأرضي من مرحلة الشباب إلى مرحلة النضج تزداد الأبعاد تجانساً على مستوى كثبان النمط الواحد، بعكس الأنماط الأكثر حداثة التي تتميز بضعف وضوح معالمها ومن ثم عدم تجانس أبعادها.
- انخفاض قيمة معامل اختلاف متوسط مساحة نمط كثبان العقبات بشكل واضح على مستوى الأنماط المدروسة، ويرجع هذا إلى تجانس الخصائص المورفولوجية لمجموعة كثبان العقبات سواء من حيث الارتفاع أو الامتداد ، كما تمثل العقبات حداً مؤقتاً قد تبلغه التجمعات الرملية مما يعني توقف نسبي لفترات ، الأمر الذى يعني ملاحقة بعض تلك التجمعات لبعض مما ينعكس على تقارب أبعادها و تجانسها.
- زيادة أبعاد الكثبان (الطول، العرض) بتطورها الجيومورفولوجي، فعلى سبيل المثال يزيد كل من طول وعرض الكثبان من نمط الكثبان القبابية البسيطة إلى نمط الكثبان الحادة البسيطة ثم إلى نمط الكثبان الطولية المركبة والمعقدة التي تمثل مرحلة أكثر تقدما من النمطين السابقين.
- على الرغم من تعدد توجيه المحاور الطولية لبعض أنماط الكثبان، وخاصة البسيطة منها، فإن المحصلة النهائية لتوجيه محاورها هو الاتجاه الشمالي الغربي – الجنوبي الشرقي، وقد يرجع ظهور بعض الحالات الشاذة إلى تأثير عاملي السطح – خاصة تباين توجيه الحافات الثانوية – وتعدد اتجاهات الرياح المؤثرة كما سبق ذكره.

وللوقوف على بعض الخصائص الدقيقة للكثبان الرملية بمنطقة الحقل الشرقي و التي يصعب استقراؤها من الصور الجوية مثل الخصائص الانحدارية للعناصر الأرضية المشكلة للكثبان والخصائص الطبيعية للتكوينات المشكلة لها، فقد تم تحديد مساحة تقدر بحوالي 3.25 كم2 أو ما

يمثل حوالي 5% من إجمالي مساحة حقل الرمال الشرقي، و تقع عند أقصى الطرف الجنوبي الشرقي لحقل الرمال ، وقد روعي عند اختيارها عدد من الاعتبارات نجملها فيما يلي :

1. يتمثل بداخلها عنصري الاستواء والانحدار واللذان يعدان من العوامل الرئيسية في تشكيل الكثبان وكذلك مجموعة العقبات الموجبة والسالبة (التلال الجزيرية والمنخفضات الثانوية).

جدول (٦) : الخصائص المساحية للكثبان الرملية وتوجيهها.

المتغيرات / النمط	عدد الحالات	الطول (كم)				العرض /كم			المساحة/كم٢			التوجيه / درجة		
		المتوسط	الانحراف المعيارى	معامل الاختلاف	المدى	المتوسط	الانحراف المعيارى	معامل الاختلاف	المدى	الكلية	المتوسط	الانحراف المعيارى	% معامل الاختلاف	المدى	متوسط الطول الموجى /كم	فئة التوجيه	الطول / كم	% من إجمالى النمط
الطول البسيط حاد القمة	١٨	٢,١	١,١٩	٥٧	-٠,٨٧ ٤,٩٥	٠,٢٦ ٣	٠,١٤	٥٤	-٠,٠٩ ٠,٥٥	١٢,٢٧	٠,٦٨	١ ٠,٦	٨٩	-٠,١٥٦ ١,٥٤	٠,٥٧	٢٨٥-٣١٥ ٣١٤-٣٤٥	١٢,٣٩ ٣٦,٩٥	٢٥,١ ٧٤,٩
الطول البسيط قاى القمة	٣٠	٠,٨٥	٠,٣٣ ٤,٨-	١٢ ٠	٠,٠٣٣ ٤,٨-	٠,١٣ ٤	٠,١٩	١٤٣	-٠,٠٠١ ٠,٠٠٩	٦,٩٣	٠,١٦١	٠,٠٥	٣١٢	-٠,٠٠٩ ٢,٨٩	٠,١٣ ٦	٢٨٥-٣١٥ ٣١٤-٣٤٥	٧,٦٢ ١٢,١٥	٣٨,٥ ٦١,٥
الطول المركب والمفقد	٣	٨,٠٥	٧,٥٢	٩٣	-٢,١ ١٦,٥٠	٠,٦٧	٠,١٧	٢٦	-٠,٤٧٤ ٠,٨١٧	١٧,٦٨	٥,٢٣	٦,٩	١٣٢	-١,٣ ١٣,٢	٠,٤٨	٢٨٥-٣١٥ ٣١٤-٣٤٥	٦,٤٨ ٥٢,٠٦	١١ ٨٩
الهلال المفقد	٢	٤,٥	٢,٢	٤٧	-٦ -٣	٠,٦٨	٠,٠٧	١١	-٠,٦٣ ٠,٧٣٥	٦,٦٤	٤,١٣	٣,٥ ٥	٨٦	-١,٦١ ٦,٦٤	-	*	-	-
الفئات	٥	٠,٧١	٠,٣٨	٠,٥ ٤	-٠,٣٩ ١,٢	٠,١٦	٠,٠٦	٤٠	-٠,٠٧٥ ٠,٢٤	٠,٦٨	٠,١	٠,٠ ٧	٧٣	-٠,٠٠٩ ٠,١٨		٢٨٥-٣١٥ ٣١٤-٣٤٥	١,٨ ٤,٩٥	٢٧ ٧٣

المصدر : القياس من الصور الجوية.

* توجيه المحور الطولى لنمط الكثبان الهلالية المفقدة بالجدول (٧).

2. يتمثل بداخل هذه المساحة معظم أنماط الكثبان التي توجد بنطاق حقل الرمال.
3. تمثل تلك المساحة المجمع الطبيعي أو الحد النهائي الذى تبلغه كثبان الجزء الشمالي والشمالي الغربي من الحقل، ومن ثم فإنه من المتوقع أن تزداد حدود الكثبان الرملية وضوحا وتعقدا، وبمعنى آخر قد يتمثل هنا مرحلة الشيخوخة لبعض أنماط الكثبان، ويؤكد ذلك المظهر المتقطع والارتفاع المحدود عند نهاياتها الجنوبية الشرقية، مما يعني أن اتجاه هجرة تلك الكثبان جهة الجنوب الشرقي.

جدول (7) : توجيه المحور الطولى للكثبان الهلالية المعقدة.

النمط / فئات التوجيه	كثبان الصباب الرئيسى		كثبان الصباب الثانوى	
284-255	16.60	15.48	6.39	3.57
314-285	6.96	7.14	6.82	8.93
344-315	9.36	16.67	19.05	19.64
14-345	15.07	19.05	24.15	23.22
44-15	14.14	25	16.28	21.43
75-45	34.89	16.66	27.31	23.21
الاجمالى%	100	100	100	100

1- المصدر : القياس من الصور الجوية والدراسة الميدانية

2- استخدم الباحث تعبيرى الصباب الرئيسى والثانوى للتمييز بين الكثبان التى يزيد ارتفاعها عن 10 أمتار (رئيسي) والتى يقل ارتفاعها عن10أمتار (ثانوى).

3- الطرف الجنوبي الشرقي لحقل الرمال _ دراسة حالة .

لتحقيق الأهداف المرجوة من دراسة الحالة فقد تم عمل خريطة تفصيلية لمناسيب السطح[1] بفاصل رأس قدره متر واحد، وجمعت ثلاث عشرة عينة من الرمال السطحية تمثل العناصر الأرضية المختلفة للكثبان، وأوضحت نتائج دراسة الحالة مجموعة من الحقائق تتعلق بالخصائص المورفولوجية للكثبان والخصائص الحجمية للرمال المشكلة لها، يمكن تناولها على النحو التالي:

---

(1) استخدام جهاز المحطة المساحية Total Station بمعرفة الباحث وتحددت إحداثيات المحطة المحتلة باستخدام جهاز G.P.S بدقة (+) أو (-) 17 متراً وذلك فى يومى 27، 2002/2/28 ، وقد تم رفع مساحى لعدد 372 نقطة بحيث تغطى أكبر عدد من أنماط الكثبان، واستخدمت فى توقيع الخريطة التفصيلية شكل رقم (18).

