جامعة المنوفية
مركز البحوث الجغرافية
والكارتوجرافية
بمدينة السادات

مجلة مركز البحوث الجغرافية
والكارتوجرافية

العدد الثاني عشر

الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح في الصحارى العمانية

دكتور

أحمد عبد السلام على

أستاذ الجيومورفولوجيا المساعد
بجامعتي السلطان قابوس والمنوفية
E mail : salam@squ.edu.om

المحتويات

مقدمة:

أولاً: العوامل المؤثرة في تشكيل ظاهرات النحت الريحية.

ثانياً: ديناميكية النحت وقدرة الرياح على التشكيل.

ثالثاً: الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح.

رابعاً: الخاتمة.

خامساً: قائمتي المراجع العربية والأجنبية.

مقدمة:

لا نبالغ إذا قلنا أن المكتبة العربية والأجنبية العمانية تفتقر إلى الدراسات الجيومورفولوجية بالصحارى العمانية خاصة أثر الرياح كعامل نحت، على الرغم من أن دور الرياح يعتبر هو وعاملي التعرية النهرية والكارستية الأهم في تشكيل السطح العماني. ويختلف عمل الرياح كعامل جيومورفولوجى عن بقية عوامل التعرية، فالرياح أقل كثافة من المياه والجليد وبالتالي أقل منهما قوة، ولكن تتفوق عليها في التغلب على الجاذبية الأرضية، كما أن تأثيرها يكون في نطاق ومساحات أوسع. يتكون العديد من الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح في أجزاء متفرقة من الصحارى العمانية، وتتمثل أهمية هذه الدراسة وأهدافها في التعرف على خصائصها وأماكن تواجدها وأثر الرياح في تشكيلها والعوامل المؤثرة عليها.

لعل موقع عمان الفلكي والنسبي ووقوعها في منطقة التقاء عدد من نظم الضغط الجوى المختلفة له من الأثر الواضح على تعدد نظم الرياح المختلفة في اتجاهاتها وسرعاتها، وكان لها آثار واضحة على السطح العماني، وتشكلت ظاهرات جيومورفولوجية ناتجة عن الإرساب والنحت على حد سواء، فعلى امتداد الصحارى العمانية يوجد كم هائل من الرمال، متمثلة في بحر رمال الشرقية (آل وهيبة سابقاً) وبحر رمال الربع الخالي، ورمال سهل الباطنة، ورمال الشواطئ الجنوبية. كل هذه الرمال تعتبر مصدراً جيداً للمعاول التي تعمل بها الرياح أثناء حركتها . ونتيجة للتنوع الكبير في التكوينات الجيولوجية بين الصخور النارية والرسوبية والمتحولة وبين القشرة المحيطية والقارية، أدى ذلك بطبيعة الحال إلى تنوع كبير في الأشكال الأرضية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح وتوزيعها على معظم مناطق عمان، لذلك فقد توفرت الضوابط اللازمة لعملية النحت بواسطة الرياح في سلطنة عمان، من حيث قابلية السطح للنحت وقدرة الرياح عليها، كذلك تلعب طاقة الرياح دوراً كبيراً في تكوين الأشكال حيث أن المناطق التي تظهر فيها هذه الأشكال تتميز بحمولة زائدة من الرمال المتحركة.

ويتناول البحث دراسة الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح وعلاقتها باتجاهات الرياح السائدة والتراكيب الجيولوجية. سواء تلك الأشكال الجيومورفولوجية كبيرة الحجم والتي تتراوح أطوالها بين الأمتار والكيلومترات، أو الأشكال الصغيرة التي قد تصل أطوالها إلى ملليمترات أو سنتيمترات. وتتمثل أهم تلك الأشكال الجيومورفولوجية في الأرصفة الصحراوية Pavement Desert،

والياردنج Yardangs، والصخور الارتكازيةPedestal Rocks، والحصى المشطوف Ventifacts، وثقوب الرياح الدائريةWind Caves – Wind Blowouts، إضافة إلى بعض الأشكال الأخرى مثل الحزوز grooves وأسنان المنشار وعمليات صقل الصخور.

نظراً لعدم وجود دراسات سابقة عن عمليات نحت الرياح في سلطنة عمان فقد كان الاعتماد فى المقام الأول على الدراسات الميدانية التي امتدت خلال الرحلات الميدانية لمشروع زحف الرمال[١] نظراً لارتباط معظم أشكال النحت مع أماكن تواجد الكثبان الرملية، وقد تمت الدراسات الميدانية على مدى خمس سنوات من عام ٢٠٠٠ حتى عام ٢٠٠٤ . كما تم الاعتماد في جمع المادة العلمية على مجموعة من المصادر منها الخرائط الطبوغرافية مقياس ١/ ١٠٠٠٠٠، والخرائط الجيولوجية مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠، والمرئيات الفضائية للقمر الصناعي لاندسات، وبعض الصور الجوية مقياس ١/٢٠٠٠٠، وأطلس عمان للتربة General soil map of the sultanate of Oman

وسوف تتناول الدراسة الموضوعات الرئيسة التالية:-

أولاً: العوامل المؤثرة في تشكيل ظاهرات النحت الريحية.

ثانياً: ديناميكية النحت وقدرة الرياح على التشكيل.

ثالثاً: الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح.

رابعاً: الخاتمة.

خامساً: قائمتي المراجع العربية والأجنبية.

أولاً: العوامل المؤثرة في تشكيل ظاهرات النحت الريحية في عمان

تعددت الدراسات التي تناولت فعل الرياح وتشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية، وقد تناولها العديد من الباحثين في صحارى مختلفة من العالم، ولعل دراسات Bagnold, Chepilتعد السباقة في كشف حقائق عديدة عن عمليات التعرية الريحية في فترة مبكرة. وعلى الرغم من ذلك نجد أن الدراسات التي تناولت عمليات النحت بواسطة الرياح لم تلق الاهتمام المناسب في دراسات الصحارى لعدم تقدير قدرة الرياح

[١] مشروع زحف الرمال أحد المشاريع الاستراتيجية الممولة من الجامعة، والباحث هو الباحث الرئيسي للمشروع، وامتد المشروع على مدى خمس سنوات تم خلالها القيام بالدراسات الميدانية في جميع مناطق السلطنة.

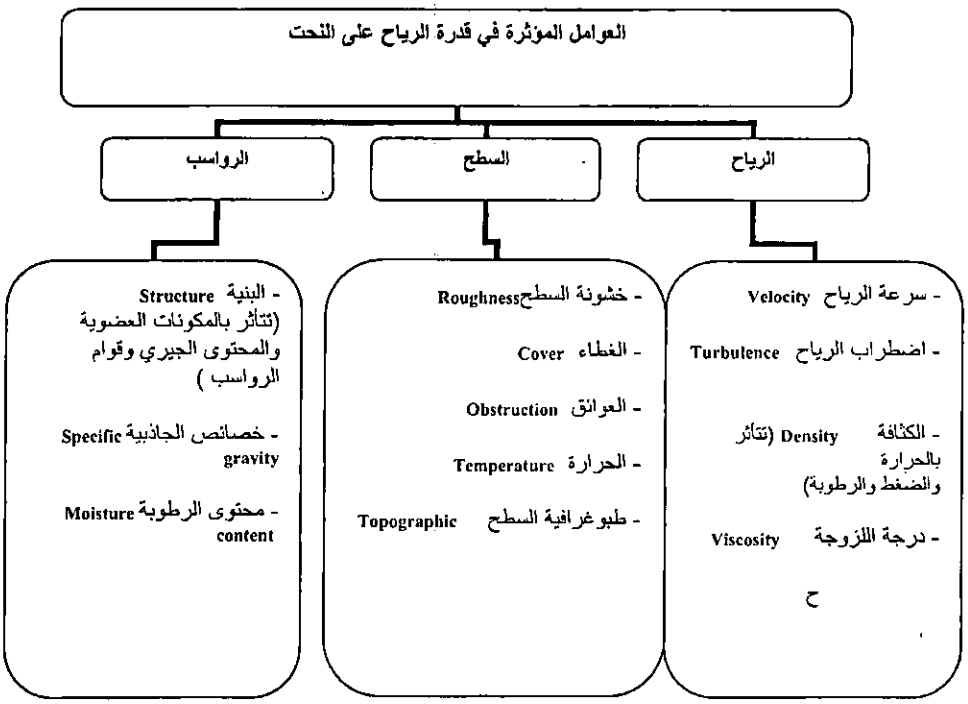
على التشكيل (Cooke, et al, 1994)كما أن القدرة على قياس عملية النحت ما زالت تحتاج إلى الكثير. ولذلك لم تحظى منطقة الدراسة التي نحن بصددها بهذا النوع من الدراسات، كما هو الحال في صحارى الجزيرة العربية، حيث لم تتناول أي من الدراسات الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت في عمان.

أما عن الدراسات السابقة التي تتناول العوامل المؤثرة في قدرة الرياح على التشكيل، وطاقة الرياح وعلاقتها بحركة الرواسب، وقدرتها على النحت، والمعادلات الرياضية والنماذج التي تحاول حساب هذه العمليات، إضافة إلى دراسة الأشكال، فقد تناولتها دراسات نذكر منها على سبيل المثال الدراسات التالية:

Udden, J.A.,1894; ; Chepil,W.S., 1939,1945 ; Bagnold,R.A., 1941; Kawamura,R., 1951 ;Zingg,A.W.,1952 ; Hsu, S.A., 1973; Cooke,R.U. &et al,1973 ; Marion,I.W.&Richard,V,D.,1973; John,F.L.,1973; Donald,O.D.,1977; Fryberger,S.G.,1978 ; Lettau,K. and Lettau,H.,1978 ; Ronald,O.S.,1983; Lancaster, N.,1984; Free, E.E, 1991; ; Cooke,R.U. &et al, 1994 .

لقد رأى الباحث أن يبدأ بمناقشة العوامل المؤثرة في التشكيل ثم بعد ذلك نتناول الأشكال، حتى يتثنى من خلال العوامل إيضاح طبيعة منطقة الدراسة وظروفها، كما سنناقش أيضا ظروف تشكيل كل ظاهرة ونشأتها وتطورها عند تناول كل منها. وتتوقف قدرة الرياح على النحت وتشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية على عدد من العوامل اتفقت عليها معظم الدراسات(شكل١)، من هذه العوامل ما هو ذا أثر رئيسي فى التأثير على قدرة الرياح على النحت مثل سرعة الرياح Velocity واتجاهاتها Directionواضطرابها Turbulenceوكذلك البنية الجيولوجية للسطح، بينما تعتبر عوامل أخرى ثانوية التأثير ولكن يصعب إغفالها.

تعتمد عمليات نحت الرياح على علاقات متبادلة ومتشابكة من العوامل السابقة الذكر، فقد يصبح أحد العوامل مساعد على النحت في بعض الحالات بينما في حالات أخرى يصبح معوقاً لعملية النحت، فعلى سبيل المثال نجد أن اضطراب الرياح يساعد على عملية النحت ويختلف ذلك تبعاً لخشونة السطح ونعومته (Chepil, W.S., 1945, p.305)، حيث تزداد عملية النحت ويزداد اضطراب الرياح على الأسطح الخشنة، بينما تضعف على الأسطح الناعمة عندما يكون متوسط سرعة الرياح كبيراً.



شكل رقم (١) العوامل المؤثرة في قدرة الرياح على النحت

المصدر: Chepil, W.S., 1945, p.305

وقد أوضح شبل أن كمية الرواسب التي يمكن أن يتحملها تيار الرياح تعتمد على كل من كثافة الهواء Densityوالسرعة ولزوجة الهواء Viscosity، وتتحدد كثافة الهواء بفعل الحرارة والضغط والرطوبة، كما أن اللزوجة تتوقف على الضغط في الحالات المرتفعة والمنخفضة جداً ولا تؤثر في الحالات الطبيعية (Chepil, W.S., 1945, p.475).

ويمكن تلخيص هذه العوامل المؤثرة على النحت في عاملين أساسيين رئيسيين هما قدرة الرياح على النحت Erosivity وهى تعتمد على طاقة الرياح.وقدرتها على النحت وفترات هبوبها، كذلك قابلية السطح العماني للنحت Erodibilityوهى تعتمد في الأساس على حجم ذرات الرمال التي تحملها الرياح ودرجة خشونة السطح وتضاريسه ورطوبة التربة وطبيعة الرواسب السطحية، كما يتأثر أيضا بالغطاء النباتي، وهو بطبيعة الحال يساعد على ارتفاع خشونة السطح ويقلل من تأثير الرياح بالقرب من سطح الأرض.

ويعتبر عامل تغير سرعة الرياح واضطرابها وتكرار هبوبها وتغير اتجاهاتها العامل الأكثر تأثيراً على المناطق التي تهب عليها، وتعتبر الرياح السريعة المضطربة هي المسئولة عن تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية، بينما الرياح الهادئة التي تتحرك على أسطح ناعمة فإن تيار الرياح يكون منتظماً وتأثيره محدود في تشكيل السطح، وتفقد الرياح جزء من طاقتها في رفع حبات الرمال عندما تتغلب قوة الرفع والقص والتصادم الناتج عن القذف على كل من الجاذبية ودرجة التلاحم والاحتكاك(محسوب، ١٩٨٤، ص٩٩، محسوب وديان، ١٩٨٩، ص١٦٣)

وتعتبر الأشكال الجيومورفولوجية الحالية بجانب أنها نتاج لعمليات جيومورفولوجية قديمة، فإنها تنتج عن تضافر مجموعة مختلفة من العمليات، فالأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح لا نستطيع أن نجزم بأن الرياح وحدها هي مصدر التشكيل، بينما تتعرض لبعض آثار الإذابة والتعرية النهرية في بعض المراحل، ويصعب بأي حال من الأحوال الفصل أو تحديد عمل كل منها نظراً لأنها عملية متكاملة، ولكن يمكن إرجاع هذه الأشكال إلى عامل نحت الرياح نظراً لما هو سائد في الوقت الحالي وانه العامل الأكثر وضوحاً وتأثيراً.

وفيما يلي سوف نتناول بالتفصيل مدى وضوح هذه العوامل المؤثرة في عمان وقدرتها على تكوين الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت.

١-خصائص تضاريس السطح العماني

تؤثر خشونة السطح على نظام نحت الرياح، وتتضمن الخشونة السطح الصخري وتباييناته، وكذلك توزيع النبات، فالسطح الناعم يتأثر بالنحت أكثر من السطح الخشن حيث يقلل هذا السطح من اضطراب الرياح نتيجة لعدم قدرتها على تخفيض سرعة الرياح السطحية، وقد أوضح شبل في إحدى التجارب أنه عندما بلغت سرعة الرياح ٣٠متر/ساعة بلغ معدل النحت على سطح ناعم ٢,١جرام/سم، بينما على سطح خشن بلغ المعدل ٠,٧جم/سم (Chepil, 1963,p.240). يتضح مما سبق أنه كلما زادت خشونة السطح فقدت الرياح جزءاً من سرعتها وضعفت مقدرتها على النحت. ولا يعتبر ذلك على الإطلاق حيث لا تعمل خشونة السطح دائماً على تخفيض معدل نحت الرياح خاصة إذا كان السطح قابلاً للنحت .