أ- **الخصائص المورفولوجية للكثبان :**

يتناول هذا الجزء بالدراسة الخصائص الانحدارية والشكلية للقطاعات العرضية و الطولية للكثبان الطولية والهلالية وأنماط كل منها. ومن دراسة الجدولين (8، 9) يتبين الحقائق التالية:

- يتباين توزيع درجات الانحدار بين الأنماط المختلفة للكثبان، بل على مستوى جانبي النمط الواحد ، وبصورة عامة تبلغ قيمة متوسط درجة انحدار القطاعات المقاسة حوالي 15.9 درجة ، وبزاوية مميزة قدرها 10 درجات، وهي الأكثر تكراراً وتشغل حوالي 20.38% من إجمالي طول القطاعات المقاسة.
- تتوزع زوايا انحدار الكثبان الرملية المقاسة بين أربع فئات انحدارية تأتي من بينها فئة الانحدار (10– 20°) – وهي فئة الانحدارات فوق المتوسط – في المرتبة الأولى من بين الفئات الانحدارية بنسبة 35.29% من إجمالي طول القطاعات المقاسة.
- انخفاض درجة انحدار الجوانب المواجهة لاتجاه الرياح سواء أكانت الرياح الثانوية (وهي في حالتنا هنا الرياح الجنوبية الغربية على الجوانب الجنوبية الغربية للكثبان الطولية) ، أم الرياح السائدة معظم فترات السنة على الكساح في حالة الكثبان الهلالية (وهي الرياح الشمالية الغربية) ؛ إذ تراوحت قيمة متوسط انحدار تلك الجوانب بين 12.9 – 17.8 درجة على مستوى الأنماط المدروسة.
- ترتفع قيمة متوسط انحدار جوانب الكثبان الواقعة في ظل الرياح ، وهي الجوانب الشمالية الشرقية – في حالة الكثبان الطولية – وعلى جانب الصباب في حالة الكثبان الهلالية ؛ إذ تراوحت قيمة المتوسط المرجح لزوايا انحدار تلك الجوانب بين 11.3 ، 29.7 درجة على مستوى الأنماط المدروسة.

ويمكن تفسير ذلك في ضوء وجود رياح مستعرضة قوية تهب بين الحين والآخر من شأنها رفع الرمال إلى أعلى ، ومن ثم زيادة تقعر الجزء العلوي من تلك الواجهات ، وهي في حالتنا هنا الواجهات شديدة الانحدار ، فتحدث لها حركة عكسية أشبه بالدوامة التي من شأنها أن تمارس نفس الفعل الذى تمارسه الرياح المستعرضة القوية في تثبيت كميات من الرمال ورفعها باتجاه قمة الكثيب، ومن ثم تشكيل أسطح مقعرة شديدة الانحدار تعرف بأسماء عديدة منها "منحدر التهدل" Slip face (جودة ، 2001 ، 371) و"الصباب الحقيقي" (امبابي و عاشور ، 1983 ، 126) ، و"منحدر الانهيال" Collapse side (Bagnold, R. ; 1933 , 122) أو "واجهة الانزلاق" Slip face (1993 , 376 Cooke, R. , et al.,).

- انخفاض متوسط درجة انحدار الصباب في الكثبان الهلالية المعقدة إلى حوالي 11.3 درجة، فى حين يصل متوسط درجة انحدار صباب الكثبان الهلالية البسيطة إلي 25 درجة، ويرجع هذا التباين الشديد إلي عمليات التشويه والتهدل التي تصيب الكثبان الهلالية في الحالة الأولى – الحالة المعقدة – وهي الحالة التي تمثل مرحلة الشيخوخة من مراحل تكوين الكثبان الهلالية فى حين تمثل حالة الكثبان الهلالية البسيطة مرحلة النضج، ومن ثم ارتفاع قيمة متوسط درجة انحدار الصباب (امباني وعاشور، 1983، 85:78).
- سيادة الأقسام الأرضية المستقيمة على الجانب الواقع في ظل الرياح في الكثبان الطولية و الصباب في حالة الكثبان الهلالية، فى حين قد تظهر بعض العناصر المقعرة على تلك الجوانب في الكثبان الطولية البسيطة حادة القمة والهلالية البسيطة وهي تلك الأجزاء التي تمثل واجهة الانزلاق وتشغل مسافة تقدر بحوالي 10% من إجمالى طول القطاع و يبلغ ارتفاع واجهة الانزلاق في المتوسط حوالي 1.5 متر.
- أظهرت القطاعات العرضية وخريطة مناسيب السطح – للمساحة موضوع دراسة الحالة – تباين المنسوب النسبي لقمم الكثبان بالنسبة لمستوى السطح الواقع أسفلها فقد تراوح منسوب القمة على الجانب الشمالي الشرقي لأحد الكثبان الطولية (شكل 8) بين 7.5، 9 أمتار فوق مستوى السطح الذى يعلوه هذا الكثيب، فى حين يتراوح منسوب نفس القمة بنفس المواضع بين 11، 14 متراً (على الترتيب) على الجانب الجنوبي الغربي للكثيب، مما يعني أن هناك نقطة تغير فجائي في الانحدار أسفل تلك الكثبان، وأنها قد مرت بالمراحل التالية في تشكيلها:

  * مرحلة نمو رأسي بسبب استمرار إلقاء الرياح حمولتها فينشأ ما يعرف بكثبان الصدى.
  * مرحلة ا كتمال النمو الرأسي للرمال حتى تبلغ مستوى أسطح الحافات فتبدأ في الصعود بفعل دفع الرياح المتعامدة على اتجاه الرياح السائدة ومن ثم تبدأ في التخلص نوعا ما من سيطرة الحافة (العائق).
- سيادة العناصر الأرضية المحدبة بنسبة تصل إلى حوالي 54% من إجمالي طول القطاعات المقاسة على أسطح الجوانب المواجهة للرياح لنمط الكثبان البسيطة القبابية ، وتوجد تلك العناصر بالأجزاء الوسطى و السفلي من القطاع نتيجة لعمليات الإرساب من الأجزاء العليا من القطاع، حيث تسود هنا الأقسام المستقيمة التي تشغل حوالي 46% من إجمالي طول القطاعات الممثلة لتلك الجوانب.
- تختفي الأقسام الأرضية المستقيمة على الجانب المواجه للرياح في حالة الكثبان ذات القمة الحادة، فى حين تسود العناصر الأرضية المقعرة ؛ إذ تبلغ قيمة معامل الشكل حوالي 67%، وتظهر تلك العناصر المقعرة بالقرب من قمة الكثيب حيث تنجح الدوامات الهوائية التي تتشكل

على السطح المقابل (سطح الصباب) في رفع الرمال إلى أعلى ، ومن ثم تسهم في زيادة ارتفاع قمة الكثيب ليظهر الجزء العلوي من الكساح في شكل جزء مقعر، ولذا فإن العناصر المقعرة تتشكل بفعل النحت على سطح الصباب، فى حين تتشكل بفعل الإرساب على سطح الكساح.

- يظهر سطح كساح الكثبان الهلالية البسيطة محدب الشكل وزاوية تقوس لا تتعدى 10 درجات، فى حين تتبادل العناصر المقعرة والمحدبة المواقع على سطح الكساح في حالة الكثبان الهلالية المعقدة ، كذلك انحصر توزيع العناصر المحدبة والمقعرة على سطح الصباب في حالة الكثبان الهلالية البسيطة بين درجتين للتقوس أولاهما : 18 درجة للعناصر المحدبة وثانيتهما : 7 درجات للعناصر المقعرة ، فى حين تعددت درجات تقوس تلك العناصر وخاصة المقعرة على سطح صباب الكثبان الهلالية المعقدة، مما يشير بصورة واضحة إلى تنوع عوامل تشكيلها و اضطرابها وارتباطها بمرحلة التطور الجيومورفولوجي للشكل الأرضي.

ب- الخصائص الحجمية :

من دراسة الملحق (7) والذى يوضح بعض الخصائص الحجمية والإحصائية للرمال التي تتشكل منها بعض أنماط الكثبان بمنطقة الطرف الجنوبي الشرقي لحقل الرمال ، يمكن استنتاج حقيقتين مهمتين :

- تتشكل الكثبان الرملية بالمنطقة – بشكل عام – من رمال متوسطة الحجم ، وذات تصنيف جيد جداً، مما يدل على أنها مشتقة من أصل صخري واحد ، وتماثل توزيعها حول متوسطها الحسابي.
- يتناقص حجم حبيبات الرمال بصورة عامة فوق أجزاء أنماط الكثبان المدروسة في حالتين – الأولى: من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي، والثانية: من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي، ومرد ذلك إلى أنه في الحالة الأولى تتناقص طاقة الرياح بشكل عام ومن ثم قدرتها على حمل ونقل حبيبات خشنة في هذا الاتجاه، أما في الحالة الثانية ، فترتبط الرمال الخشنة بالجانب الأقل انحدار من الكثيب ، بينما ترتبط حبيبات الرمال الأقل حجماً بالجانب الأشد انحداراً، وهو الجانب الشمالي الشرقي (للكثبان الطولية) والصباب في الكثيب الهلالي.

خامساً : نشأة المنخفض وتطوره :

1- نشأة المنخفض.

فى محاولة لتتبع نشأة منخفض واحه العرج وتطوره سوف نعتمد على مجموعة من الأدلة المتنوعة التى تسهم فى استقراء هذا التطور، ويتحقق هذا الهدف بدراسة خصائص تلك الأدلة

وتحليلها وبيان علاقاتها الزمنية والمكانية، ثم محاولة الربط فيما بينها للوقوف على صورة واضحة لهذا التطور الجيومورفولوجى. وتنقسم الأدلة التى سوف تعتمد عليها الدراسة الحالية إلى مجموعتين : **أولاهما:** مجموعة الأدلة الموفورلوجية والتى تتضمن المنخفضات الجنينية والبحيرات البليستوسينية – إضافة إلى ظاهرتي نقاط التجديد التطورية والدرجات الرسوبية على القطاعين الطولى والعرضي لمجارى الأودية والتى سبق دراستها فى مواضع سابقة وثانيتهما : مجموعة الأدلة الأركيولوجية والتاريخية، ويمكن دراسة كل منها على النحو التالى :

أ- **الادلة المورفولوجية :**

- **المنخفضات الجنينية :**

أطلق "رشدي سعيد" تعبير المنخفضات الجنينية Embryonic depressions على مجموعة المنخفضات الصغيرة Minor depressions التى ترصع سطح هضبة ماريماريكا الميوسينية الواقعة إلى الشمال من منخفض القطارة ، وشبيه بها العديد من المنخفضات الصغيرة التى تنتشر بمنطقة الدراسة (Said , R. ; 1960,40:41) .

ولقد تبين من فحص الصور الجوية مقياس رسم 1 : 60.000 واللوحات الطبوغرافية مقياس رسم 1 : 100.00 والمرئية الفضائية مقياس رسم 1 : 250.00، أن المنخفضات الجنينية تتوزع بين مستويين، **الأول:** يعلو سطح هضبة " باكو" الميوسينية جنوب غربى المنخفض، **والثانى:** يعلو سطح سهل الإيوسين الأوسط إلىالجنوب والشرق والشمال من المنخفض، ويبلغ عدد المنخفضات التى درست 136 منخفضاً، بواقع 60 منخفضاً لسطح الهضبة، 76 منخفضاً لسطح السهل ، وقيست أبعادها التى خضعت للتحليل الاحصائى فى مرحلة لاحقة فى محاولة لإبراز التباين بين المجموعتين الذى قد يسهم في استقراء التطور الجيومورفولوجي. ومن دراسة الجدول (10) يتبين ما يلى :

جدول (10) : خصائص المنخفضات الجنينية بإقليم منخفض العرج.

المنسوب / المتغيرات	منخفضات سطح هضبة باكو				منخفضات سطح سهل الإيوسين			
التحليل الإحصائي	الطول/ كم	المحيط/ كم	المساحة/ كم2	معامل الاستطالة*	الطول/ كم	المحيط/ كم	المساحة/ كم2	معامل الاستطالة
المتوسط	1.97	5.11	1.26	0.57	2.22	5.85	2.23	0.60

المدى (من إلى)	9 -0.5	19.5 - 1.25	10.75-0.13	0.98-0.19	8.5-0.5	25.75-1.5	20-0.13	01-0.25
الانحراف المعيارى	1.50	4.32	2	0.16	1.73	5.57	4.00	0.14
معامل الاختلاف%	76	85	158	28	78	95	179	23
الإجمالى	**118**	-	**75.48**	-	**169**	-	**170.01**	-

* حسب معامل الاستطالة تبعاً للمعادلة التالية

$$E= A^{0.5} * 2/L*\Pi^{0.5}$$

حيث :

E = معامل الاستطالة
L = أقصى طول للشكل
A= مساحة الشكل
Π = 3.1416

- تبلغ قيمة معامل الاستطالة للمنخفضات الجنينية فوق سطحى هضبة باكو وسهل الإيوسين الأوسط حوالى 0.57 ، 0.60 على الترتيب، وتتباين فى مدى إحصائى كبير يبلغ حوالى 79%، 75% لكل منهما على الترتيب.
- تبين أن 32% من إجمالى عدد المنخفضات فوق سطح الهضبة يقل معامل استطالتها عن 0.50، فى حين تصل تلك النسبة إلى 20% فقط من إجمالى عدد المنخفضات فوق سطح السهل.
- تبلغ قيمة معامل الاختلاف لمساحة المنخفضات فوق سطح الهضبة (حوالى 158%) وهو أقل من مثيله فوق سطح السهل حيث بلغ حوالى 179%.
- تتراوح قيمة الكثافة العامة للمنخفضات الجنينية فوق سطحى الهضبة والسهل بين حوالى 0.73كم2 /كم2، 0.083كم2/كم2 لكل منهما على الترتيب ، كما تبلغ قيمة معامل تكرار المنخفضات حوالى 0.058 منخفض/كم2 ، 0.037 منخفض/كم2 ، مما يعنى صغر مساحة منخفضات سطح الهضبة وزيادة عددها بالقياس إلى منخفضات سطح السهل ذات المساحة الأكبر والعدد الأقل، فقد بلغ متوسط مساحة منخفضات سطح الهضبة حوالى 1.26 كم2، فى حين بلغ متوسط مساحة منخفضات سطح السهل حوالى 2.23 كم2.
- اتضح من نتائج معامل الارتباط المتعدد[1] . بين مجموعة المتغيرات المقاسة للمنخفضات الصغيرة فوق سطح الهضبة والسهل – وجود علاقة ارتباط قوية بين معامل الاستطالة (كمتغير تابع) وأقصى طول للمنخفض والمحيط والمساحة (كمتغيرات مستقلة)؛ حيث بلغت قيمته لمنخفضات المستويين حوالى +0.69، +0.61 على الترتيب ، كما أظهرت نتائج التحليل أيضاً أن المتغيرات المستقلة تسهم فى تفسير حوالى 45%، 34% من جملة التغيرات التى قد تحدث

فى قيمة معامل الاستطالة لمنخفضات سطح الهضبة والسهل على الترتيب، فى حين النسبة المتبقية ترجع إلى عوامل أخرى ، قد يكون العامل الجيولوجى فى مقدمتها.