كما تلعب العوائق بصورها المختلفة دوراً بارزاً في اثر الرياح، حيث يمكن أن تغير العوائق التضاريسية اتجاهات الرياح وسرعاتها، فالتيار الهوائي عندما يحتجز أمام العائق يبدو عنيفاً بينما يضعف في الجهة المقابلة، كما يضعف بالاتجاه صعوداً وتتوقف على ما تحمله من رواسب، كما تزداد سرعة الرياح أثناء هبوطها خاصة على المنحدرات الشديدة (جودة، ١٩٩٨، ص١٨-١٩). ويتضح من دراسة السطح العماني أنه سطح متنوع بين الأسطح الخشنة والناعمة، وتتوزع به العوائق التضاريسية التي تلعب دوراً بارزاً في خصائص الرياح من حيث السرعة والاتجاهات، وفيما يلي سنوضح صورة لهذا السطح.

توضح خريطة تضاريس السطح العماني(شكل٢) تبايناً كبيراً بين أجزائه، كما توضح المدى التضاريسي الذي يزيد عن ثلاثة آلاف متر، ويمكن التعرف على العديد من السمات في **النقاط التالية:-**

- تمتد سلطنة عمان في شكل طولي من الشمال إلى الجنوب، وترتفع جبال عمان (جبال الحجر) في الشمال، وجبال ظفار في الجنوب، وينخفض السطح العماني فيما بينهما، وتوضح الخرائط مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠، ١/٥٠٠٠٠٠٠ أن جبال الحجر تنقسم إلى قسمين وهى جبال الحجر الشرقي وجبال الحجر الغربي، وتمثل امتداداً لجبال زاجروس في إيران. أكثر القمم ارتفاعاً في عمان هي قمة جبل شمس والتي تبلغ ٣٠٠٩متر عن مستوى سطح البحر، وتقع في جبال الحجر الغربي وتمثل إحدى قمم الجبل الأخضر، وتمثل قمة جبل بنى جابر (٢٠٠٣متر) أكثر القمم ارتفاعاً في جبال الحجر الشرقي. وتتدرج قمم جبال الحجر في الارتفاع حيث

القسم الأوسط منها هو أكثرها ارتفاعاً، ثم تتدرج في الانخفاض صوب شبه جزيرة مسندم شمالاً، وصوب جبال الحجر الشرقي في الجنوب الشرقي.

- تبرز جبال ظفار الانكسارية في جنوب عمان. وتطل هذه الجبال على سهل صلالة بحافة صدعية تمتد من الشرق إلى الغرب. وتتكون جبال ظفار بصفة عامة من ثلاث جبال رئيسية هي من الشرق إلى الغرب جبل سمحان (١٨١٢متر) وجبل قارة(٨٥٠متر) وجبل القمر(١١٩٥متر)، وتتكون هذه الجبال من الصخور الجيرية والكنجولوميرات مما أدى لظهور الكثير من الظاهرات الكارستية والعيون والشلالات.
- تتقطع جبال الحجر في الشمال وجبال ظفار جنوباً بمجموعة من الأودية الجافة العميقة، ويزيد عدد أحواض التصريف عن ١٠٠حوض تصريف يتجه بعض أوديتها لتصب في خليج عمان والبعض الآخر في بحر العرب، بينما البعض الآخر تصريفه داخلي جهة الغرب في رمال الربع الخالي، وتختلف نظم التصريف من حيث مساحة الأحواض وأطوالها وأعماقها، ومن حيث كثافة التصريف وكونه خارجي أم داخلي. ومن ابرز أودية شمال عمان وادي الجزى والحواسنة وخروص وسمائل والمعاول والعميرى والبطحاء والعين وعندام وعبري. أما أودية الجنوب العماني فأبرزها وادى صحنوت ونعر وارزات وعدو تب.
- تتوزع في الأراضي العمانية العديد من السهول المختلفة في تكويناتها ونشأتها (شكل٢)، فمنها السهول الساحلية والداخلية. ومن أشهر السهول الساحلية، سهل الباطنة الذي يمتد في شكل قوس في القسم الشمالي من عمان ويظهر ممتداً من خطمة ملاحة حتى رأس الحمراء حيث تقترب السلسلة الجبلية من الساحل ليختفي بذلك السهل. ويتكون السهل من مجموعة من المراوح الفيضية التي تتكون من رواسب مختلفة الأحجام تتراوح بين الطفل والحصى والجلاميد. ويعتبر سهل الباطنة من أكبر السهول الساحلية في عمان حيث تزيد مساحته عن ٥٠٠٠كم^{٢}. يتشابه أيضاً سهل صلالة مع سهل الباطنة في أنه يتكون من مجموعة من المراوح الفيضية وتبلغ مساحته حوالي ٥٠٠كم^{٢}، ويتدرج في الانحدار صوب البحر وتحدده جبال ظفار من جهة الشمال والشرق والغرب في صورة قوس ويمثل الجزء الهابط من الصدع، ويتكون من أسطح رملية وأخرى حصوية وصخور الكنجولوميرات. وسهل صوقرة من السهول الرملية والحصوية، وهو أقل اتساعاً من السهول السابقة، خلاف ذلك تكاد تختفي السهول الساحلية الكبيرة، بينما تتحدد بعض السهول الساحلية الصغيرة التي تمثل دلتاوات لبعض أودية جبال الحجر الشرقي

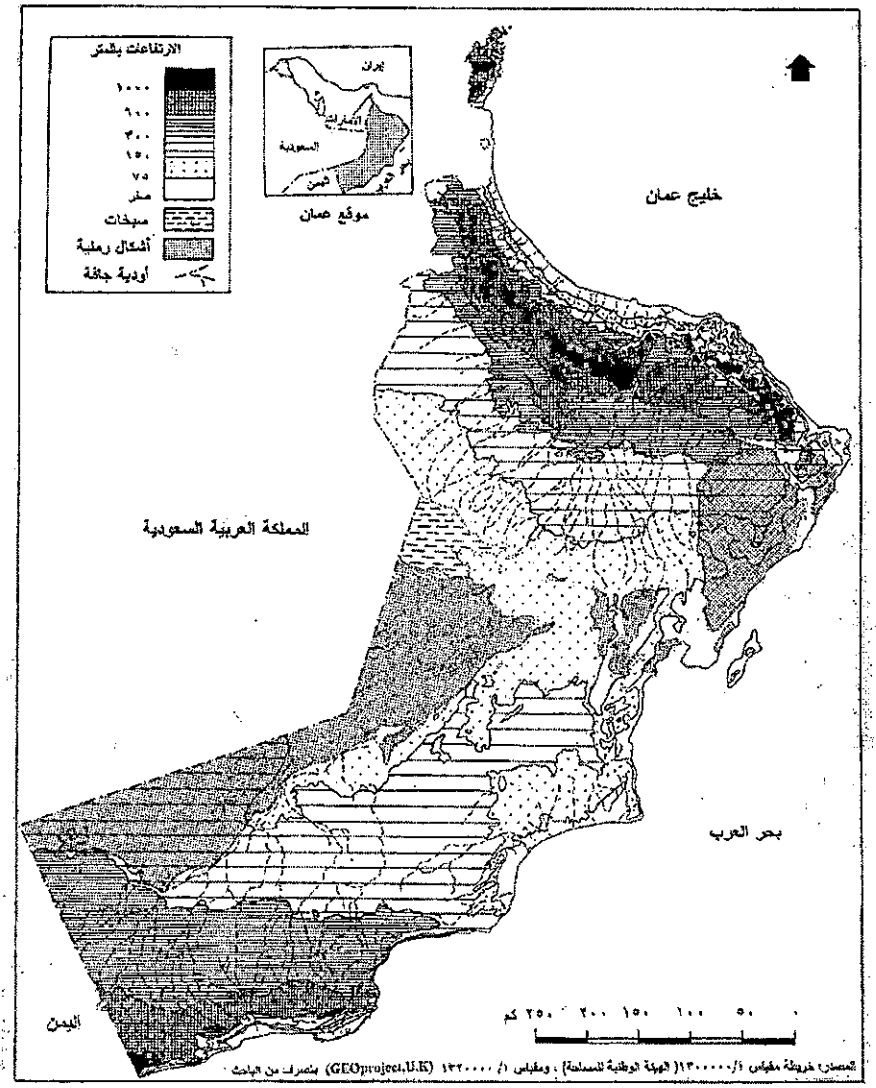
حيث تقترب الجبال من الساحل ولا تسمح بتكون سهول متسعة، أما عن السهول الداخلية فهي سهول فيضية تحيط بالمناطق الجبلية في الشمال والجنوب، وتتميز بأنها سهول حصوية تكونت من المراوح الفيضية للأودية التي تصرف داخلياً في المناطق الصحراوية.

- تتوزع في سلطنة عمان مجموعة من النطاقات الرملية التي تحتوى على أشكال رملية مختلفة، ففي الغرب تمتد بطول الحدود في نطاق طولي يمثل الأطراف الجنوبية لرمال الربع الخالي في شبه الجزيرة العربية، وتسود في هذا الجزء الكثبان الطولية والنجمية حيث يغطى هذان النوعان أكثر من ٨٦% من المساحة التي تنتشر عليها، وتغطى المساحة الباقية الكثبان القبابية والهلالية والشبكية، وتتراوح ارتفاعات الكثبان بين ١-١٣٠متر(عبد السلام،٢٠٠١، ص٤٠)، النطاق الثاني من الكثبان الرملية يقع في شرق عمان هي رمال الشرقية، وهى كثبان من النوع الطولي المعقد، وهى تمتد من الشمال إلى الجنوب وقد يصل طولها إلى أكثر من ٨٠كم وعرضها ١كم، وتصل ارتفاعاتها حتى ١١٠متر، وتتكون الكثبان الرملية من ثلاثة أنواع تمثل مراحل مختلفة من الأرساب حيث ترتكز الكثبان الرملية السائبة والحديثة على رمال متماسكة ترتكز بدورها على رمال متحجرة، تظهر في مواقع عديدة في مناطق الانخفاض والممرات بين الكثبان الطولية، كما توجد بعض الكثبان المستعرضة والهلالية فى الجزء الجنوبي الشرقي منها. يعتبر النطاقان السابقان هما الأكبر في عمان مساحة وكذلك فى أحجام الكثبان، بينما تتوزع الكثبان الرملية في نطاقات أخرى صغيرة في كل من سهل الباطنة ومسقط وأصيلة والأشخرة وعلى سواحل المنطقة الوسطي من عمان، وتتراوح أنواعها بين الكثبان الهلالية والطولية والساحلية والنباك.
- السبخات نوعان تتكون على الساحل مجموعة من السبخات الساحلية وهى مساحات تتميز برواسبها الرملية الطينية والرواسب الكربوناتية والمعادن والمتبخرات، وتنتشر هذه السبخات حول الأخوار، خاصة فى سهل الباطنة وسهل صلالة، وتختلف مساحاتها بشكل واضح، ويوجد نوعان من السبخات الساحلية، الأولى عبارة عن سبخات ترتبط بمياه المد مثل سبخة بر الحكمان، بينما النوع الثاني يتكون عند مخارج الأودية عند التقائها مع البحر. وتعتبر سبخة بر الحكمان أكثر السبخات الساحلية اتساعاً تليها سبخة سوادي. أما النوع الثاني فهو السبخات الداخلية وأكبرها سبخة أم السميم الواقعة فى المنخفض التكتونى الذي تراكمت فيه رمال الربع الخالي، وتمثل السبخة جزء من سبخة ضخمة تمتد داخل أراضى

السعودية والأمارات العربية، وتتكون من رواسب رملية طينية ملحية وتغطيها فى الغالب طبقة خشنة صلبة من الأملاح يتوقف سمكها على طول فترات الجفاف التي تعانيها السبخة، بالإضافة إلى الأزهار الملحي.

- ومن الأشكال التضاريسية الرئيسية كذلك الأشكال الكارستية خاصة فى منطقة ظفار فى الجنوب حيث تنتشر الكهوف والبالوعات بصورة كبيرة وما يصاحبها من أشكال من أمثال الصواعد والهوابط ورواسب الترافرتين، وتنتشر الأخيرة بوضوح على حافة ظفار الجبلية وحول الكهوف والبالوعات، ولا تقتصر الكهوف على جنوب عمان، بل تنتشر بعضها فى القسم الشمال أيضاً، ومن أشهر هذه الكهوف، كهف مجلس الجن والهوتة وطيق.
- تتكون الأخوار بالإضافة إلى الأشكال الساحلية الأخرى من رؤوس صخرية ومسلات وأقواس وجزر، وكذلك ظاهرات الأرساب من ألسنة بحرية وتومبولو. وتتوزع هذه الظاهرات على طول السواحل العمانية. وتنقسم الأخوار وهى أكثر الظاهرات الساحلية وضوحاً إلى نوعين: النوع الأول وهى الأخوار الدائمة وهى فى الغالب ناتجة عن نشأة بنيوية أو نحت بعض الأودية. أما النوع الثاني فهي أخوار مؤقتة وهى ترتبط بمصبات بعض الأودية التي حجزت مياهها نتيجة لتكون بعض الحواجز عند مخارجها ولم تستطع هذه الأودية من إزالتها.

مما سبق يمكن القول بأن سطح عمان يجمع بين شدة التضرس والانحدارات الشديدة فى قسميه الشمالي والجنوبي، وتلعب هذه التضاريس دوراً كبيراً فى تغيير اتجاهات الرياح وسرعاتها (سوف توضح فى الجزء الخاص بالرياح)، بينما السطح فى الوسط يتميز بالاستواء والانحدارات الخفيفة والتدرج فى الارتفاع صوب الشمال والجنوب. تؤدى خشونة هذا السطح إلى التأثير فى سرعة الرياح وقدرتها على النحت حيث يتنوع السطح بين أسطح خشنة خاصة فى جادة الحراسيس، وبين أسطح ناعمة تحيط بمناطق الكثبان الرملية، ومن هذا التوزيع يتضح العلاقة بين هذه الخاصية وتوزع الأشكال الناتجة عن النحت بالرياح.



شكل (٢) خريطة عمان التضاريسية

٢-البنية الجيولوجية والمواد السطحية

لن نخوض كثيراً فى التطور الجيولوجي لأراضى عمان ولكن سنشير إلى الوحدات الرئيسية الجيولوجية وأنواع الصخور التي يتكون منها العمود الجيولوجي العماني، وعلى الحركات التكتونية التي أصابتها لكي نتعرف على آثارها على تكوين الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح وقابليتها لذلك، كما سنوضح المواد السطحية، ولقد ذكر حنا (Hanna, 1995) أن العمود الجيولوجي في عمان يتكون من مختلف أنواع الصخور الموجودة على الأرض. وقد أدى التنوع الجيولوجي الكبير إلى تنوع كبير فى الظاهرات الجيومورفولوجية.