وتشير النماذج الاحصائية التالية إلى طبيعة تلك العلاقة :

- قيمة معامل الاستطالة للمنخفضات الجنينية فوق سطح الهضبة = 0.687- 0.136ل + 0.147م + 0.058 س .
- قيمة معامل الاستطالة للمنخفضات الجنينية فوق سطح السهل =0.719-0.124 ل + 0.152م + 0.316 س .

حيث : م = طول المحيط الحوضى للمنخفض ، س = مساحة المنخفض ، ل = أقصى طول للمنخفض .

مما يعنى فى كلا الحالتين – حالة المنخفضات فوق سطح الهضبة وسطح السهل . أنه بزيادة قيم الطول والمحيط والمساحة تزيد قيمة معامل الاستطالة ويقترب شكل المنخفض من الشكل الدائرى والعكس.

- شيوع نظم الفواصل بوصفها ظاهرات خطية بمواضع عديدة بمنطقة الدراسة وقد تبين أن 63.63% من إجمالى عدد الحالات المدروسة لمنخفضات سطح الهضبة يتفق توجيه محاورها الطولية مع 65.89%، 70.66% من إجمالى عدد وطول الفواصل المؤكدة (على الترتيب) فى الفئة المحصورة بين اتجاه الشمالى الشرقى والشمال الغربى (40 –320 درجة) فى حين بلغت نسبة المنخفضات فوق سطح السهل التى تقع محاورها الطولية ضمن تلك الفئة حوالى 24.21% من إجمالى عدد المنخفضات المدروسة، فى حين بلغت نسبة الفواصل التى تتفق معها فى التوجيه ضمن تلك الفئة حوالى 38.09%، 35.17% من إجمالى عدد وطول الفواصل المقاسة على الترتيب.

---

(1) استخدام برنامج Spss للتطبيقات الإحصائية فى الحصول على نتائج معامل الارتباط المتعدد.

وخلاصة القول أن المنخفضات الجنينية فوق سطح هضبة باكو تميل إلى الاستطالة لتأثرها أكثر بتوجيه الفواصل بوصفها إحدى الظاهرات الخطية ، فى حين تصبح المنخفضات فوق سطح السهل أقل تأثراً بتلك الفواصل وتصبح أكبر مساحة بالمقارنة بمثيلتها فوق سطح الهضبة ؛ حيث تشيع عملية اندماج المنخفضات الصغيرة ومن ثم زيادة الاتساع والعمق بفعل تناوب عمليتى الإذابة – التى ما يلبث أن يتحول نتاجها إلى مواد هشة غير متماسكة – والتذرية الرياحية ، ليكشف عن قاع جديد هو بمثابة سطح تحاتى مبعوث Exhumed erosion surface ، كما أنه بزيادة أبعاد

المنخفضات ومساحاتها وبالتالى نضجها وتقدمها التحاتى ، يتراجع دور الفواصل كدور رئيسى فى تشكيلها فى المراحل الابتدائية لها إلى مراتب متأخرة نوعاً ما لتصبح بمثابة عامل ثانوى جنباً إلى جنب مع العوامل الأخرى.

- **بحيرات البليستوسين والهولوسين الأوسط :**

لقد تأكد حدوث ثلاث فترات مطيرة فى النطاق المحصور بين دائرتى عرض 25-30° ش تعاصر فترات جليدريس وفيرم (فى نطاق العروض المعتدلة) والعصر الحجرى الحديث (5500ق.م-2500ق.م) (جودة ، 2002 ، 234 : 235).

وقد كان من نتائج الفترات الجليدية فى أوروبا حدوث زحزحة للنطاقات المناخية تجاه دائرة الاستواء وبذلك فإن نطاق مناخ البحر المتوسط المثالى الذى ينحصر حالياً بين دائرتى عرض 32-45° شمالاً كان يتزحزح جنوباً وينضغط بين دائرتى عرض 28-36 شمالاً ، وقد كانت كمية التساقط التى تقدر بحوالى 400مم كفيلة بتنشيط الجريان السطحى الذى يرفع من مستوى البحيرة التى كانت تشغل قاع المنخفض ،وتشير مناسيب أسطح الدرجات البحيرية فوق قاع منخفض العرج إلى وجود ثلاث مستويات لمياه البحيرات التشغلته إبان تلك الفترات المطيرة.

وقد بلغت بحيرات البليستوسين - فوق قاع المنخفض - أوج اتساع وحجم لها إبان الفترة المطيرة الأولى؛ إذ تراوح منسوبها بين 7 ، 9 أمتار أسفل مستوى سطح البحر الحالى (أعمق نقطة بالمنخفض -60 متراً) وبمساحة تراوحت بين 73،75 كيلو متراً مربعاً كما تراوح إجمالى حجم المياة [1] بها بين 2059، 2011 متراً مكعباً وتناقصت مساحة البحيرة البليستوسينية بمقدار

---

(1) اعتمد الطالب فى تقديرمساحة البحيرات القديمة على مناسيب الدرجات البحيرية التى قيست ميدانياً وتحديد حدودها بدراسة زوجيات الصور الجوية وبعض نقاط الربط الأرضى باستخدام جهاز G.P.S، كما استخدم برنامج Surfer.7 الخاص بالتطبيقات المساحية والخرائط الكنتورية فى إيجاد المساحات والحجوم .

حوالى 13% تقريباً خلال الفترة المطيرة الثانية بالقياس بمساحة بحيرة الفترة المطيرة الأولى؛ إذ تراوحت مناسيبها بين -15، -17 متراً ، وتراوحت مساحتها بين 63،66 كيلو متراً مربعاً تقريباً، فى حين تراوح حجم الماء الكلى بها بين 1467 ، 1596 متراً مكعباً ، وإبان الفترة المطيرة الأخيرة (خلال العصر الحجر الحديث) بلغ منسوب سطح البحيرة أدناه ؛ إذ تراوحت بين -22،-23 متراً ، وبمساحة تراوحت بين 57، 58 كيلو متراً مربعاً، فى حين تراوح حجم المياه الكلى بها بين 1108 ، 1165متراً مكعباً.

وجدير بالذكر أن منسوب مستوى البحيرات فوق قاع المنخفض لا يرتبط فقط بكمية الجريان السطحى الذيصب فيها ، بل هناك العديد من العوامل والتى من أهمها مستوى الماء الجوفى ، والذى يرتبط بدوره بالخصائص البنيوية والظروف الهيدروجرافية بمنطقة المنخفض ، ثم مستوى سطح البحر (طه محمد جاد ، 1991 ، 80 : 81).

ومنذ نهاية العصر الحجرى الحديث (حوالى 2500ق.م) بدأت ظروف الجفاف تسود بالمنطقة ، ومن ثم بدأت تتكمش البحيرة فى ظل معدلات التبخر المرتفعة التى لا يعوضها كمية المياة المنبثقة من العيون من أسفل قاع المنخفض ، فقد بلغ معامل انكماش البحيرة البليستوسينية[1] حوالى $\frac{1}{24}$ ، أى أن المسطح المائى قد انكمش بمقدار 24 مرة بالمقارنة بالفترة المطيرة الأولى.

ب- الأدلة الأركيولوجية :

تشير الدلائل الحجرية التى عثر عليها بمنطقة تلال المقابر الحجرية بمنخفض العرج ، على وجود أسباب حياة تعول عدداً كبيراً من البشر حتى الفترة الممتدة بين 100 ق.م – 100 م ، أى فى الفترة الرومانية .

ويبلغ عدد المقابر الحجرية ثمانياً وأربعين مقبرة ، حفرت و شكلت داخل الصخور الجيرية الطباشيرية على ارتفاع يبلغ حوالي 18 متراً فوق مستوى قاع المنخفض عند أسافلها، وقد شجعت الخصائص الصخرية من حيث سهولة حفرها و تشكيلها في إنشاء تلك المقابر الحجرية، وقد اتضح للباحث عند دخول بعض من تلك المقابر أنها تمتد في داخل جسم التل بطول يصل إلى ستة أمتار وبعرض داخلي يصل إلى خمسة أمتار ، وقد قسمت من الداخل إلى مجموعة من المقابر لأكثر من فرد، حيث تشير طبيعتها وبقايا الرفات الموجود بكل منها (الصور 10، 11، 12).

(1) معامل انكماش المسطح المائى للبحيرة = $\frac{\text{مساحة المسطح المائى الحالى}}{\text{مساحة النطاق السبخى المحيط بالمسطح المائى}}$

After , EL- Ramly, I ., 1966, 560.

واتضح من الدراسة الميدانية أن معظم تلك المقابر قد أغلقت بواسطة الرمال التى حملتها الرياح الى هنا.

ويرى الأثريون أن عدد المقابر التى عثر عليها بتلك المنطقة ليست لمجموعات بشرية صغيرة – كان يعتمد عليها بوصفها نقاط حرس على طريق القوافل الممتد من سيوة إلى البحرية ، بالإضافة إلى آثار المعبد الذى أشار إليه (رولفس) عند زيارته لمنخفض العرج فى عام 1874م– بل أنها تشير إلى مجموعات بشرية كبيرة كانت تقطن الواحة ، وتعتمد على مياه العيون فى احتياجاتها الخاصة (Fakhry , A., 1939; 609:610).

ولما كانت نتائج التحليل الكيميائى لعينات المياه المأخوذة من العيون المنتشرة بالواحة تشير إلى نسبة ملوحة تصل إلى2560 جزء في المليون ، مما يعنى صعوبة استخدام تلك المياه بهذه الخصائص للاستعمالات المختلفة سواء للاحتياجات الخاصة بالشرب أوالزراعة ، الأمر الذى يترتب عليه حقيقة مؤداها أن خصائص تلك المياه لابد وأنها قد تغيرت بشكل كلى بعد تلك الفترة الرومانية أو على الأكثر حتى القرن السابع الميلادى كما يرى بعض الباحثين (طريح شرف، 1985، 91 : 92).

ج- الأدلة التاريخية :

على صعيد الدراسات التاريخية، توجد إشارات عديدة تفيد اتساع رقعة أرض " التحنو" أو أرض الزيتون، والتى تشمل الإقليم الممتد بين مريوط والبحرية وواحة سيوة وبرقة وبهذه الحدود فإن منخفض العرج يقع ضمن هذا الإقليم . ولقد اشتهرت أرض " التحنو" بغناها من الموارد الطبيعية، حيث سجل الملك " مينا " – أحد ملوك الأسرة الأولى منذ 5546 ق.م – أنه عاد من حروبه ضد السكان الليبين بأرض التحنو بغنائم قوامها 120.000 أسير ، واستولى على 400.000 رأس من البقر ، وعشرات الملايين من الغنم والماعز.

وفىعهد الاسرة الخامسة (2494ق.م – 2230 ق.م) غنم الملك "ساهورع" من نفس المنطقة حوالى 123440 ثور ، 233400 حمار ، 232413رأس ماعز ، 243688 رأس غنم (أحمد سليم ، وسوزان ، 1991 ، 145 : 148) ، وتكمن أهمية تلك الإحصاءات فى أنها بمثابة إشارات واضحة على غنى هذا الإقليم بالحشائش الطبيعية حتى أنها لتعول البقر والثيران والتى لولا توافر موارد المياه لما كانت تلك الحياة.

2- التطور الجيومورفولوجى :

فى ضوء ما تقدم من أدلة ، يمكن وضع تصور للتطور الجيومورفولوجى والمراحل المختلفة التى مر بها منخفض العرج بالهضبة الغربية حتى أخذ صورته الحالية على النحو التالى:

- بدأت المرحلة الأولى من حفر المنخفض عقب انتهاء الحركة الأرضية التى انتابت الأجزاء الشمالية من مصر فيما بعد عصر الميوسين الأعلى، ونجم عنها تشكيل محدب غاطس ذى محور شمالى غربى . جنوبى شرقى ، والمعروف بمحور طية العرج – البحرين – قور حسانين، وقد صحب تشكيل تلك الطية نشوء قوى شد على جانبيها نجم عنها تشكيل العديد من نظم

الفواصل التى تنتظم فى مجموعتين ، الأولى : ذات محور شمالى شرقى جنوبى غربى ، والثانية : ذات محورشمالىغربى جنوبى شرقى .

- بحلول عصر البليستوسين بدأت تتعاقب على المنطقة فترات من الرطوبة والجفاف ، ولقد تأكد حدوث تلك الفترات فى مناطق تقع على نفس دائرة عرض منخفض العرج بشمالى المملكة العربية السعودية والهضبة الكبرى الأفريقية (عبد الله الوليعى ، 1988 ، 38 : 39؛ جودة ،2000، 234: 235 ؛ Huzayyin,S.,1941, 59: 60)

وقد كانت الفترات المطيرة التابعة للبلايوسين الأعلى والبليستوسين الأسفل ذات أهمية كبيرة من وجهة النظر الجيومورفولوجية ، حيث تشكل على إثرها العديد من نظم التصريف المائى بالمناطق الجافة والتى مازالت أثارها موجودة حتى الآن .

ويرى الباحث أن مياه تلك الفترة المطيرة كان لها ثلاثة أوجه للتأثير فى المنطقة :

- **الوجه الأول** : بداية تشكيل وظهور نظامين للمجارى المائية التابعة ، يفصل بينهما خط تقسيم مياه يتمشى مع محور الطية الذى يكاد ينصف المنخفض الحالى ، وكان أحد النظامين يتجه صوب الشمال الشرقى ، والآخر صوب الجنوب الغربى ، وبالطبع فإن تلك النظم كانت من النمط التابع الأولى الذى يتمشى مع الانحدار العام ، وفى ذات الوقت يتتبع مواضع الضعف الجيولوجية المتمثلة فى نظم الفواصل .
- **الوجه الثانى للتأثير** : تمثل فى بداية ظهور منخفضات صغيرة فوق سطح التكوينات الميوسينيةالصلدة بفعل عمليات الإذابة والتحلل الكيميائى على طول خطوط الفواصل ، والتى سرعان ما يندمج بعضها مع بعض لتكون منخفضات أوسع وأعمق ، ومن ثم يضاف معظم نتاجها المذاب كمحلول أرضى من خلال الشقوق والفواصل .
- **الوجه الثالث** : تسرب المياه إلى باطن الأرض ، خاصة وأن معظم التكوينات الجيرية على طول التتابع الطبقى يشيع بها نظم الفواصل الرأسية ، ومن ثم فإنها تتقابل مع مياه العيون المنبثقة من تكوينات الإيوسين الأوسط (الطبقة الحاوية للمياة الجوفية أسفل رواسب قاع المنخفض) ولكل منهما تأثيره فى عملية النحت المحلولى والتقويض الينبوعي Exsudation & Spring sapping الفرصة مواتية لتشكيل كهوفٍ ومجار باطنية تمثل أماكن ضعف ، ما تزال تتسع وتتشعب وتسترق سقوفها ثم تنهار ، وهذا يتفق مع ما توصل إليه " جودة " فى دراسته لمنخفض واحة مرادة بالأراضى الليبية (جودة ، 2002 ، 263 : 264).

بنهاية البليستوسين الأسفل بدأ الجفاف يحل بالمنطقة ، وبدأت حافات الجانب الجنوبىالغربى – التى تشكل واجهة كويستا سلمية عند خطوط التماس الجيولوجى بين التكوينات الجيولوجية المختلفة

– فى الوضوح، يعلو واجهاتها آثار مهمة للمجارى المائية التى تعد المسئول الرئيسي عن تراجعها فى هذا الاتجاه ولعل التلال الجزيرية والشواهد الصحراوية والأكمات التى توجد عند أسافل كل مستوى من مستويات تلك الحافة بمثابة الدليل الدامغ على هذا التراجع ، وعمليات توسيع المنخفض .