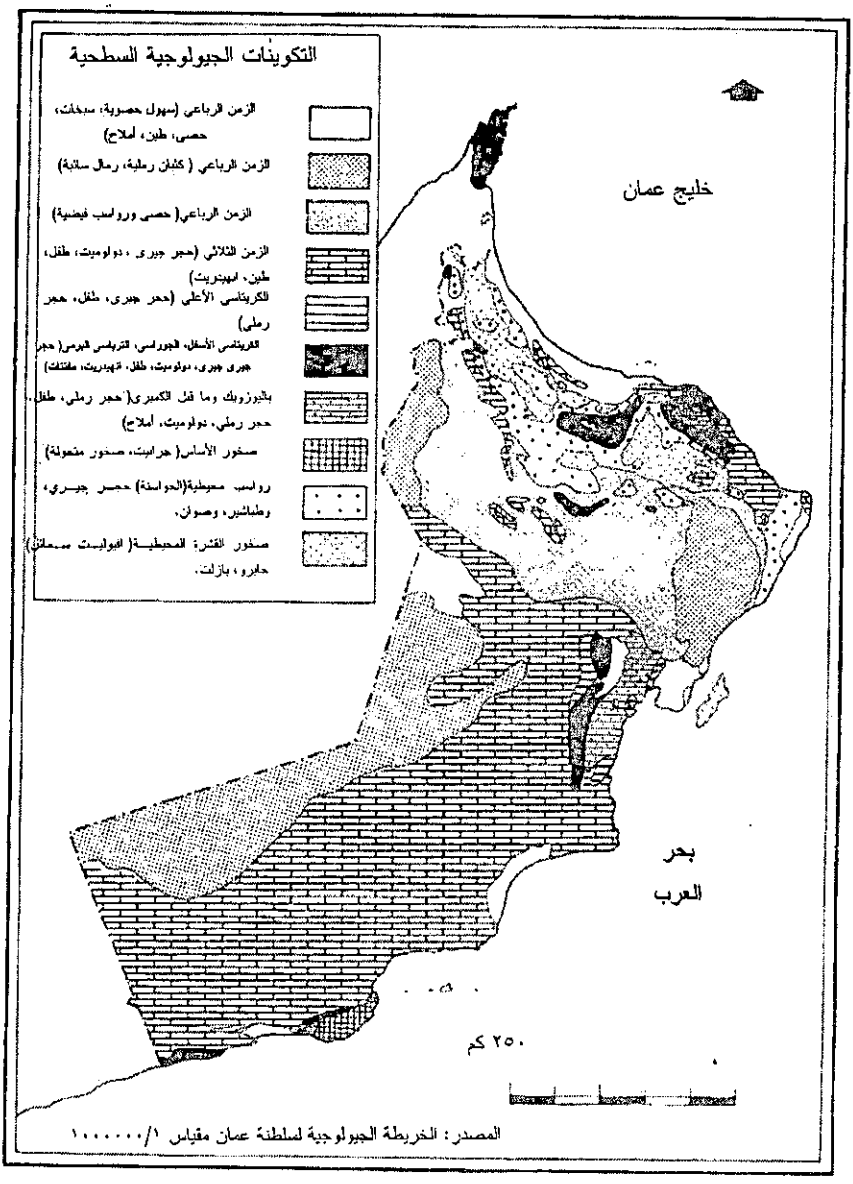
لقد أدى موقع عمان إلى تأثرها قديماً بالأحداث فى بحار ثلاثة هي: خليج عدن والبحر الأحمر والمحيط الهندي وبحر تثس، لذلك نرى التنوع الكبير فى التكوينات الجيولوجية التي يتكون منها العمود الجيولوجي العماني. وتمثل جبال عمان جزءاً من جبال الألب التي تكونت فى بحر تثس، وترتبط جيولوجية عمان بهذا البحر بصورة كبيرة، وتتنوع صخور عمان تنوعاً كبيراً بين صخور قديمة يبلغ عمرها ١٠٠٠م، عام والرواسب الحديثة. تتكون جبال عمان من الصخور الكربونية وتنتشر بها الصخور النارية والمتحولة والطفوح البركانية، وتظهر هذه الجبال في شكل تلال مخروطية تظهر بها الأندساسات النارية، وكذلك الصخور البازلتية، كما تتميز بتأثرها بكثير من الصدوع والفوالق. وقد تأثرت جبال ظفار بعمليات الانكسار التي كونت الأخدود الأفريقي وخليج عدن، وقد كانت بداية الخسف في أواخر الجوراسى واستمرت فيما بين الأوليجوسين حتى الميوسين (عبد المنعم، ويليام، ٢٠٠٥، ص٤٣، ٤٤).

لقد تكونت جبال عمان نتيجة لحركات الأرض الرئيسية فيما بين عصري الأليجوسين والميوسين(٢٠٠م. عام)، إلا أن بداية تكونها يرجع إلى انتقال صخور الأفيوليت والإرسابات المحيطية العميقة منذ ٩٠م. عام، ومازالت عملية الرفع مستمرة حتى الآن (Hanna, 1995, p.25)، ويمكن من خلال الخريطة الجيولوجية (شكل ٣) والدراسات الجيولوجية لكل من (Lippard et al, 1986; Hanna, 1995; Clark, M., 1990) التعرف على أنواع الصخور فى عمان. حيث تتكون من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، ونتيجة لوقوعها على هامش الصفيحة القارية فقد تعرضت خلال تاريخها الجيولوجي إلى كثير من العمليات وإعادة تشكيل وتكون الجبال. ويتكون العمود الجيولوجي العماني من ثلاثة مجموعات رئيسية، المجموعة الأولى وهى الأقدم وتتكون من الصخور الجيرية البحرية الضحلة، وقد تحولت الطبقة العليا منها إلى صخور الرخام نتيجة لانتقال الأفيوليت الساخن على هذه المجموعة،

وتمثل تكوينات أفيوليت سمائل المجموعة الثانية وهى تتكون من صخور البيرودويت والهارزبرجت والدونيت والجابرو، كما تتكون من الصخور المتحولة من صخور الكوارتزيت، أما ارسابات المجموعة الثالثة فهي إرسابات الزمن الثلاثي وهى عبارة عن صخور جيرية صفراء والطفل والطباشير والشعاب المرجانية وصخور الكنجلوميرات المتكونة نتيجة لعمليات التجوية بعد وصول الأفيوليت وتسمى ارسابات ما بعد تكون الجبال.

مما سبق: يتضح أن العمود الجيولوجي لعمان يحتوى على صخور غاية فى القدم منها ما تم ترسيبه فى بحار ضحلة، ومنها ما هو من قاع المحيط وكذلك من صخور المانتل والقشرة المحيطية، وقد أوضحنا فيما سبق أنواع هذه الصخور، **ويمكن أن نلاحظ ما يلى من خلال الخريطة الجيولوجية(شكل ٣):**

- أن رواسب الزمن الرباعي تتمثل فى السهول الحصوية والرواسب الرملية والطينية الملحية فى السبخات الداخلية والساحلية، وهذه تغطى نسبة لا بأس بها من السطح العماني تصل إلى ٢٠%، وتحتوى هذه المساحة فيما بين كثبانها الحصى المشطوف المنتشر بين ممرات الكثبان الطولية وأراضى ما بين الكثبان الهلالية والنجمية والعرضية، وهى مسئولة عن حمولة الرمال القادرة على نحت أوجه الحصى المشطوف وغيرها من الأشكال.
- أما الشكل الثاني من رواسب الزمن الرباعي فهي الرواسب الفيضية الحصوية التي تمثل الرواسب التي حملتها الأودية وكونتها فى صورة مراوح فيضية إلى الجنوب والجنوب الغربي من جبال عمان(جبال الحجر)، وتمثل هذه الرواسب مصدراً من مصادر الحصى المشطوف فى شمال وغرب رمال الشرقية حيث أن بعض رواسب المراوح الفيضية نتيجة لإرسابها بالقرب من مناطق ارساب الكثبان الرملية، وتوالى نحت الرياح لها يؤدى بدوره إلى تكون الحصى المشطوف، كذلك تتواجد هذه الرواسب إلى الشرق من رمال منطقة الظاهرة غرب عمان فى أودية العين والعميرى وأسود وضنك والجفرة والسيفة.
- تغطى تكوينات الزمن الثلاثي ما يقرب من ٤٠% من السطح العماني، ويتكون من الصخور الجيرية والدولوميت والطفل والطين والأنهيدريت، وهى تمتد من نطاق المراوح الفيضية السابقة الذكر صوب الجنوب مكونة الأرصفة الصحراوية، فهي تتكون من مسطح صخري مغطى برواسب ومفتتات وحطام صخري.



شكل (٣) الخريطة الجيولوجية لسلطنة عمان

٣-الظروف المناخية لسلطنة عمان

لعل تأثير عناصر المناخ المختلفة واضح على قدرة الرياح على النحت والتشكيل، ويمكن التعرف عليه من خلال(شكل ١) حيث معظم عناصر المناخ تعتبر من العوامل المؤثرة فى قدرة الرياح على النحت. ولكي نلقى الضوء على ذلك سوف نتناول بالدراسة هذه العناصر من خلال بعض محطات الأرصاد المناخية في عمان.

إن موقع عمان الفلكي والنسبي وامتدادها لأكثر من عشر درجات عرضية له أثر كبير على ظروف المناخ فى عمان وتباينه بين الشمال والجنوب. كما أثر وقوعها فى الركن الجنوبي الشرقي من الجزيرة العربية التي يتميز مناخها بالتطرف فى درجات الحرارة وندرة فى الأمطار، إضافة إلى تأثير الجبهة البحرية التي يبلغ طولها ٣١٦٥كم على خليج عمان وبحر العرب والخليج العربي في تلطيف درجات الحرارة والتأثير على بقية العناصر، وتلعب اتجاهات السواحل دوراً واضحاً فى التأثير على اتجاهات الرياح وتساقط الأمطار فى بعض مناطق السلطنة، وفيما يلي دراسة عناصر المناخ فى عمان.

ا) درجات الحرارة: بدراسة ملخص درجات الحرارة فى بعض المحطات فى الجدولين (١، ٢) يمكن أن نتعرف على الحقائق التالية:-

جدول رقم(١) يوضح المتوسط السنوي لعناصر المناخ المختلفة لبعض محطات الأرصاد فى سلطنة عمان خلال الفترة من ١٩٧٤-٢٠٠٥

المحطة الارتفاع (متر)	مجيس (صحار) ٣,٦٣م	السيب ٨,٤	سيق ١٧٥٤,٨٦	صور ١٣,٧٧	ادم ٢٨٥,٠٩	قيرون حيريثى ٨٧٨,٣	مرمول ٢٦٩	صلالة ٢٠
كمية المطر (مم)	٥٦,٨	٦٨,٥	٣١١,٤	٥٥,٣	٣٥,٤	١٨٨,٧	١٣,٨	٨٢,٨
حرارة(س)	٢٦,٤	٢٨,١	١٩,١	٢٩,١	٢٩,٤	٢١,١	٢٧,٧	٢٦,٥
رطوبة نسبية(%)	٦٧,٤	٥٩,٨	٣٥,٢	٥٧,٩	٤٣,٢	٦٨,١	٤٦,٦	٦٧,٤

المصدر: Ministry of Transport and Communications, Annual Climate Summary, Oman

- ترتفع درجات الحرارة بشكل ملحوظ معظم شهور السنة، وذلك نتيجة لوقوع عمان فى نطاق الصحارى الحارة، ويمر بها مدار السرطان فى وسطها، وتتأثر درجات الحرارة بالقرب أو البعد عن المسطحات المائية، كما تتأثر تبعاً للارتفاع عن مستوى سطح البحر.
- يتراوح المتوسط السنوي لدرجات الحرارة بين ١٧,٧°س فى سيق، ٣٠,٩°س فى صور، وتنخفض درجات الحرارة فى سيق بشكل ملحوظ حيث تتراوح بين ١٧,٣°س، ٢٠,٩°س لوقوعها على ارتفاع أكثر من ١٧٥٠متر عن مستوى سطح البحر.تليها فى ذلك محطة قيرون حيريثى وهى تقع فى المنطقة الجنوبية ويتراوح

المتوسط السنوي لدرجات الحرارة بين ٢٠,٥°س، 22°س حيث ترتفع عن مستوى سطح البحر أكثر من ٨٧٠متر.

- يتراوح المتوسط السنوي لدرجات الحرارة فى المحطات الداخلية البعيدة عن الساحل بين ٢٦,٩°س فى مرمول، ٣٠,٨°س فى أدم، بينما يتراوح المتوسط السنوي بين ٢٦,٢°س فى مجيس وبين ٢٨,٥°س فى السيب، ويلاحظ تأثير القرب من البحر على تلطيف درجات الحرارة(جدول ٢).
- تصل درجات الحرارة فى شهور الصيف إلى أقصى درجاتها فى المحطات الداخلية فى شهور يونيو ويوليو وأغسطس حيث يبلغ المتوسط الشهري فى كل من أدم ٤٨,١°س ومرمول ٤٥,٩°س. بينما تبلغ أقصى درجات حرارة فى المحطات الساحلية فى مايو ويونيو ويوليه حيث يبلغ المتوسط الشهري فى كل من السيب ٤٦,٤°س وصحار ٤٥,١°س وصور 47°س. وتبلغ درجات الحرارة أقصاها فى يونيه ويوليو وأغسطس فى المحطات الجبلية حيث يبلغ المتوسط الشهري ٣٣,٦°س فى سيق.
- يتراوح المدى الحراري اليومي بين 4°س فى سيق، 20°س إبرا (القلاوى، ١٩٩٦، ص٧١).
- تنخفض درجة الحرارة الصغرى فى شهور الشتاء حتى تصل -٠,٩°س فى سيق فى شهر يناير، ٩ °س فى صحار فى فبراير.