وفى الوقت نفسه بدأت الرياح بإزالة المواد الهشة التى سبق إذابتها فى المرحلة السابقة ولم تضاف كمحلول إلىالمياه الباطنية .

واتصفت الفترات المطيرة التى تعاقبت على المنطقة بنشاط الجريان السطحى الذى صاحبه تجديد نشاط المجارى المائية وتكوين نقاط تجديد على قطاعاتها الطولية ودرجات نهرية على قطاعاتها العرضية ،ودأبت تلك المجاري في تشكيل حافات جوانب المنخفض وإلقاء حمولتها عند مستوى قاعدتها بقاع المنخفض لتشكل الرواسب البحيرية التتقع على منسوب(16–18متراً) فوق قاع المنخفض الحالى ، والعمل على رفع منسوب المياه فى بحيرات قاع المنخفض كما دأبت تلك المياة الجارية فى إزالة الأجزاء البارزة– من الأنماط المختلفة للتلال الجزيرية – فوق الأسطح المستوية الموجودة عند أسافل المستويات المختلفة للحافات والعمل على توسيع المنخفض.

وغنى عن الذكر أن عمق المنخفض وأبعاده ارتبطت إلى حد كبير بمستوى الماء الجوفى ، فقد أشار " Ball, J.; 1933" عند دراسته لمنخفض القطارة – الواقع إلى شمالى منخفض العرج – أن الرياح تستمر فى عملها فى تعميق المنخفضات عن طريق النحت الرأسى حتى تتوقف عند حد معين تعمل عنده الطبقات المشبعة بالمياه الجوفية على توقف تلك العملية (Ball, J.; 1933, 292).

ويتضاءل فعل الرياح فى تعميق المنخفض بانكشاف الطبقة المشبعة بالمياه ، إلا أن تجمع المياه الجوفية والسطحية فى قاع المنخفض يسهمان فى تنشيط فعل الإذابة بوجه عام على سطح القاع ، وهذا بدوره يساهم فى زيادة العمق وتعقيد الوسط الكيميائى، الذى يسانده نشاط العمليات الكيميائية من أسفل إلى أعلى فى إرساب بعض المواد المعرضة للتحلل داخل هذا الوسط الكيميائى المعقد .

ويرى" جاد " أن انخفاض مستوى الماء الجوفى عن مناسيب قاع المنخفض –نتيجةً للذبذبات فى مستوى سطح البحر المتوسط الذى يغطى المخرج الشمالى لهذه المياه – يتيح الفرصة لتسرب بعض ما قد يتجمع من مياه التساقط إلى اتجاهات سفلية ، وهذا يسهم فى انتقال بعض المواد المتحللة من قاع المنخفض باتجاه الماء الجوفى ومن ثم تعميق المنخفض .(طه محمد جاد، 1991، 88).

وثمة ملاحظة مهمة من دراسة الخريطة الكنتورية لإقليم المنخفض (شكل 1ب) مؤداها أنه كلما زاد عمق المنخفض قلت المساحة، ومن ثم تناقص كمية المواد التى تم إزالتها ، وهذا ما يتفق مع ما أورده " صفي الدين " فى ملاحظته حول منخفضات الهضبة الغربية التى تتميز كلها بأنها واسعة

عند أطرافها العليا وتضيق بالاقتراب من أخفض جهاتها ، وأرجع هذا إلى أن الطبقات الجيولوجية يزداد تشبعها بالماء بمعدل واضح بالتعمق فى باطن الأرض والاقتراب من المستوى الدائم للمياه الجوفية (صفى الدين أبو العز، 1966، 369).

ومنذ حوالى 2500 ق.م بدأ الجفاف الدائم يحل بالمنطقة وحتى الوقت الحاضر ، لتسود عوامل وعمليات تشكيل مختلفة كل الاختلاف عن ذى قبل ، يأتى فى مقدمتها سيادة شبه تامة لفعل الرياح التى شكلت سطح حقل الرمال الواقع شرق المنخفض وألقت بحمولتها على واجهات حافات المنخفض وقاعة ،وبالطبع مازالت وستظل العامل الرئيس فى تشكيل المنخفض فى ظل سيادة ظروف الجفاف.

وخلاصة القول أن هذا التطور لنشأة منخفض العرج وتطوره بهضبة مصر الغربية يتمشى مع الإطار العام الذى انتهت إليه بعض الدراسات التى أجريت حول نشأة وتطور بعض منخفضات الهضبة الغربية والليبية ، سواء المجاورة لإقليم المنخفض أو على المستوى العام للمنخفضات ومن بينها دراسة كل من :

Ball, J., 1933, 289 : 292 ; Knetsch, G.; & Yallouze, M.;1955, 21 : 33 ; Said R., 1960, 42 : 43 ; El Ramly , I., 1966 , 552 ; Abdel - Rahman , M., et al, 1980 , 37 : 40; El bassyony , A., 1995, 97-99

عبد العزيز عبد اللطيف يوسف ، 1977 ، 193 :211؛ منى عبد الرحمن الكيالي، 1980، 181 : 185؛ طه محمد جاد ، 1991 ، 67 : 92 ؛ محمد مجدى تراب ، 1997 ، 95 : 122؛ محمد مجدى تراب ،2000، 291 : 292 ؛ جوده ، 2002، 263 : 264.

وإن كان بعض هؤلاء الباحثين قد آثر تغليب عامل على آخر، إلا أنهم أجمعوا على ضرورة أن تكون نقطة البدء فى نشأة منخفضات الهضبة الغربية كامنة في توافر بيئة جيولوجية بها عيوب – سواء أكانت مواضع طيات أم صدوعاً أم فواصل أم مواضع تماس جيولوجى – تصلح مهداً لنشاط عوامل التشكيل الخارجية وتفعيلها.

النتائج والتوصيات :

اتضح من الدراسة الجيومورفولوجية لمنخفض العرج بهضبة مصر الغربية مجموعة من النتائج والتوصيات يمكن إجمالها فيما يلى:

تأثر المنخفض بالخصائص الجيولوجية سواء المرتبطة بالتكوين أو التركيب، وظهور العديد من الأشكال الأرضية ذات الارتباط الوثيق بكل منهما، مثل نقاط القطع الصخرية على قيعان الروافد، والأرصفة البنيوية على واجهات الحافات ومنحدرات جوانب التلال الجزيرية وبنية الطبقات المائلة

على جوانب المنخفض والتى تشكل الكويستا السلمية، خاصة على الجانب الجنوبي الغربى للمنخفض، بالإضافة إلى المجارى المائية خطية المظهر.

تنوع عوامل وعمليات تشكيل الظاهرات بالمنخفض سواء في الماضي أم الحاضر ، والذى انعكس بصورة مباشرة على تنوع الوحدات الأرضية والعناصر المشكلة لها ووضوح الحدود الفاصلة فيما بينها.

التراجع شبه المتوازى لمنحدرات جوانب المنخفض دلالةً على التجانس فى التركيب الصخرى والعامل والعملية فى محيط كل مستوى من مستويات جوانب المنخفض .

عظم الدور الذى ساهمت به عمليات الإذابة المختلفة – سواء فى الماضى أو الحاضر – فى تشكيل إقليم المنخفض ونشأته ؛ حيث يعزى إليها الدور الأكبر فى مراحل تطور المنخفض كافة ،ومحدودية الدور الذى لعبته الرياح بوصفها عامل نحت فى حفر المنخفض ونشأته وتشكيله بدليل وجود سمك من الرواسب الدقيقة جداً – التى يتشكل منها قاع المنخفض – حيث يصل سمكها إلى 12 متراً فى المتوسط ، والتى عجزت الرياح عن تذريتها لشدة تماسكها الناجم عن ارتفاع محتواها الرطوبى .

تعقد الوسط الكيميائى بقاع المنخفض الذى انعكس على تشكيل الوحدات الثانوية فوق القاع ، وخاصة فيما يتعلق بتباين الخصائص الكيميائية والطبيعية للرواسب المشكلة لها .