جدول رقم(٢) المتوسطات الشهرية للحرارة العظمى والصغرى ومتوسطاتها خلال الفترة بين ١٩٧٤- ٢٠٠٥

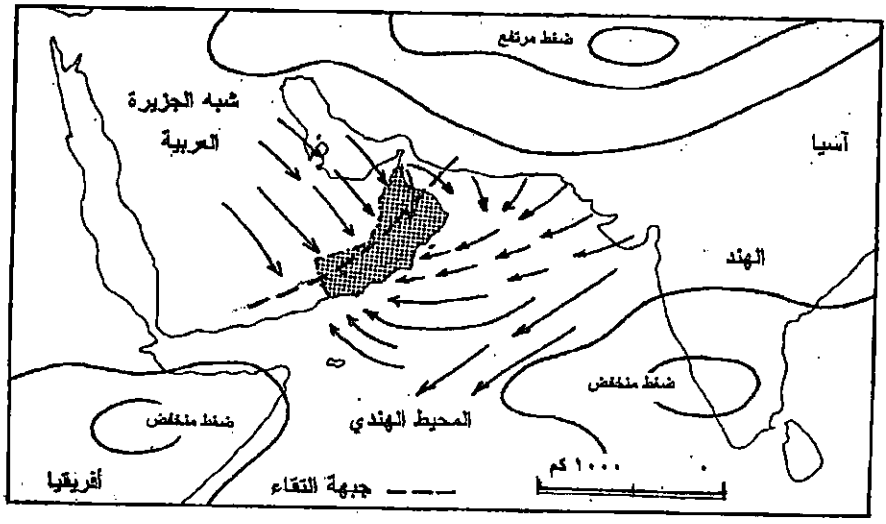
المحطات	الحرارة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيه	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
أدم	عظمى	٣٠,٣	٣٣,٧	٣٨,٨	٤٢,٨	٤٦,٥	٤٨,١	٤٧,٤	٤٦,٣	٤٤,١	٤١,٥	٣٦,٤	٣٢,٩
	صغرى	١٠	١٠,٩	١١,٩	١٦,٩	١٩,٧	٢٢,٨	٢٠,٧	٢٠,٦	١٩,٨	١٧,١	١٤,٣	١٠,٧
	المتوسط	٢٠,٥	٢٢,٥	٢٦,٦	٣١,١	٣٤,٧	٣٦,٣	٣٤,٧	٣٣,٩	٣١,٩	٢٩,٩	٢٥,٧	٢٢,٣
مرمول	عظمى	٣٠,٤	٣٣,٥	٣٨,٢	٤١,١	٤٤,٦	٤٥,٨	٤٥,٩	٤٥,٩	٤٣,٩	٣٩,١	٣٤,٧	٣٠,٤
	صغرى	٧,١	٩	١٢,٣	١٦,٣	١٩,٨	٢٢,٥	٢٢,٦	٢١,٤	١٨,٩	١٥,٤	١٣,٥	٩,٥
	المتوسط	١٨,٩	٢١,١	٢٤,٦	٢٨,٢	٣١,٧	٣٣,٩	٣٤,٢	٣٣,٦	٢٩,٧	٢٦,٩	٢٣,٦	٢٠,٧
السيب	عظمى	٣٠	٣٢	٣٦,٨	٤١,٥	٤٥,٤	٤٦,٤	٤٥,١	٤٣	٤١,٥	٣٩,٦	٣٤,٦	٣٠,٨
	صغرى	١٣,٧	١٤,١	١٦,١	٢٠	٢٤,٢	٢٧,١	٢٧	٢٥,٥	٢٤,٢	٢٠,٧	١٧	١٥,١
	المتوسط	٢١,٢	٢٢,٠	٢٤,٩	٢٩,٦	٣٤,٠	٣٥,١	٣٣,٨	٣١,٨	٣١,٠	٢٩,٤	٢٥,٥	٢٢,٦
صحار	عظمى	٣٨,٣	٣٠,٢	٣٣,٤	٤٠,٧	٤٥,١	٤٣,٨	٤٢,٦	٤٠,٧	٣٨,٨	٣٧,٢	٣٣,٧	٢٩,٦
	صغرى	٩,١	٩	١٠,٩	١٥	١٩,١	٢٣,٣	٢٥,٦	٢٥,١	٢١,١	١٦,٧	١٣,٥	١٠,٨
	المتوسط	١٩,٥	٢٠,١	٢٢,٦	٢٦,٩	٣١,٠	٣٢,٨	٣٣,٠	٣١,٧	٣٠,٣	٢٧,٦	٢٤,١	٢١,٠
سيق	عظمى	٢٠,٦	٢٢,١	٢٤,٨	٢٨,١	٣١,٨	٣٣,٦	٣٣,٥	٣٢,٤	٣٠,١	٢٧,٤	٢٣	٢٠,٩
	صغرى	-٠,٩	١,٢	٣,٩	٨,١	١٢,٢	١٥,٢	١٥,٥	١٥,١	١٣,٢	٩	٤	٠,٩
	المتوسط	٩,٨	١٢,٠	١٥,٠	١٨,٥	٢٢,٧	٢٥,٢	٢٥,٢	٢٤,٥	٢١,٩	١٨,٣	١٣,٨	١٠,٣
صور	عظمى	٣١,١	٣٤,١	٣٨,٨	٤٢,٥	٤٥,٧	٤٧	٤٦	٤٤,٧	٤٢,٨	٤٠,٢	٣٥,٦	٣١,٧
	صغرى	١٣,٩	١٤,٤	١٦,١	٢٠,٣	٢٤,٤	٢٦,١	٢٤,٦	٢٣,٢	٢٣,١	٢٠,٢	١٦,٨	١٥,١
	المتوسط	٢٢,٢	٢٣,١	٢٥,٨	٣٠,٣	٣٤,١	٣٤,٩	٣٣,٧	٣٢,٠	٣١,٢	٢٩,٥	٢٥,٦	٢٣,١

المصدر: Ministry of Transport and Communications, Annual Climate Summary, Oman

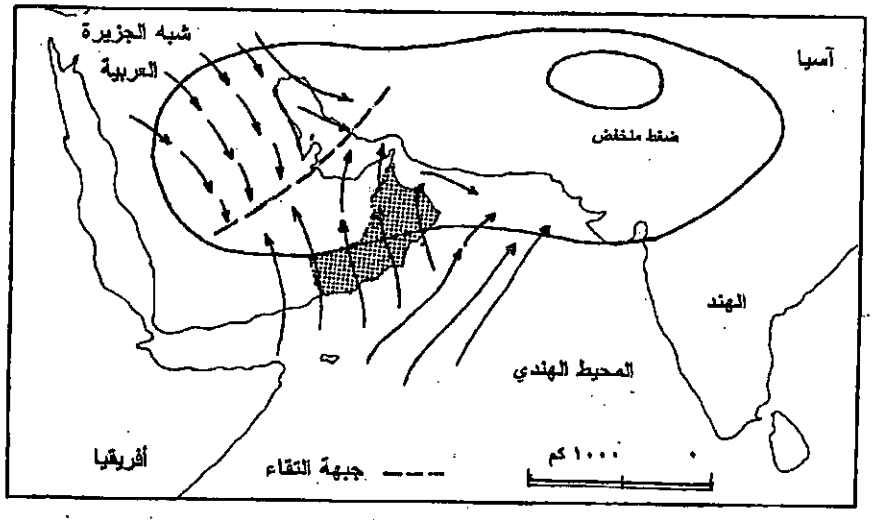
يتضح مما سبق: أن درجات الحرارة مرتفعة معظم شهور السنة، وتزداد في المناطق الداخلية بعيداً عن الساحل، كما ترتفع درجات الحرارة في فترة ما بعد الظهر مما يؤثر على سرعة الرياح نتيجة للحركة الرأسية للرياح، ويؤدى ذلك إلى زيادة سرعة الرياح على سطح الأرض فتعمل على إثارة الأتربة والرمال وقيام العواصف الرملية التي لها القدرة على النحت والتشكيل.

ب) الضغط الجوى والكتل الهوائية: يعتبر موقع عمان بالنسبة لمناطق الضغط الرئيسية والكتل الهوائية المحيطة من أهم العوامل التي تتحكم فى طقس ومناخ عمان. وتتأثر نظم الرياح فى عمان بتوزيع مناطق الضغط الجوى والكتل الهوائية فى كل من آسيا والمحيط الهندي والمحيط الأطلنطي ومنطقة البحر المتوسط وتحركاتها خلال فصول السنة(عبد السلام، ٢٠٠١، ص١٨)، ونظراً لوقوع عمان فى النصف الشمالي من الكرة الأرضية نجد أن مناطق الضغط الجوى يتعدل توزيعها نظراً لأتساع القارات فى نصف الكرة الشمالي، ويتوقف تأثير الكتل الهوائية على مناخ الأقاليم تبعاً لموقع الإقليم للمناطق التي تنشأ فيها الكتل الهوائية(طريح شرف، ١٩٩٦، ص١٣٦)، وتقع سلطنة عمان في المنطقة المدارية حيث تتأثر طول العام بالكتل الهوائية المدارية التي تتكون في مناطق الضغط المرتفع شبه المدارى، سواء الكتل الهوائية المدارية القارية التي تتميز بشدة حرارتها وجفافها وحملها للأتربة بينما في فصل الشتاء تكون جافة ودافئة، أو الكتل الهوائية المدارية البحرية التي تتميز بدفئها ورطوبتها العالية، ويتوقف استقرار أو عدم استقرار هذه الكتل تبعاً لدرجة حرارة السطح الذي تستقر عليه، فكلما كان السطح أبرد تكون مستقرة، أما إذا كان السطح ادفأ تكون غير مستقرة حرارياً (ضاري، ١٩٨٧، ص١٦٢).

تتأثر مناطق الضغط الجوى بصفة عامة بحركة الشمس الظاهرية شمال خط الاستواء وجنوبه وتؤدى تحركاتها إلى تغيرات في اتجاهات وسرعات الرياح، ونظراً لأن مناخ عمان يتأثر بتبادل الكتل الهوائية والضغط الجوى على كل قارة آسيا والمحيط الهندي بصفة عامة(قلاوى، ١٩٩٦، ص٦٢). ففي فصل الصيف الشمالي يتحرك المنخفض الاستوائى شمالاً وتصبح معظم قارة آسيا والجزيرة العربية وعمان ضمن هذا المنخفض الجوى فتهب الرياح الموسمية الصيفية القادمة من المحيط الهندي وتسقط بعض الأمطار، بينما في فصل الشتاء الشمالي يحدث عكس ذلك حيث يتحرك المنخفض الاستوائى إلى الجنوب ويحتل الضغط الجوى المرتفع معظم آسيا والجزيرة العربية وحوض البحر المتوسط، وتهب الرياح الموسمية الشتوية نحو المحيط الهندي وهى رياح جافة وباردة. وفي الصيف الرياح شمالية وجنوبية بينما في الشتاء تكون الرياح بصفة عامة شمالية شرقية شكلي (٤، ٥).



شكل (٤)موقع عمان من مناطق الضغط الجوى واتجاهات الرياح المؤثرة عليها فى يناير



شكل (٥) موقع عمان من مناطق الضغط الجوى واتجاهات الرياح المؤثرة عليها فى يوليو

وبوقوع عمان في المنطقة المدارية نجد أنها تتعرض للأعاصير المدارية خاصة المنطقة الجنوبية من البلاد، ورغم أن خصائص المناخ في المناطق المدارية يتميز بالانتظام والرتابة إذا ما قورن بالمناطق المعتدلة التي تتميز بالتقلبات الشديدة (شحاده، ١٩٩٦، ص٢٧٦). وترجع قلة التقلبات في المنطقة إلى أن الكتل الهوائية المدارية عندما تتلاقى في الجبهات المدارية لا يوجد بينها اختلافات حادة في الحرارة لذلك تكون الاضطرابات التي تحدث في المناطق المدارية ليست اضطرابات جبهوية ولكنها تستمد طاقتها من تكاثف بخار الماء. وقد تصل إلى عواصف بالغة العنف ومصحوبة بأمطار غزيرة ورياح شديدة قد تصل سرعتها ١٢٥ ميل/ساعة، وتسبب هذه الأعاصير المدارية خسائر كبيرة من تدمير المباني واقتلاع المزروعات وتدمير المصانع وتحطيم السفن، ومن أحدث هذه الأعاصير إعصار جونو فى يونيو ٢٠٠٧ الذي ضرب مدينة مسقط ووسط عمان وتسبب فى خسائر فادحة فى الممتلكات والطرق.

ج) الرطوبة الجوية: تختلف متوسطات الرطوبة النسبية بين المناطق الساحلية والداخلية والجبلية حيث تتراوح نسبة الرطوبة النسبية فى المحطات الساحلية بين ٦٥-٧٣% فى صحار، ٥٧-٦٢% فى السيب، بينما فى المناطق الداخلية البعيدة عن الساحل فتتراوح بين ٣٨-٥٣% فى أدم٤١-٥٠% فى مرمول، كما تصل فى بعض الأحيان إلى أدنى نسبة لها فى المناطق الداخلية ٨% وأعلى نسبة ٩٥%.

ما سبق يمكن القول بأن الرطوبة النسبية فى المناطق الداخلية تساعد على نشاط الرياح فى النحت، والعكس بالنسبة للمناطق الساحلية التي تزداد فيها نسبة الرطوبة.

د) الرياح: نظراً لوقوع سلطنة عمان بين مناطق ضغط مختلفة، تتغير مواقعها بين الصيف والشتاء والخريف والربيع تبعاً لحركة الشمس الظاهرية، فقد تأثرت باختلافات واضحة فى أنواع الرياح التي تهب عليها خلال فصول السنة المختلفة، وكذلك اختلاف خصائصها بين جافة وحارة ومطيرة، ولكل منها آثارها الواضحة على السطح فى عمان، ومن الجدول رقم(٣) الذي يوضح قراءات بعض محطات أرصاد مناخية فى الفترة من١٩٩٣-٢٠٠٢، وكذلك الشكل(٦)، يمكن التعرف على **أهم خصائص الرياح فى عمان:-**

- تهب الرياح من جميع الاتجاهات على جميع أجزاء السلطنة وبسرعات مختلفة.
- يتراوح متوسط سرعة الرياح بين ٢,٤٥عقدة فى السيب، ١٣,١٦عقدة فى مرمول.
- تهب من الجهات الجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية أعلى نسبة هبوب للرياح فتبلغ نسبة الهبوب ٤٢,٣١% فى مرمول وتبلغ سرعاتها ١٠,١٣عقدة، ٣٢,٧٢% من فهود وتبلغ سرعاتها٧,٧٤ عقدة من جهة الجنوب الشرقي، بينما تبلغ نسبة الهبوب

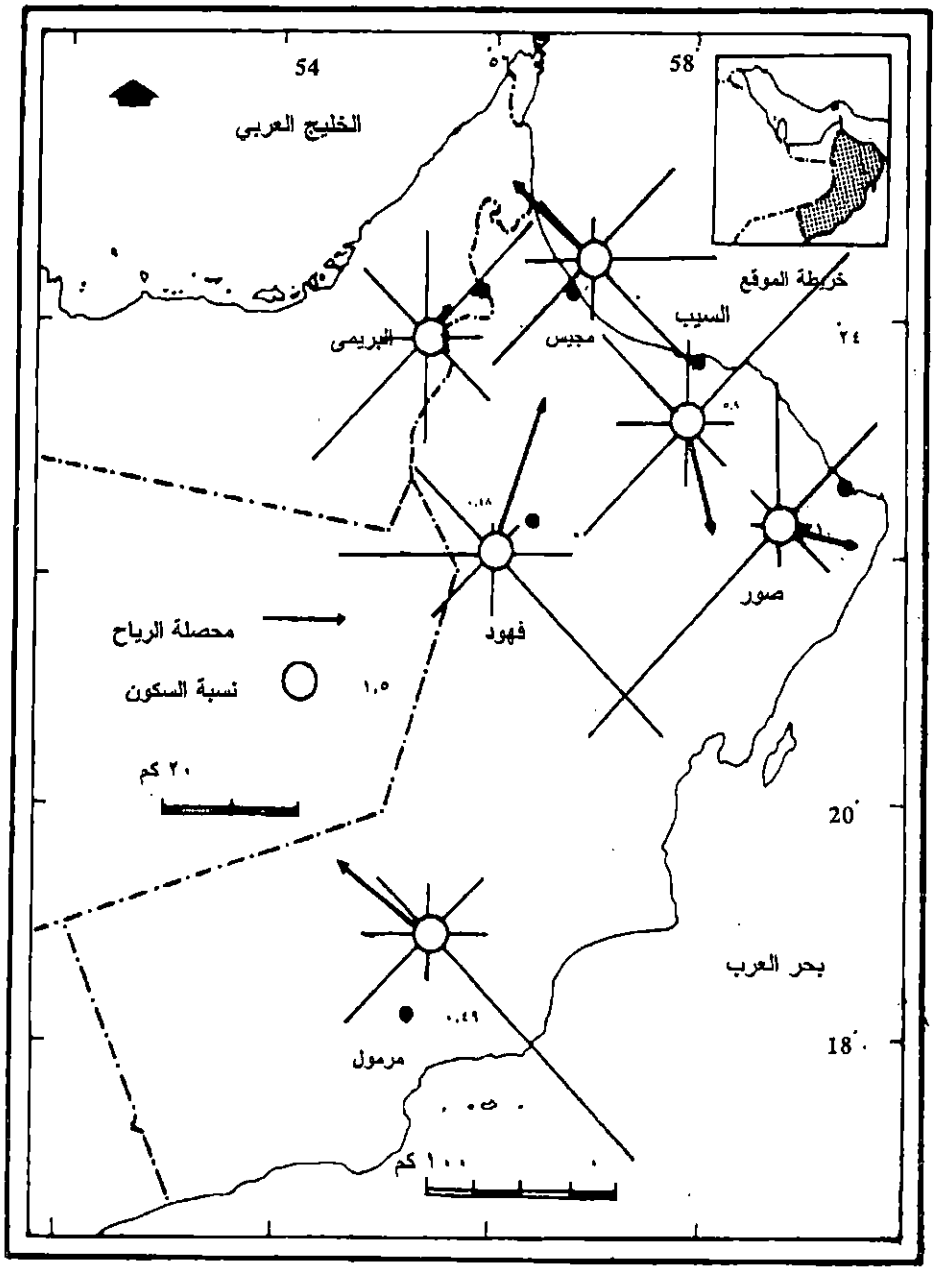
٣٨,٣٣% فى صور وتبلغ سرعاتها ١٣,١٦عقدة من الجنوب الغربي، وتهب فى الفترة من مارس حتى أكتوبر وتعتبر هذه الرياح هي الرياح السائدة فى عمان.