تسهم الرياح – بوصفها عامل إرساب – فى طمس ظاهرات عديدة وإطمائها بأرجاء المنخفض ، بالإضافة إلى تشكيل وحدات أرضية جديدة لم يكن لها وجود فى الفترات الرطبة، خاصة على الجانب الشرقى للمنخفض حيث يوجد حقل الرمال.

كما توصى الدراسة بعدد من التوصيات نجملها فيما يلى :

توجيه الدراسات الجيومورفولوجية ودفع ركاب المتخصصين جهة تخريط تلك الأقاليم النائية ودراستها ،بهدف استكمال الصورة الحقيقية والبحث عن أدلة أوفر وأوضح تفيد فى تتبع العديد من المشكلات البحثية التى مازالت فى طى المجهول، وخاصة المتعلقة بدراسات الزمن الرابع بداخلية صحارى مصر.

استحداث تخصص جديد من شأنه دعم السياحة الصحراوية بمصر، وهو الإرشاد السياحى الجيومورفولوجى ، فإذا ما كان السائح ينبهر بأصالة التاريخ البشرى للمصريين القدماء من خلال دراسة الحفريات والآثار – وهى أدوات يستخدمها المرشد السياحى فى مجال الآثار – فإن طائفة مهمة بدأت تفد إلى مصر وهم سائحو السفارى والمناطق الصحراوية ، والذين يجدون فيما يقدمه مرشد جيومورفولوجى حول الأشكال الأرضية والمناظر الطبيعية الخلابة الإجابة على استفسارات عدة

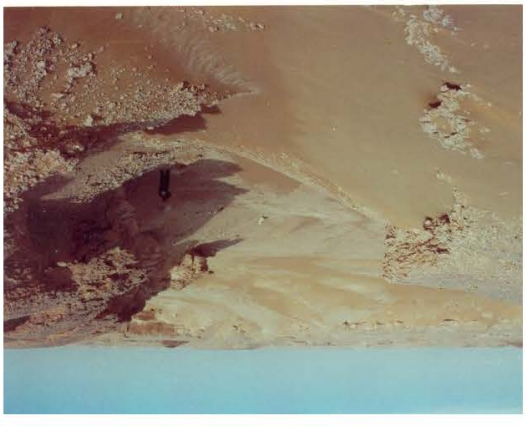
تزيد الانبهار وتزيل الغموض حول ما يراه هؤلاء السائحون فى صحارينا المصرية من ظاهرات أرضية ، وتصبح الخريطة الجيومورفولوجية فى موضع يضاهى الخريطة السياحية.

إن واحة العرج كانت ومازالت منطقة غنية ومسرحاً صالحاً للجغرافيا السياحية ، فهى تتسم بشخصية متميزة وفريدة تجعلها مصدر جذب بذاتها ، حتى ولو لم تتوافر لها وسائل الجذب التقليدية ، ومن ثم فالدراسة تؤكد على أن استغلال الواحة سياحياً سيكون بمثابة منتجع سياحى جديد يضاف إلى خريطة مصر السياحية ، وبخاصة فيما يتعلق برحلات السفارى وكل من السياحة الحجرية والعلاجية (حيث المقابر الحجرية الرومانية وبحر الرمال الشرقى).

إن موقع الواحة بين واحتى سيوة والبحرية من الممكن أن يجعل منها مركزاً تخرج منه وتعرج إليه العديد من الرحلات ، وربما كان فى اسمها – واحة العرج – ما يدل على أنها كانت تقوم بوظيفة محطة تجارية تعرج إليها ومنها رحلات طريق التجارة القديم ، ومن ثم تعود إلى سيرتها الأولى.

صورة (1) : درجات صخرية من الحجر الرملي وتساقط وزحف صخر بين حافة باكو، ناظراً صوب الشمال.

صورة (2) : تل مخروطي القمة سلمي الجوانب عند حضيض حافة باكو الميوسينية، ناظراً صوب الجنوب الغربي.



صورة (3) : مجرى مائي جاف بنطاق حافة هضبة باكو الميوسينية، ناظراً صوب الشمال الشرقي.

صورة (4) : شواهد وتلال مزدوجة وجزر صخرية بنطاق حافة الايوسين الأعلى، ناظراً صوب الشمال الشرقى.

صورة (5) : مجرى مائى جاف بنطاق حافة الايوسين الأوسط، ناظراً صوب الشرق.

صورة (6) : درجات صخرية على جانب مجرى جاف بنطاق حافة الايوسين الأعلى، ناظراً صوب الجنوب الغربى.

صورة (7) : تجمعات رملية ورأس أرضية بنطاق حافة الايوسين الأوسط، ناظراً صوب الجنوب الغربى.

صورة (8) : التل الجنوبى بمنطقة المقابر الحجرية كما يظهر عند أسفله الدرجات البحيرية، ناظراً صوب الجنوب الغربى.

صورة (9) : تتابع شبه متوازى من التلال القبابية بنطاق حافة الأيوسين الأعلى، ناظراً صوب الجنوب الغربى.

صـــورة (10) : الحافـة الجنوبيـة الشـرقية للمـنخفض، نـاظراً صـوب الجنوب الشرقى.

صورة (11) : عين الصبايا، حيث يظهـر المسطح المـائى المكشـوف والمســتنقعات المحيطــة والكثبــان الحلقية، ناظراً صوب الغرب.

صـــورة (12) : كثبــان هلاليــة ومعقدة بـالطرف الجنـوبى الشـرقى لحقــل الرمـــال، نـــاظراً صـــوب الشمال.

1

2

3

ملحق (4) : الموقع الفلكى لمحطات الدراسة الميدانية.

المحطة	الإحداثي الشمالى			الإحداثي الشرقى		
الهامش الخارجى للسبخة الحافة	38.5 ً	53 َ	28 ْ	17.5 ً	24 َ	26 ْ
سطح السبخة الجافة	37.3	53	28	19.8	24	26
الهامش الخارجى للسبخة الرطبة	37.2	53	28	24.9	24	26
سطح السبخة الرطبة	44.3	53	28	29.5	24	26
المستنقع المائى	46.9	53	28	54.6	24	26
المستنقع المائى	46.9	53	28	44.04	24	26
الهامش الخارجى لعين المياة	.46	53	28	50.9	24	26
حافة هضبة باكو	15.5	56	28	22	18	26
حافة هضبة باكو	00	56	28	25.13	18	26
حافة المغرة	22	56	28	11.7	19	26
حافة الإيوسين الأعلى	29	56	28	36	19	26
حافة الإيوسين الأوسط	29	56	28	2.7	20	26
تلال مقدمات حافة باكو	57	52	28	45	21	26
مقابر أثرية	40	53	28	14	24	26
مقابر أثرية ودرجات بحيرية	40	53	28	20	24	26
كثبان رملية ثابتة	47	53	28	22	24	26
نقطة الأصل لدراسة حاله الكثبان	37	52	28	34	27	26

المصدر : القياس باستخدام جهاز G.P.S

5

6

7

المصادر والمراجع

أولاً : المصادر والمراجع باللغة العربية :

- أحمد أمين سليم ،وزان عباس عبد اللطيف ، 1991 ، دراسات في تاريخ مصر الفرعونية ، منذ أقدم العصور حتى بداية الدولة الحديثة ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية.