- تهب الرياح الشمالية والشمالية الغربية بنسب هبوب تبلغ ١٧,٣٦% فى صور وسرعاتها ٨,٦٩عقدة من جهة الشمال، بينما الرياح الشمالية الغربية تبلغ ١٥,١٥% فى السيب وسرعاتها ٥,٥٥عقدة، ونسبة هبوب ١٤,٣٥% بسرعة ٩,٤٩ عقدة فى فهود، وتهب هذه الرياح فى الفترة بين نوفمبر حتى مارس.
- يتراوح متوسط أعلى سرعة سجلت فى المحطات المختارة بين ١٧عقدة فى مجيس ٦٤عقدة في البريمى.

جدول(٣) متوسطات اتجاهات الرياح وسرعاتها فى عمان خلال الفترة من ١٩٩٣-٢٠٠٢

اتجاهات محطات	التكرار والسرعة	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	سكون	الرياح السائدة درجة	متوسط السرعة عقدة	متوسط أعلى سرعة عقدة
مرمول	%	٣,٨١	٨,٣٨	٥,٣١	٤٢,٣١	٣,٩	١٥,٤٦	٧,٢٨	٨,٧٥	٠,٤٩	٢١٠-١٢٠	٦,٦-١٠,٨	٢٨-٣٥
	عقدة	٦	٥,٧	٦,١٢	١٠,١٣	٤	٦,٧	٦	٧,٥	-			
صور	%	١٧,٣٦	١٧,٢٣	١,٠٨	٧,٢٥	٢,٥٨	٣٨,٣٣	١,٤٢	٣,١٢	١١,٠٢	٢٤٠-٢١٠ ٣٦٠	٨,٤-١٧,٩	٣١-٤٨
	عقدة	٨,٦٩	٦,٣٨	٤,٣٤	٥,٩٥	٥,٨٣	١٣,١٦	٧,٦٩	٥,٩٣	-			
فهود	%	٠,٦٨	١,٩	٨,٧٢	٣٢,٧٢	٦,٠٨	١٠,٧٣	٢٠,٤٢	١٤,٣٥	٠,٤٨	٢٧٠-١٢٠	٥٠-١٠,٦	٢٦-٤٤
	عقدة	٣,٧٩	٤,٠١	٨,٤٥	٧,٧٤	٥,٧٦	٤,٨٩	٧,٨١	٩,٤٩	-			
السيب	%	٨,٨٧	٣٠,١	٤,٣٩	٥,٧٩	٥,٢٦	١٩,٧٥	٨,٢٣	١٥,١٥	٥,٩	٢١٠-٦٠	٤,٦-٥,٩	٢٦-٣٣
	عقدة	٥,٥٣	٦,٨٩	٣,٤	٢,٤٥	٢,٨١	٤,٨	٤,٢٣	٥,٥٥	-			
البريمى	%	١١,٦٣	١٩,١١	٥,٠٩	٩,٧	١٢,٨٢	٢١,٥١	٤,٦٦	١٠,٤٤	١	٢١٠-١٨٠	٥,٢-٦,٨	٢٤-٦٤
	عقدة	٣,٣٤	٧,٠٩	٦,١١	٥,٧١	٦,٨٩	٥,٩٤	٣,٤٣	٤,٠٢	-			
مجيس	%	٣,٠٦	١٤,١٦	١٥,٤٩	١٧,٥٣	٥,٥٤	١٨,٢	٧,٨٧	٨,٨٥	٠,٣	٢٧٠-٩٠ ٢٤٠	٣,٥-٥,٨	١٧-٣٩
	عقدة	٥,٦٤	٦,٤٧	٢,٠٧	٤,٩٢	٢,٩٩	٣,٥٤	٣,٦١	٥,٣٦	-			

المصدر: Ministry of Transport and Communications, Annual Climate Summary, Oman



شكل رقم (٦) وردات الرياح لبعض محطات المناخ خلال الفترة من ١٩٩٣-٢٠٠٢

٤-الغطاء النباتي

يعتبر الغطاء النباتي أحد العوامل المؤثرة على نحت الرياح، فكلما زاد الغطاء النباتي قلت معدلات النحت وكلما قلت نسبة الغطاء النباتي على السطح أصبحت الفرص مواتية لتمارس الرياح دورها في عملية النحت، أي تعمل زيادة نسبة انتشار النبات على السطح على تقليل الجزء المعرض للتأثر بعمليات النحت ومن ثم يقل اثر الرياح، ويختلف الغطاء النباتي تبعاً للمصادر المائية وخصائص التربة والأقاليم التضاريسية.

يتنوع الغطاء النباتي في عمان بين الحشائش والأعشاب التي تظهر بعد سقوط الأمطار، إضافة إلى الأشجار المتناثرة التي تزداد كثافتها في بعض المناطق خاصة الأودية وعلى السواحل. وتزيد أنواع النباتات في عمان عن ١٠٠٠نوع تتوزع بين المناطق الجبلية والسهول الساحلية والمساحات الرملية (سرى الدين، ٢٠٠٦، ص١٦٢).

يتأثر الغطاء النباتي في عمان بتذبذب كميات الأمطار وقلتها، كما تأثر أيضا بزيادة أعداد الحيوانات عن طاقة المراعى والاستخدام غير الراشد لها والاستخدام العشوائي لمسطحات الغطاء النباتي. وقد أدى ذلك إلى تدهور وانقراض بعض الشجيرات والأعشاب وتقلص المساحات الخضراء (وزارة الزراعة، ٢٠٠٤).

ومن أهم الأشجار التي يتكون منها الغطاء النباتي في عمان أشجار الغاف والسدر والسمر والقرم والقصب والنخيل والعركش والأراك والرمرام والطلح والمانجروف والباوباب. وتتراوح ارتفاعات الأشجار بين ٢-١٨متر. وتزداد النباتات في كثافتها بالقرب من السواحل وعلى الكثبان الساحلية مثل نبات الرمرام، وتزداد أشجار السدر والسمر والغاف داخل الأودية، وتنمو أسفلها الأعشاب. كما ينمو نبات القرم بكثرة في مناطق الخيران وهى مناطق التقاء الأودية بالبحر. فيما عدا ذلك يظهر الغطاء النباتي متناثراً ومبعثراً وتكاد تخلو مناطق كثيرة من السطح العماني من الغطاء النباتي، مما يزيد من قدرة الرياح على النحت والتذرية. ويتضح ذلك في مناطق توزيع ظاهرات النحت الريحية في مناطق الوسطي والداخلية وأجزاء من الجنوبية حيث تمثل الأراضي الخالية من الغطاء النباتي نسبة كبيرة منها.

ثانياً: ديناميكية النحت وقدرة الرياح على التشكيل

تعتبر سرعة الرياح وقدرتها على تحريك الرمال هي العامل الرئيسي في تشكيل الظاهرات الناتجة عن النحت. وبتحليل جدولي سرعة الرياح (٤، ٥) لمحطتي إبراء وثمريت، حيث تمثل محطة إبراء سرعات الرياح في المنطقة الشرقية والوسطي، وتمثل محطة ثمريت المنطقة الجنوبية.

يوضح الجدول(٤) أن الرياح الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية هي الأكثر تكراراً، حيث يمثلان معاً ٥٢% من تكرارات الرياح من مختلف الاتجاهات، وتمثل فئة سرعة الرياح التي تتراوح بين١-٥ عقدة حوالي ١٦,٩% من الاتجاه الجنوبي الشرقي، ١٥,٧% من الاتجاه الجنوبي الغربي، بينما تزداد نسبة تكرار الرياح الجنوبية الغربية فتبلغ ١٠% بسرّعات تتراوح بين ٦-١٠ عقدة، والسرعات التي تتراوح بين ١١-١٥ عقدة تبلغ ١,٢% من الجنوب الغربي ، ٠,٧% من الجنوب الشرقي.

جدول (٤) اتجاهات الرياح وفئات سرعاتها (عقدة) في محطة إبراء في الفترة بين ١٩٩٩-٢٠٠٢

الاتجاهات بالدرجات	١-٥		٦-١٠		١١-١٥		١٦-٢٠		٢١-٢٥	
	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%
٣٦-١-٣٥	١٧,٩	٢,٣	٣,٩	٠,٥	٠,٨	٠,١	٠,١	٠,٠١		
٢-٣-٤	١٥,٧	٢,٢	٦,١	٠,٨	١,٧	٠,٢	٠,٠٥	٠,٠٠٦		
٥-٦-٧	١٣,٣	١,٨	٥,٢	٠,٧	١,١	٠,١	٠,٠٥	٠,٠٠٦		
٨-٩-١٠	١٦,١	٢,٢	٢,١	٠,٣	٠,٢	٠,٠٢	٠,٠٥	٠,٠٠٦		
١١-١٢-١٣	٢٣,٧	٦,١	١٤,٥	٢,١	٢,٤	٠,٣	٠,٠٢	٠,٠٠٢		
١٤-١٥-١٦	٧٩,٢	١٠,٨	٤٠,١	٥,٥	٢,٩	٠,٤	-	-		
١٧-١٨-١٩	٣٤,٨	٥,١	٢٣,٣	٣,٢	١,٣	٠,٢	٠,٠٢	٠,٠٠٢		
٢٠-٢١-٢٢	٦٤,٤	٩,١	٤٧,٦	٦,٥	٣,٩	٠,٤	٠,٠٢	٠,٠٠٢		
٢٣-٢٤-٢٥	٤٨,٥	٦,٦	٢٦,٧	٣,٧	٥,٥	٠,٨	٠,٤	٠,٠٥		
٢٦-٢٧-٢٨	٣٦,٧	٥,٢	٣,٨	٠,٥	١,١	٠,١	٠,١	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٢.
٢٩-٣٠-٣١	٧٢,٩	٩,٩	٥,٩	٠,٨	٠,٨	٠,١	٠,١٣	٠,٠٢		
٣٢-٣٣-٣٤	٣٨,٦	٦,٦	٤,٩	٠,٧	١,١	٠,٢	٠,٠١	٠,٠١		

المصدر: Ministry of Transport and Communications, Annual Climate Summary. Oman

ويوضح الجدول (٥) أن الرياح الجنوبية الشرقية والجنوبية هي الأكثر تكراراً وسرعة، حيث يبلغ تكرار الرياح الجنوبية الشرقية ٣٧% لمختلف السرعات، وتبلغ السرعات بين ٦-١٠ عقدة نسبة ١٠,٣%، تليها السرعات بين ١١-١٥ عقدة تبلغ نسبة تكرارها ٨,٥%،ا والرياح الجنوبية تبلغ نسبتها ٣٤%، وتبلغ نسبة تكرار فئة السرعة ٦-١٠عقدة ١٢,٨%، بينما فئة السرعة من ١١-٢٠عقدة تبلغ نسبتها ٦,٥%، كما تمثل السرعات التي فئتها من ٢١-٤٠عقدة نسبة ضئيلة تتراوح بين ٠,١- ١,٨%.

يتميز نظام هبوب الرياح في عمان بالانتظام والشدة في فترات كثيرة من السنة، كما أن بعض الرياح تتميز بصفة الجفاف مثل الرياح الغربية والجنوبية الغربية، بينما الرياح الجنوبية الشرقية والشمالية الشرقية تتميز بالرطوبة لقدومها من جهة الخليج، تهب العواصف الرملية في الصيف في الفترة من مايو – أغسطس، وتصل سرعة

الرياح في بعض الحالات إلى ٦٤ عقدة وتشير بعض الدراسات أن هذه العواصف الرملية هي القادرة على حدوث عمليات البرى (Cooke & et al,'1990, p. 239) .

جدول (٥) اتجاهات الرياح وفئات سرعاتها (عقدة) في محطة ثمريت في الفترة بين ١٩٩٧-٢٠٠٢

الاتجاهات بالدرجات	١-٥		٦-١٠		١١-١٥		١٦-٢٠		٢١-٢٥		٢٦-٣٠		٣١-٣٥		٣٦-٤٠	
	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%	يوم	%
٣٥-٣٦-١	٧,٧	١,٠٢	٢١,٦	٢,٩	٥,٠٢	٠,٧	٠,٣	٠,٠٥	٠,٠٤	٠,٠٠٦						
٢-٣-٤	٨,٨	١,٣	٢٨,٤	٤,٢	٤,٧	٠,٦	٠,٤	٠,٠٦	٠,٠٧	٠,٠٢						
٥-٦-٧	١١,٩	١,٧	٢٤,٦	٣,٤	١١,٣	١,٦	٠,٥	٠,٠٨	٠,٠٤	٠,٠١						
٨-٩-١٠	٩,٩	١,٥	٩,٥	١,٣	٢,١	٠,٣	٠,٢	٠,٠٣	–	–						
١١-١٢-١٣	١٣,٦	١,٩	١٧,٦	٢,٤	٦,٢	٠,٩	٥,٩	٠,٨	٥,٩	٠,٨	١,٤	٠,٢	٠,٢	٠,٠٣	٠,٠٢	٠,٠٠٣
١٤-١٥-١٦	٢٠,٢	٢,٨	٥٧,٩	٧,٩	٥٥,٢	٧,٦	٤٥,٧	٦,٣	٢٩,٦	٤,٠٢	١٠,٩	١,٥	٠,٦	٠,١	٠,٠١	٠,٠٠٢
١٧-١٨-١٩	٢٧,٣	٣,٦	٤٤,٨	١٢,٨	٤٦,٤	٦,٥	٤٧,٩	٦,٦	٣٠,٨	٤,٠٩	١٠,٣	١,٨	٢,٣	٠,٣	٠,٣	٠,٠٤
٢٠-٢١-٢٢	١١,١	–	٩,٦	١,٣	١,٩	٠,٣	–	–	٠,٢	٠,٠٠٨	٠,٠٣	٠,٠٠٣			٠,٠١	٠,٠٠٢
٢٣-٢٤-٢٥	٧,٣	١	١٠,٥	١,٤	٠,٨	٠,١	٠,٧	٠,٠٢	–	–						
٢٦-٢٧-٢٨	١١,١	٠,٦	٥,٢	٠,٧	١,٨	٠,٢	٠,٢	٠,٠٧	٠,٠٧	٠,٠١						
٢٩-٣٠-٣١	٤,٨	٠,٧	٧,٩	١,٠٨	٢,٦	٠,٤	٠,٤	٠,٠٤	٠,٠٦	٠,٠٠٨	٠,٠٦	٠,٠٠٢				
٣٢-٣٣-٣٤	٦,٥	٠,٩	١٢,٤	١,٧	٥,٢	٠,٧	٠,٦	٠,٠٨	٠,٤	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٠٢				

المصدر: Ministry of Transport and Communications, Annual Climate Summary, Oman

توجد علاقة وثيقة بين سرعة الرياح وحجم رمال المنطقة، وبتحليل أحجام الرمال في مشروع زحف الرمال (السابق ذكره) بلغ متوسط حجم الرمال لعدد ١٧٩عينة تم جمعها من مختلف مناطق السلطنة ٠,٢١مم، وتوضح بعض الدراسات بأن هذا الحجم من الرمال المتوسطة تحركها رياح تتراوح سرعاتها بين ٨,٧-١٣عقدة (Fryberger, 1979, p.146; Gokolov, 1884). ولذلك يحتاج حجم الرمال في المنطقة إلى سرعة تقدر بحوالى ١١,٧عقدة، أي في الفئة ١١-١٥عقدة، والتي أشرنا إلى إنها تمثل نسبة لا بأس بها بين سرعات الرياح، إضافة إلى الرمال الناعمة التي يمكن تحريكها بسرعات تتراوح بين ٦-١٠عقدة.

وتحدث عملية النحت بواسطة الرياح بثلاث عمليات رئيسية بصورة واضحة في الصحارى الجافة وشبه الجافة، هذه العمليات هي: التذرية[١] Deflation، والبرى[٢]

---

[١] تسمى في بعض الكتابات الاكتساح (جودة، ١٩٩٨)، أو ما يطلق عليها العرب كلمة "الذرو"، ويطلق على هذه الرياح الذاريات وهو قسم في المصحف الشريف(عبد الله الغنيم، ١٩٨١،ص). وتختلف عملية التذرية من مكان إلى آخر من حيث شدة الرياح وحجم المفتتات، حيث تقوم الرياح باكتساح الرواسب ونقلها إلى مسافات كبيرة، فهي تعرف بأنها عملية تحدث نتيجة لاكتساح الرياح المتباينة وشدتها لمساحات كبيرة مغطاة بالغبار والرمال والحصى مما يؤدى إلى عملية اختيار للرواسب التي تتناسب مع سرعة الرياح والتي أطلق عليها عملية "تنخيل" (محمد الشيخ، ١٩٨٥، ص٣٢)، كما يطلق عليها أيضا تعبير السافيات.

[٢] عملية يطلق عليها أحياناً "السحج"، ولا يمكن حدوثها إلا بما تحمله الرياح من رمال ومع السرعات الكبيرة للرياح، فالرياح المحملة بالرمال عندما تتحرك على الأسطح الصحراوية وتصطدم بالعوائق الكبيرة والصغيرة تعمل الرمال على برى الأسطح التي تتحرك عليها أو تصطدم بها، فتصقل بعض الصخور أو تتآكل صخور أخرى.

Abrasion، و التفتيت المتبادل الذي يحدث لحبات الرمال أثناء انتقالها Attritions، لعل تحديد العملية المسئولة عن تكوين بعض الأشكال والمقارنة بين قدرة عمليتي التذرية والبرى على النحت والتشكيل من الموضوعات الهامة التي يصعب حسمها بدقة، ولعل الإجماع على وجود الرمال المحمولة بواسطة الرياح ضرورية في عملية النحت، حيث يشير البعض إلى أن المناطق التي تخلو من الرمال لا تستطيع الرياح أن تؤثر بها تأثيرات واضحة على العكس من الأراضي التي تتوفر بها الرمال يمكن للرياح أن تحملها في سرعات مختلفة فتتم عملية التذرية، ثم تبدأ عملية البرى(جودة، ١٩٩٨، ص ٢١). ويتضح ذلك من خريطة توزيع الأشكال الريحية الناتجة عن النحت في منطقة الدراسة(شكل ٧)، حيث ترتبط هذه الأشكال بالمناطق التي تنتشر بها الأشكال الرملية، وقد وضح قدرة الرياح بسرعاتها المختلفة على تحريك الرمال من أحجام مختلفة، خاصة إذا عرف أن متوسط أحجام رمال السلطنة تتراوح بين الرمال الناعمة والمتوسطة.

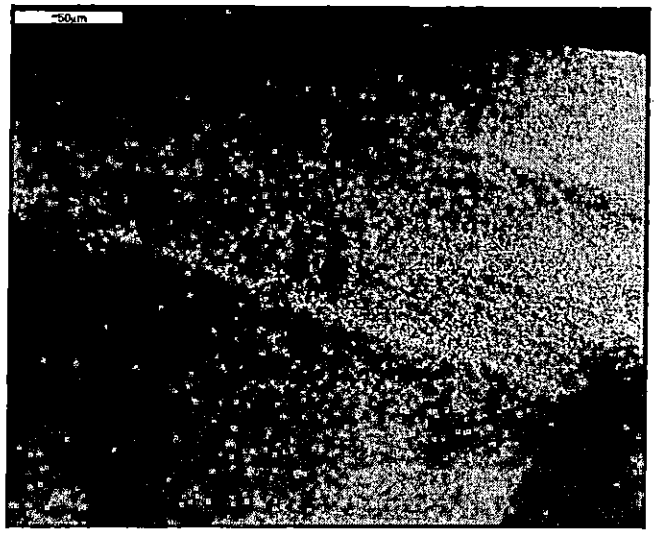
وإذا ما حاولنا توضيح العلاقة بين قدرة كل من التذرية والبرى وأي هما الأقدر على التأثير في الصحارى، فيمكن إيضاح أن العمليتان تعملان معاً في نفس الوقت ويصعب الفصل بين تأثيريهما. فعملية التذرية نطاق عملها أوسع من عملية البرى، حيث يمكن للرياح بسرعاتها المختلفة أن تحمل الرواسب الناعمة والخشنة، والبعض يرجع لعملية التذرية تكوين الأشكال الجيومورفولوجية الكبيرة الناتجة عن النحت مقارنة بعملية البرى وأن أثرها أوسع تأثيراً وامتداداً (Waltther, J.,1891,1901,1924; Schweinfurth,1896; Kaiser,E., 1923, 1926, 1927) (عن جودة، ١٩٩٨). ويجب أن تسبق عملية التذرية عملية البرى حيث تحصل الرياح على معاولها التي تبرى بها الصخور من خلال هذه العملية.

كذلك يلعب حجم الرمال التي تحملها الرياح دوراً هاماً في قدرة عملية التذرية والبرى في التشكيل، فإذا كانت سرعة الرياح بطيئة استطاعت أن تحرك الرواسب الأقل حجماً(٠,١٠– ٠,٢٥ملم وهى رمال ناعمة تحتاج لرياح سرعتها تتراوح بين ٨,٧٥–١٣عقدة)، ويلاحظ تأثير التذرية في عمان في معظم التلال والأرصفة الصحراوية حيث يخلو الحطام الصخري على السطح من الرواسب الناعمة، هذه الرياح مع استمرارها فترات طويلة قد تحدث بعض عمليات البرى فتصقل بعض الصخور أو تحزز بعضاً منها.

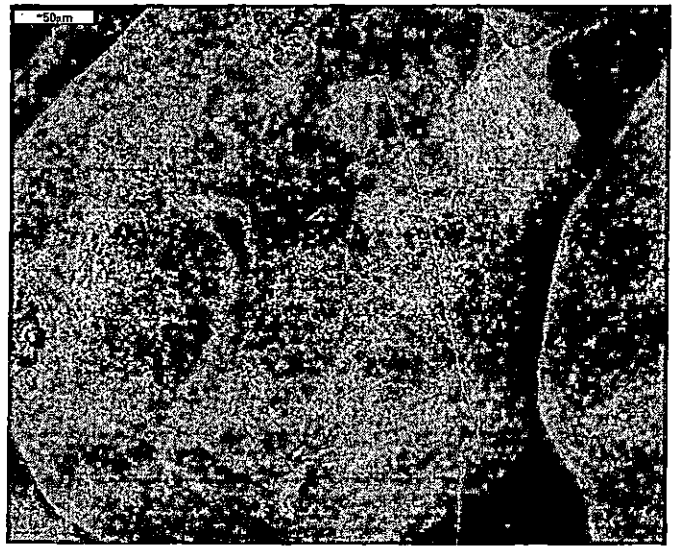
أما إذا زادت سرعة الرياح بالقدر الذي تستطيع معه رفع رمال متوسطة وخشنة وتحولها إلى عاصفة رملية عندما تبلغ سرعة الرياح ١٥,٥٥عقدة (شيخ، ١٩٩٩، ص١٥) (أحجام الرمال التي تتراوح بين ٠,٢٦-١ملم وهى الرمال المتوسطة والخشنة تحتاج إلى سرعة تتراوح بين ١٣,٢٢-١٦,٣٣عقدة) وتصطدم مع الحافات الصخرية البارزة أو تتحرك بقوة على الأسطح الصحراوية فتظهر بعض الأشكال الجيومورفولوجية البارزة على السطح. ومن هنا يمكن القول أن تأثير التذرية قد يكون أوسع تأثيراً ويمتد لمسافات بعيدة، بينما تأثير عملية البرى يكون أكثر وضوحا من خلال إظهار الأشكال وتكوين التضرس على السطح، كما تلعب طبيعة السطح دوراً بارزاً في ظهور قدرة كل من عمليتي التذرية والبرى على أداء دورها في التشكيل.

أما عملية التفتيت المتبادل[1] لرواسب الرمال التي تحملها الرياح توضحها لوحتي (١، ٢) لحبات رملية تم تحليلها بواسطة المجهر الألكترونى المساح، فيظهر على اللوحة الأولى الحزوز الطولية الناتجة عن نحت الرياح، كما توضح اللوحة التالية بعض الحفر الدائرية الناتجة عن الارتطام، ويتضح من التحليل الحجمى للرمال في الربع الخالي أن الرمال الناعمة تمثل ٨٥% من رمال الكثبان، كما تقل أحجامها بالاتجاه من الغرب إلى الشرق مما يدل على تغير أحجام الرمال مع اتجاه الرياح بفعل عملية التفتيت المتبادل وطول مسافة الحركة.

[1] وهى عملية تحدث للرواسب التى تحملها الرياح وتتحرك بها كحمولة عالقة، أو القافزة أو الزاحفة، وتتوقف عملية التفتيت لهذه الرواسب على اختلاف سرعاتها تبعاً لحجمها مما يؤدى إلى اصطدامها مع بعضها البعض مما يؤدى إلى تفتيتها أو بريها أو حدوث ثقوب بها.



لوحة رقم (١) إحدى حبات الرمال مكبرة ٣٧٠ مرة ويظهر عليها حزوز طولية من أثر نحت الرياح وهى تمثل إحدى صور الظاهرات الدقيقة الناتجة عن النحت وخاصة عمليتي البرى والتفتيت المتبادل لحبات الرمال أثناء حركتها.



لوحة رقم (٢) إحدى حبات الرمال مكبرة ٢٧٠ مرة توضح أثر الارتطام بين حبات الرمال أثناء عملية انتقالها

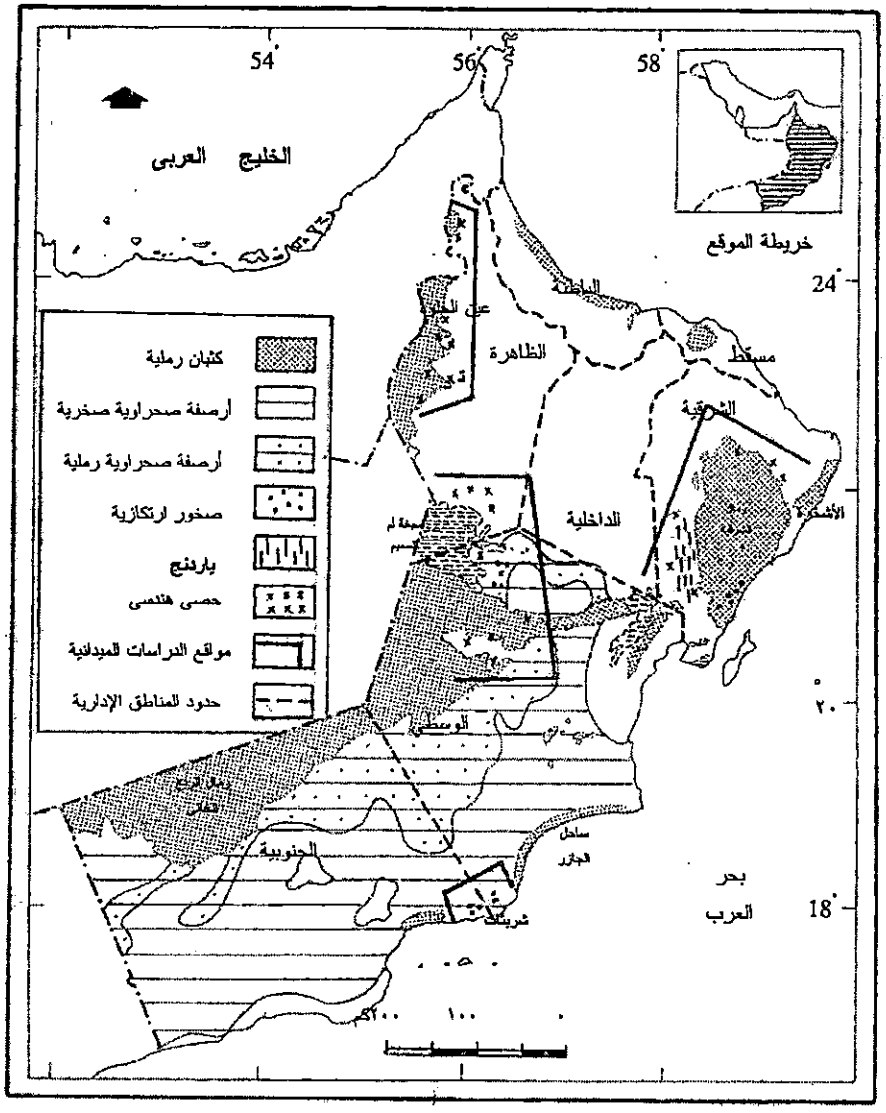
ثالثاً: الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح

مما سبق يتضح لنا توفر الظروف الملائمة لتشكيل العديد من الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت في الصحراء العمانية. وتتوزع هذه الأشكال الجيومورفولوجية بالقرب من بحار الرمال في الغرب والشرق ووسط عمان، ويوضح شكل(٧) توزيع أشكال النحت ومناطق الدراسة الميدانية لهذه الأشكال ، وترتبط الأشكال الصغيرة الحجم بالمناطق التي تقع في الممرات بين الكثبان الرملية الطولية والمساحات بين الكثبان الهلالية والعرضية والنجمية، بينما الأشكال كبيرة الحجم تتوزع على التلال والحافات بمحاذاة الكثبان الرملية والسواحل والأرصفة الصحراوية. ويلاحظ أن هذه الأشكال تكونت فى مختلف أنواع الصخور التي يتكون منها السطح العماني، إضافة إلى توزعها على مساحات كبيرة من عمان.