- أحمد عبد السلام علي ، 1999 ، جيومورفولوجية الكثبان الطولية شمال شرق منخفض البحرية ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد الرابع والثلاثون ، الجزء الثاني ، 323 – 366.
- إدارة المساحة العسكرية ، مشروع التصوير الجوي VV ASC M10 EAO ، مقياس 1 : 60.000 ، الصـــور أرقـــام 1712 ، 1713 ، 1714 ، 1840 ، 1841 ، 1842 ، 1843 ، 1878 ، 1879 ، 1880 ، 1881 ، 1882 ، 1991 ، تصوير عام 1954.
- ـــ ، 1985 ، أطلس مصر الطبوغرافي ، مقياس 1 : 250.000 ، لوحتي سيوة والبحرين.
- ـــ ، 1986 ، أطلس مصر الطبوغرافي ، مقياس 1 : 100.000 لوحات عين تبغبغ ، واحة سيوة ، البحرين ، قارة الدبور.
- أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا ، مركز الاستشعار من بعد ، أطلس فضائي جمهورية مصر العربية، الطبعة الأولى ، الجزء الأول ، لوحة البحرين مقياس 1 : 250.000.
- جودة حسنين جودة ، 2000 ، الجغرافيا الطبيعية للزمن الرابع "زمن الجليد والمطر" ، الطبعة الثالثة ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية.
- ـــ ، 2001 ، الجيومورفولوجيا ، الطبعة الثانية ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية.
- ـــ ، 2002 ، صحاري العرب ، دراسات في الجغرافيا الطبيعية ، دار المعرفة الجامعية الإسكندرية.
- صابر أمين دسوقي ، 2000 ، الكثبان الطولية شرقي قناة السويس : تحليل جيومورفولوجي ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد الخامس والثلاثون ، الجزء الأول ، 231 – 280.
- طه محمد جاد ، 1991 ، أضواء على التطور الجيمرفولوجي لمنخفضات الهضبة الغربية بمصر ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد الثالث والعشرون ، 67 – 92.
- عبد العزيز شرف ، 1985 ، مناخ أواخر البليستوسين والتغيرات التي طرأت عليه خلال العهود التالية حتى أواخر القرن التاسع عشر ، الكتاب الجغرافي السنوي ، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية ، السنة الأولى ، العدد الأول ، 81 – 107.
- عبد العزيز عبد اللطيف يوسف ، 1977 ، منخفض الفيوم ، دراسة في الجغرافيا الطبيعية ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة عين شمس.
- عبد الله بن ناصر الوليعي ، 1988 ، تغيرات المناخ في المناطق الجافة : دراسة حالة المملكة العربية السعودية ، الكتاب الجغرافي السنوي ، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية ، السنة الرابعة ، العدد الرابع ، 31 – 85 .
- علي حسن موسى ، 1989 ، مناخات العالم ، دار الفكر ، دمشق.
- محمد صفي الدين أبو العز ، 1966 ، مورفولوجية الأراضي المصرية ، الطبعة الأولى ، دار النهضة العربية ، القاهرة.

- محمد مجدي تراب ، 1997 ، الخصائص الجيومورفولوجية لمنطقتي قارة أم الصغير ومنقار أبو دويس بالهوامش الشمالية الغربية لمنخفض القطارة ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد التاسع والعشرون، الجزء الأول ، 95 – 122 .
- ـــ ، 2000 ، تحليل منحدرات الهوامش الشمالية والغربية لمنخفض جغبوب بليبيا، المجلة الجغرافية العربية ، العدد السادس والثلاثون ، الجزء الثاني ، 267 – 307.
- محمد محمد عبده وصيف ، 2000، ظاهرة التصحر وانجراف التربة (المسببات – المشاكل– الحلول) ، مجلة الأرصاد الجوية، العدد الخامس عشر ، 35– 44 .
- محمد محمود طه ، 2000 ، منخفضات الهضبة الجيرية فيما بين وادي النيل والخارجة ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد السادس والثلاثون ، الجزء الثاني ، 217 – 266.
- محمود محمد عاشور، 1992 ، الأشكال الرملية في مصر ، ضمن البرنامج التدريبي عن تثبيت الكثبان الرملية والتشجير 5 – 11 ديسمبر 1992 ، مركز بحوث الصحراء ، القاهرة ، 187 – 219.
- محمود يوسف عفيفي ، 1992 ، تربة الكثبان الرملية وأهمية دراستها في برنامج التثبيت ، ضمن البرنامج التدريبي عن تثبيت الكثبان الرملية والتشجير 5 – 11 ديسمبر 1992 ، مركز بحوث الصحراء ، القاهرة ، 39 – 62.
- منى عبد الرحمن الكيالي ، 1980 : منخفض البحرية ، دراسة جيمورفولوجية ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب جامعة عين شمس.
- نبيل سيد امبابي ، 1972 : أشكال السفوح ، المجلة العربية الجغرافية ، العدد الخامس ، 74 –94.
- نبيل سيد امبابي ، محمود محمد عاشور ، 1983 ، الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر ، الجزء الأول، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية ، جامعة قطر ، الدوحة.

ثانياً: المصادر والمراجع باللغة الإنجليزية :

- Abdel - Rahman, M.A; Embabi, N.S.; El – Etr, H.A. and Mostafa, A.R.,: 1980 : Some geomorphological aspects of Siwa depression, The Western desert, Egypt, Bull . Soc . Geogr . DEypte, Tomes L III - L IV , 17 - 42.
- Abed , W.T., 1998 : The other Egypt , Cairo , Egypt.
- Ashour , M.M., 1995 : A report on the field trip in the Western desert of Egypt , Bull . Soc . Geogr. DEgypt , Vol . 68 , 5-31.
- Baajens , A. , 1997: Geographical observation in the western desert of Egypt , Bull . Soc . Geogr. DEgypt , Vol. 70 , 203 - 213.
- Bagnold , R.A., 1933 : A further journey through the Libyan desert, Geogr., Jour., Vol. LXXXII No. 2, 103-129.
- Ball, J., 1933, The Qattara depression of the Libyan desert and the possibility of its utilization for power production , Geogr., J., Vol. LXXXII , No. 4 , 289 - 314.

- Cooke , R. ; Warren , A.., and Goudie , A, 1993: Desert geomorphology, Clays Limited , England.
- El – Ramly , I.M., 1966 : New light of the origin of the natural lakes south Qattara depression, Western desert , U.A.R , Desert institute , Cairo.
- El Bassyony , A.A., 1993 : Introduction to the geology of Qattara depression, An international conference on the studies and achievements on Geosciences in Egypt, 5-8 April 1993 , The geological survey of Egypt , special publication No. 69 , Cairo.
- Embabi , ,N.S., 1995 : Types and patterns of sand dunes in Egypt, Bull. Soc. Geogr. DEgypt , Vol. 68 , 57 - 89.
- Fakhry , A., 1939 : The tombs of El-Areg oasis in the Libyan desert , annals du service , Vol. 39 , 609 -619.
- Gardiner , V., 1975 : Drainage basin morphometry, Brit., Geomorph. Rec - Group Tech. Bull. 14 . Norwich Geo., Abstracts
- Huzayy in, S.A., 1941 : The place of Egypt in prehistory , Cairo.
- Knetsch , G. and Yallouze , M., 1955 : Remarks on the origin of Egyptian oasis - depression , Bull . Soc. Geogr. Degypt, Tome XXVIII , 21-33.
- Meteorological Authority, Climatological normal for the Arab Republic of Egypt up to 1975 , Cairo.
- Meteorological Authority, Wind rose table for Station 418 and 420, Period 68 - 1998 , Cairo , Egypt.
- Moustafa, A.M.,1993: Pedological studies and computer applications on soil developed in deposits around lake Idku, PH.D Thesis, Faculty of Agri., Alex., Univ., Egypt.
- Said , R., 1960 : New light on the origin of the Qattara depression , Bull. Soc . Geogr DEgypt, Tome XXXIII, 37 - 44.
- The Egyptian general petroleum corporation , 1986 : Geological map of Egypt , Scale 1 : 500.000 , NH 35 SW , Siwa , Cairo , Egypt.
- The Egyptian Geol ., Surv., & Mining Authority , 1988 : Geological map of Siwa scale 1 : 250.000 , Egypt.
- Wilson , S. J.& Cooke , R.U. , 1980: Wind erosion : in Kirkby , M. J. & Morgan, R. P.C. (eds) Soil erosion , Jhon Wiley & Sons Ltd ., Chichester , England

* * *

أقطاب ومراكز النمو بين النظرية والتطبيق

د. أحمد محمد عبد العال*

مقدمة :