يواجه تفسير نشأة أشكال نحت الرياح صعوبة كبيرة نظراً لتأثر عملية التشكيل بأكثر من عامل في آن واحد. ويصعب تحديد هل هذه الأشكال حديثة التكوين أم قديمة. وتختلف الأشكال الناتجة عن النحت تبعاً للعملية التي أدت إلى تكوينها، وتشير بعض الدراسات (Bloom, 1978; Lancaster, 1984; Greeley & Iversen, 1985; Ritter, 1986; Cooke et al, 1993) إلى أن الأشكال الجيومورفولوجية يمكن تقسيمها إلى أشكال ناتجة عن عملية البرى مثل الحصى المشطوف، الياردنج، الصخور الأرتكازية، أسنان المنشار، الثقوب الريحية. والبعض الآخر ينتج عن عملية التذرية مثل الأرصفة الصحراوية. كما تقسم أيضاً بين أشكال كبيرة المقياس وصغيرة المقياس. وقد أمكن تحديد هذه الأشكال ودراستها في منطقة الدراسة، ولكننا لن نخوض الآن في إشكالية أي عملية هي المسئولة عن التشكيل، ولكن سوف نتناول النشأة والتطور لكل شكل على حده في الجزء التالي، وفيما يلي سوف نتناول الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت:

الياردنج Yardangs:

تتكون أشكال الياردنج في الصحارى، وهى أحدى الظاهرات التي تميز المناطق المتأثرة بنحت الرياح ولم تنال هذه الظاهرة حظها من الدراسة في عمان فلم تدرس من قبل، وتعبير ياردنج مشتق من التعبير التركستانى Yar أي بمعنى حافة، ويطلق عليها العديد من الأسماء ففي إيران يطلق عليها Kalut، وفى الجزائر Zbara (McCauley et al, 1977)، كما يطلق عليها أيضاً الأعراف والحرافيش، وكذلك يطلق عليها في مصر أحياناً الكدوات(كليو، ٢٠٠٠) ويستخدم تعبير Yardangsفي



شكل (٧) توزيع الأشكال الجيومورفولوجية الرخية ومناطق الدراسة الميدانية.

بعض الدراسات .(Embabi, 1999) وقد شبهت بالعديد من التشبيهات في تلك الدراسات مثل ظهور الحيتان أو هيكل سفينة مقلوبة، أو أبو الهول (Sphinx)كما أطلق عليها أيضا الأسود الطينية (mud-lions) (Greeley and Iversn, 1985, 139) وقد أطلق خلال هذه الدراسة تعبير ياردنج أبو الهول على بعض النماذج الشبيهة بذلك.

تعرف الياردنج بأنها عبارة عن حافات أو تلال طولية الشكل ترتفع عن مستوى سطح الأرض المحيطة بها تفصل بينها قنوات غائرة، وتتفاوت في أبعادها من منطقة إلى أخرى حيث تتراوح أطوالها بين عدة سنتيمترات في منطقة الدراسة، وقد تصل إلى ٣٠كم كما هو الحال في تبستى (كوك وآخرون، ١٩٩٤، ص٨٩)، وتختلف ارتفاعاتها أيضا بين عدة سنتيمترات في منطقة الدراسة، ٢٠٠ متر في إيران(كوك وآخرون، ١٩٩٤، ص٨٨) ويتضح من ذلك أن أشكال الياردنج تتفاوت في أحجامها تفاوتاً كبيراً بين الأحجام الصغيرة والضخمة، كما تتفاوت أيضاً في التكوينات التي تتكون منها من منطقة إلى أخرى، حيث تتشكل في تكوينات في مجملها لينة تتراوح بين تكوينات رملية متماسكة وطفلية وطينية وحجر طيني وحجر جيري ورواسب البلايا، وتتكون أيضاً في تكوينات صلبة كالجرانيت(McCauley et al,1977, p.234)، يوضح الجدول رقم (٦) التفاوت الكبير في بعض نماذج من أشكال الياردنج في مناطق مختلفة من العالم وأبعادها وتكويناتها ومسمياتها، ويمكن من خلال هذا الجدول تصنيف أشكال الياردنج إلى أشكال متوسطة أطلق عليها إمبابى Meso-yardangs، وأشكال كبيرة يطلق عليها Mega-yardangs، وسوف نطلق على الأشكال الصغيرة الحجم تعبير "جنينية" Minor-yardangs، وقد أطلق كوك على هذا النوع تعبير Micro-yardangs .(Cooke et al, 1993, p.296)

وتتمثل شروط تكون أشكال الياردنج بصورة أساسية إذا ما توفرت رواسب أو صخور لينة مع توفر اتجاه سائد للرياح وقدرتها على النحت بصورة عامة معظم شهور السنة، إضافة إلى قلة الغطاء النباتي وسيادة ظروف الجفاف.

أما فيما يتعلق بنشأتها وتطورها تشير الدراسات على أن عملية البرى هي المسئول عن تكوينها في كاليفورنيا(Blackwelderr, 1934)، بينما تشير الدراسات الحديثة والمعملية على أن التذرية تلعب دوراً مهماً في تطور الياردنج (Bosworth, 1922) وترجع دراسات أخرى تشكيلها إلى تضافر العديد من العمليات مثل التعرية النهرية والتجوية بالإضافة إلى عمليتي البرى والتذرية والتساقط الصخري (McCauley et al, 1977, p.234; Embabi, 1999, p.30 ;) (كليو، ٢٠٠٠، ص٤)

جدول رقم (٦) بعض نماذج لأشكال الياردنج في أقاليم مختلفة من العالم

الأقاليم	الأرتفاعات	الأبعاد	التكوينات	الاسم المستخدم	المؤلف
صحراء تكلا مكان –حوض تاريم – الصين	٢– ٢٠متر	مئات الأمتار	رواسب طينية	Yar	Sven Hedin,1903
صحراء لوط إيران Lut desert	٢٠٠ متر	–	رواسب رملية ناعمة وخليط من الطفل والطين	Kalut	Gabriel,1938
جنوب الجزائر	٢–٥ متر	–	طين وحجر طيني	Zbara	Capot-Rey,1957
تشاد Borkou region	–	٢٠ كم طول ١كم عرض	صخور الباليوزوى والميزوزوى	–	Hagedorn,1968; Hagedorn & Pachur,1971
صحراء ناميبيا	–	مئات الأمتار إلى ١٠كم	صخور الأساس	–	Kaiser,1926
الصحراء الغربية – مصر	٦,٥–١١ متر	تتراوح أطوالها بين ١–٦٥ متر يتراوح عرضها بين ٠,٧ – ١٦ متر	رواسب البلايا	Yardangs أحيانا كدوات	Embabi,1999
صحراء موهابى– الولايات المتحدة	–	–	رمال وراقات طينية	–	Blackwelder,1934
صحراء شرق عمان	تتراوح بين ٢٥سم إلى ٢٢ متر	تتراوح أطوالها بين ٣٠ سم إلى ٢٣ كم، ويتراوح عرضها بين ٠,١–١كم، ٨–١٢سم	رواسب رملية ريحية –كثبان رملية متماسكة	–	الباحث

المصادر: McCauley, J.F. & et al, 1977; Embabi, 1990

تتوزع أشكال الياردنج في المنطقة الشرقية من عمان، وتنقسم إلى نطاقين، النطاق الأولى وهو النطاق الرئيسي ويقع إلى الجنوب الغربي من رمال الشرقية (سوف نطلق عليه النطاق الغربي نسبة لرمال الشرقية)، ويمتد بطول يزيد عن ١٠٠كم وبعرض حوالي ٢١كم، أما النطاق الثاني فيقع بالقرب من الساحل الشرقي في المنطقة بين أصيلة ورأس الجينز إلى الشمال من رمال الشرقية (سوف نطلق عليه النطاق الشمال نسبة لرمال الشرقية)، ويمكن أن نلاحظ من هذا التوزيع أنها ترتبط بوجود الأشكال الرملية وبحر الرمال في هذه المنطقة، ويأتي هذا الترابط بسبب تكون الياردنج في الرواسب الريحية القديمة المتماسكة والمتحجرة، ولا يجب أن نعتقد بأن تكون الياردنج

مرتبط بوجود بحار الرمال، وليس أدل على ذلك من أن غرب عمان يتكون به رمال الربع الخالي ولا يوجد أثر لأشكال الياردنج، مما يجعلنا نربط تواجد هذه الأشكال بالتأثير البحري نتيجة لقربها من الساحل وهو العامل المؤثر فى تماسك الرمال، بالإضافة إلى أثر الأمطار في العصور المطيرة.

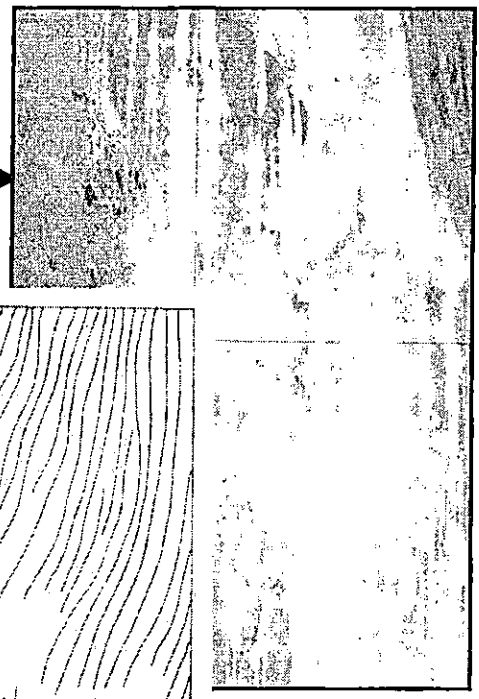
وتوضح الخرائط والمرئيات الفضائية أن أشكال الياردنج تحدها من الشمال والغرب مجموعة من المراوح الفيضية لأودية عندام وحلفين والبطحاء القادمة من جبال الحجر. وقد تكون هذه الأودية قد أثرت في فترات سابقة في رطوبة أرسابات الياردنج وتحجرها ويوضح الشكل رقم(٨) هذه الأودية واتجاهها نحو الرمال.

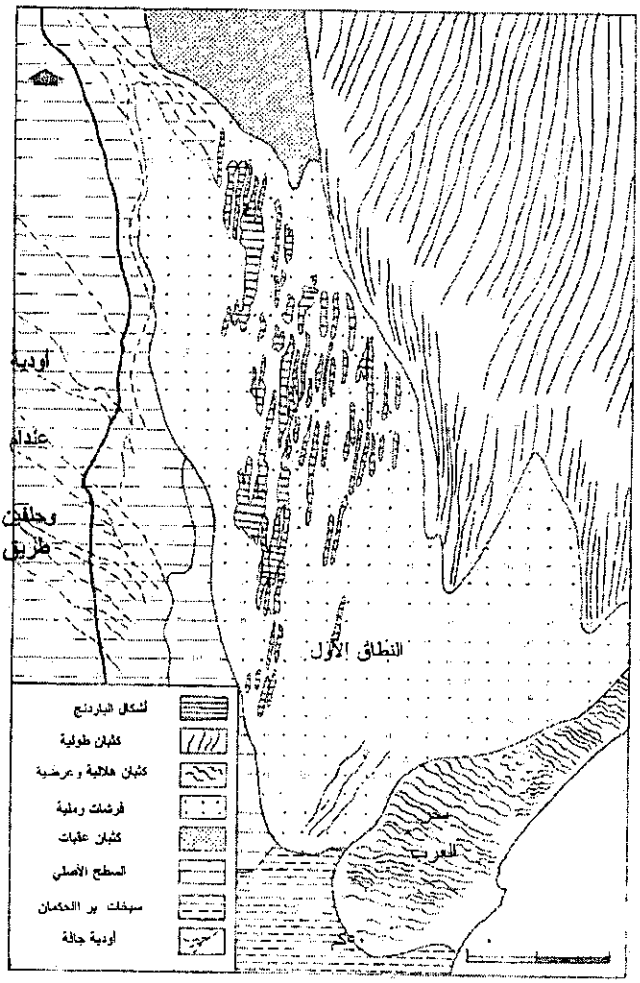
أما أشكال الياردنج في النطاقين فتوضحها اللوحتان(٥، ٦)، حيث توضح اللوحة (٥) أشكال الياردنج في النطاق الشمالي، حيث يغلب على هذا النطاق الأشكال الطولية المنتظمة(لوحتا ٥ أ، ب)، بينما توضح اللوحة(٥ ج) أحد أنماط الياردنج التي يظهر بها الجانب المواجه للرياح أكثر اتساعاً وارتفاعاً ويطلق عليه في بعض الدراسات (هيئة أبو الهول). وتوضح اللوحة رقم (٦) نموذج من أشكال الياردنج في النطاق الغربي وهى أكثر ارتفاعاً واتساعاً، كما تظهر بها أثار نحت الرياح ممثلة في ثقوب الرياح والحزوز الطولية المتوافقة مع اتجاه الرياح.

أبعاد الياردنج:

يوضح الجدول رقم (٧) أبعاد الياردنج فى منطقة الدراسة، وقد تم تقسيمها إلى نوعين كبيرة وصغيرة. تتراوح أطوال الأشكال الكبيرة بين ١-٢٣ كم بمتوسط قدره ١١,٣ كم، ويتراوح عرضها بين ١٠٠-١٣٠٠متر بمتوسط قدره ٥٠٠متر، كما تتراوح نسبة الطول إلى العرض بين ١/ ١٠ - ١/ ٥٠، تشير الدراسات إلى أن هذه النسبة تستخدم كدلالة عن مرحلة التطور التي تمر بها الياردنج (Embabi, 1999, p.25)، وتشير دراسة أمبابى في الصحراء الغربية المصرية، وكذلك الدراسات في بيرو وإيران وجنوب أفريقيا وأريزونا أن نسبة ١/ ٤ تدل على أن الشكل في مرحلة النضج. وقد يرجع ارتفاع نسبة العلاقة بين الطول والعرض في منطقة الدراسة إلى أنها تتكون من كثبان رملية طولية قديمة وأنها ما زالت في مرحلة الطفولة وطور التكوين. أما عن الياردنج الجنينية (لوحة رقم ٤) تتراوح أطوالها بين ٣٠-٤٠سم، وعرض ٨-١٢ سم، وتشير نسبة الطول إلي العرض بأنها تتراوح بين ٣/١ - ٤,٤/١ وهى نسبة قريبة من النسبة المذكورة سابقاً وتشير إلى أن هذه الأشكال وصلت إلى مرحلة النضج، وهى قليلة العدد في المنطقة. وتتراوح ارتفاعات الياردنج الكبيرة بين ١- ٢٢ متر، بينما الياردنج الصغيرة تتراوح بين ١٠ - ١٥ سم.

لوحة رقم (٣) مرئية فضائية توضح أشكال الياردنج فى الهضبة الرعية غرب رمال الشرقية – النطاق الأول.





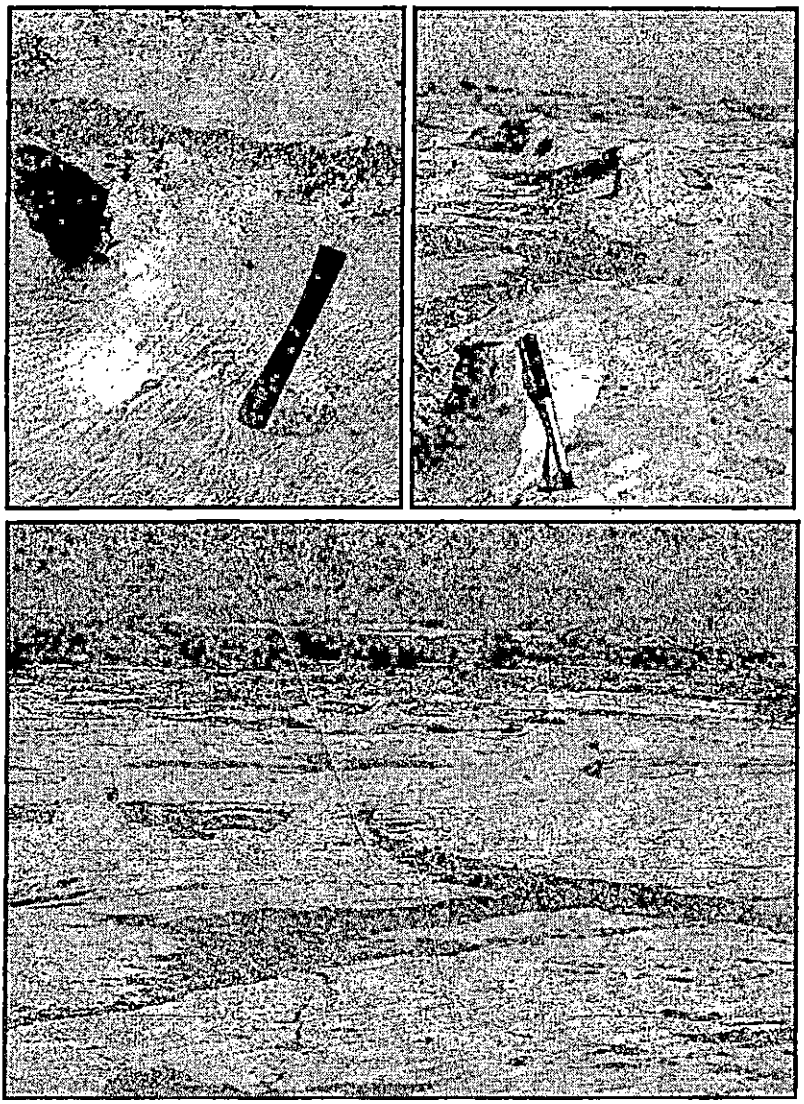
شكل رقم (٨) مورفولوجية المنطقة الواقعة جنوب غرب رمال الشرقية

جدول رقم (٧) أبعاد الياردنج في المنطقة الشرقية

الطول (كم)	العرض (كم)	الأرتفاعات (متر)	الاتجاه بالدرجات	نسبة الطول /العرض
ياردنج كبيرة الحجم				
١١	٠,٥		٣٦٠	٢٢/١
٩	٠,٣		٣٦٠	٣٠/١
١٣	٠,٤		٣٦٠	٣٢,٥/١
١٣	٠,٦		٣	٢١,٦/١
٢٣	١	تتراوح الأرتفاعات	٣٦٠	٢٣/١
١٧,٥	٠,٨	بين	٣٦٠	٢١,٩/١
١,٥	٠,١	١ متر إلى	٢٠	١٥/١
١	٠,١	٢٢ متر	٨	١٠/١
١٧	٠,٨		١٠	٢١,٣/١
٢١	١,٣		٨	١٦,٢/١
١٢,٥	٠,٣		١٠	٤١,٧/١
٩	٠,٧		٣	١٢,٩/١
٥	٠,١		٣٦٠	٥٠/١
٥,٥	٠,٢		٥	٢٧,٥/١
٤	٠,٢		٣٦٠	٢٠/١
١٨	٠,٨		٣٥٥	٢٢,٥/١
ياردنج صغيرة الحجم				
الطول (سم)	العرض (سم)	الأرتفاعات (سم)	الاتجاه بالدرجات	نسبة الطول /العرض
٣٠	١٠	٢٥	٢٠	٣/١
٣٥	٨	١٥	٢٠	٤,٤/١
٤٠	١٢	١٠	٢٠	٣,٣/١

المصدر: دراسات ميدانية ومرئيات فضائية وخرائط مقياس ١/١٠٠٠٠٠.

ويوضح الجدول (٧) محاور اتجاهات اليارندج وقد تم حصرها فى الاتجاهات بين شمال الشمال الشرقي في الجنوب، وشمال الشمال الغربي في الجزء الشمالي الغربي من النطاق، وشمالي جنوبي فى الجزء الغربي والأوسط من النطاق، وتتراوح زوايا الانحراف بين 20° – 350°. وبمراجعة الجدول رقم (٣) الذي يوضح اتجاهات وسرعات الرياح يتضح أن اتجاهات اليارندج تتفق مع الرياح السائدة من الجنوب الغربي والتي تستمر معظم شهور السنة حيث تستمر في الفترة بين مارس حتى أكتوبر، وتتراوح سرعاتها بين ٦–١٣ عقدة، وأحيانا تتراوح أقصى السرعات بين ١٧–٦٤ عقدة. بينما في الشتاء تكون الرياح شمالية وشمالية شرقية خلال الفترة من أكتوبر إلى فبراير.



لوحة رقم (٤) أشكال الياردنج ذات الحجم الصغير تتكون على السطح الرملي المنحجر في بعض المنخفضات في المنطقة الواقعة بين رمال الشريقة شرقاً ووادي حلفين وعندام غرباً

النشأة والتطور:

يجدر بنا أن نتساءل هل هذه الأشكال حديثة التكوين أم أنها قديمة وما زالت تتشكل؟ وتشير الدلائل إلى أنها أشكال قديمة التكوين ومازالت عملية التشكيل مستمرة، وسوف يتضح ذلك من خلال المناقشة التالية.

أشارت دراسات بعثة الجمعية الجغرافية الملكية لدراسة رمال آل وهيبة ١٩٨٦، وأتضح كذلك من خلال الدراسات الميدانية التي تمت خلال الفترة من ٢٠٠٢-٢٠٠٦ لمنطقة الدراسة الحالية، أن المنطقة ترسبت بها ثلاثة بحار رمال يرتكز كل منها على الآخر، وأحدثها يغطى ربع المساحة الكلية لرمال الشرقية (دينز برونسدن، رون كوك، ١٩٨٦) وتدل الرمال المتماسكة على حدوث تغير مناخي في فترات سابقة وكذلك تغير في اتجاهات الرياح.

تتلخص العوامل التي تتحكم في تكون الأشكال الريحية في المنطقة في نهاية الزمن الثلاثي والرباعي في ثلاثة عوامل أولها تغير مستوى سطح البحر والرواسب البحرية في المنطقة بين جزيرة مصيرة واليابس الرئيسي لعمان، وقد كانت هذه المنطقة مصدراً للرواسب التي أرسبت في المنطقة الشرقية، وقد لعب تغير مستوى البحر دوراً رئيسياً في تحول الرياح إلى النحت بعد ارتفاع المستوى. العامل الثاني وهو المناخ ويتمثل في أكثر من عنصر فالرياح لعبت دوراً رئيسياً في تحديد نمط الكثبان ونقل الرمال والنحت، كما لعبت الأمطار والرطوبة النسبية أيضاً دوراً هاماً في تثبيت الكثبان والرواسب وزيادة الغطاء النباتي في هذه الفترة. العامل الثالث وهو مستوى المياه الجوفية وأثرها في تلاحم الرواسب وتحديد عملية التذرية (Gardner, 1988, p.90) .

يوضح الشكل رقم (٩) تصور للتطور الذي حدث في المنطقة، ففي منتصف البلايوستيسن حدث تغير في مستوى سطح البحر، وأصبحت المنطقة بين جزيرة مصيرة واليابس العماني مصدراً للرمال التي تراكمت على اليابس أعلى تكوينات برزمان والحصى النهري، وتلاحمت هذه الرواسب بعد تغير المناخ بواسطة السبخات والمياه الجوفية وأنظمة الأودية. بدأت في مرحلة الجفاف تكون مجموعة من الميسات واليارندج والمدرجات على الهضبة التي تكونت بفعل عمليات نحت الرياح والنحت النهري، وأصبحت الرمال نتاج عملية النحت مصدراً للرمال في الشمال والشرق، وقد أدت زيادة ظروف الجفاف إلى نشاط عملية النحت وتكوين أشكال ريحية مختلفة في المنطقة.

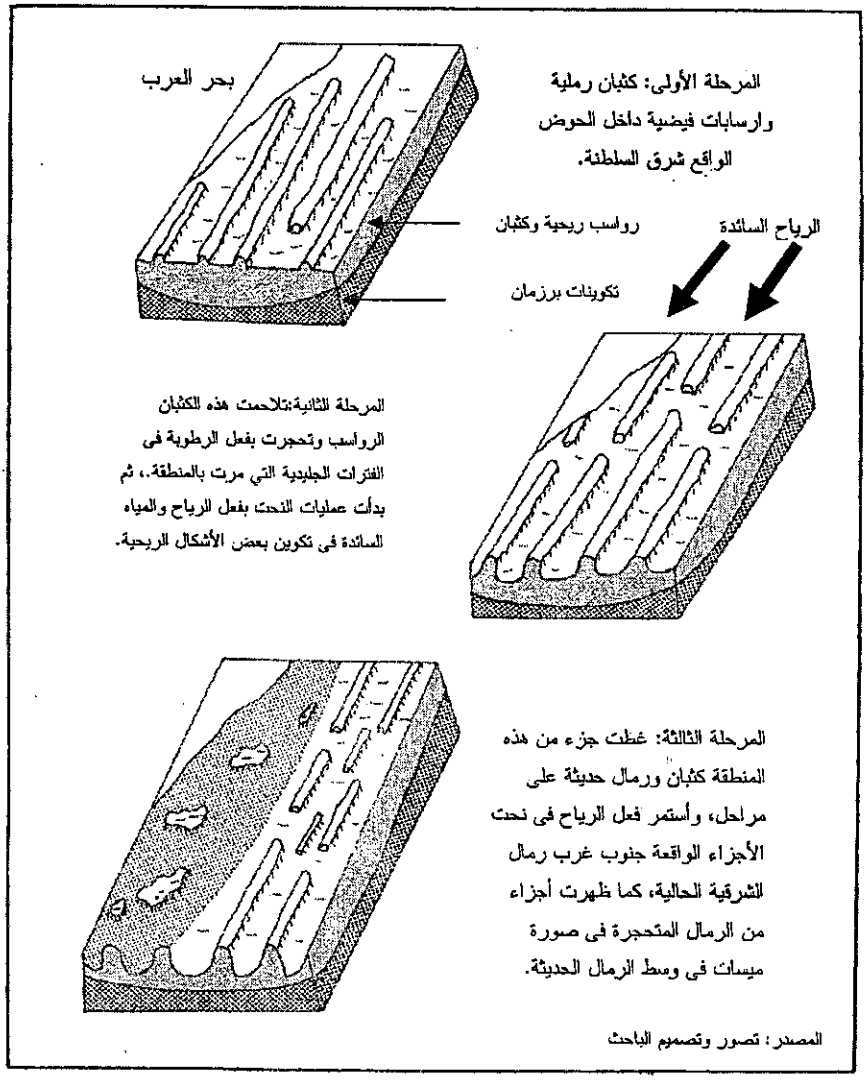
ترتكز رمال الشرقية على طبقة من الكثبان الرملية المتحجرة والرواسب المتلاحمة بفعل الرطوبة خلال فترات مطيرة سابقة، وليس أدل على ذلك من وجود

أنظمة الأودية الجافة التي تتجه إلى الحوض الذي ترسبت فيه الرمال. وتظهر الطبقة المتحجرة في جنوب غرب رمال الشرقية الحديثة. وتظهر في صورة حافات طولية تنحتها الرياح. كما تنحت الرياح السطح وتعمل على تخفيضه، كما تظهر هذه الرواسب أيضا فيما بين الكثبان الرملية الحديثة، وتظهر بها أشكال البنية الداخلية للكثبان الرملية من طبقات متقاطعة وحوضية وغيرها(لوحة رقم ٧ ا، ب). وتظهر هذه الرواسب أيضا في شمال رمال الشرقية في بعض المواقع غرب أصيلة والأشخرة، ويذكر برونسدن(برونسدن، كوك، ١٩٨٦، ص١٤) أن هذه الرواسب تغطى ما يقرب من ٣٠٠٠٠كم^{٢} أي ربع مساحة رمال الشرقية، ومن المحتمل أن تكون هذه الرواسب تنتشر على مساحة أكبر من ذلك نظراً لظهورها إلى الشمال من رمال الشرقية في مواقع متفرقة. وقد تلاحمت هذه الرواسب نتيجة لمواد جيرية موجودة بنسب كبيرة بها.

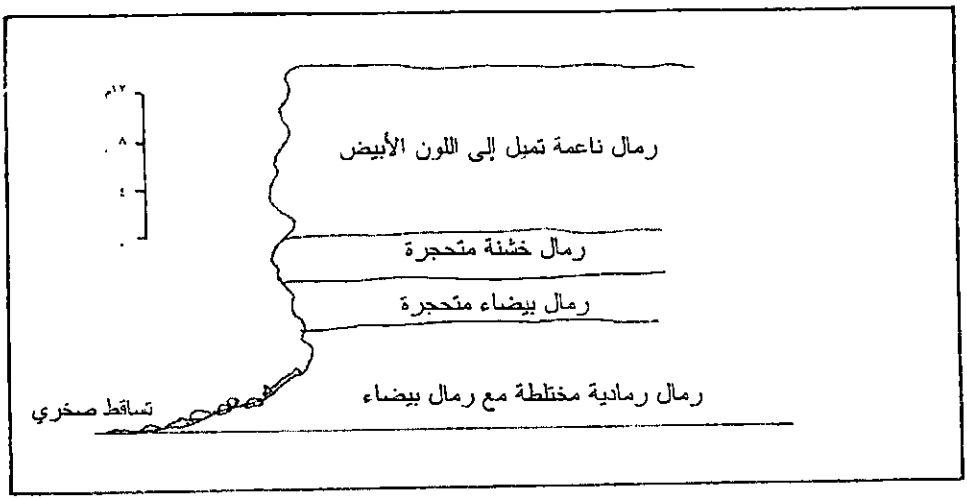
ويوضح الشكل (١٠) أحد القطاعات العرضية على أحد سفوح الياردنج، ويتضح من الشكل وجود أكثر من طبقة من الرمال المتحجرة، وتدل ألوانها ودرجة تماسكها على أنه يوجد أكثر من مرحلة من الأرساب كونتها، وبدأت الرياح في النحت وتشكيلها في الهيئة الطولية التي عليها الآن.

مما سبق يتضح أن أكثر من عامل تضافر في تكوين الياردنج وتشكيلها، وتشير اتجاهات الياردنج إلى أن الرياح هي العامل المسؤل عن تكوينها نظراً لتوافق اتجاهات الرياح السائدة مع اتجاهات الياردنج. كما لعبت الأنظمة النهرية دوراً في تقطيع جوانب الهضبة وتجزئتها، وتظهر اللوحات رقم(٧-ج) أن التجوية والتساقط الصخري والانهيارات لعبت أيضاً دوراً في تفتيت السطح والجوانب مما أدى إلى وجود دور بارز لعملية التذرية.

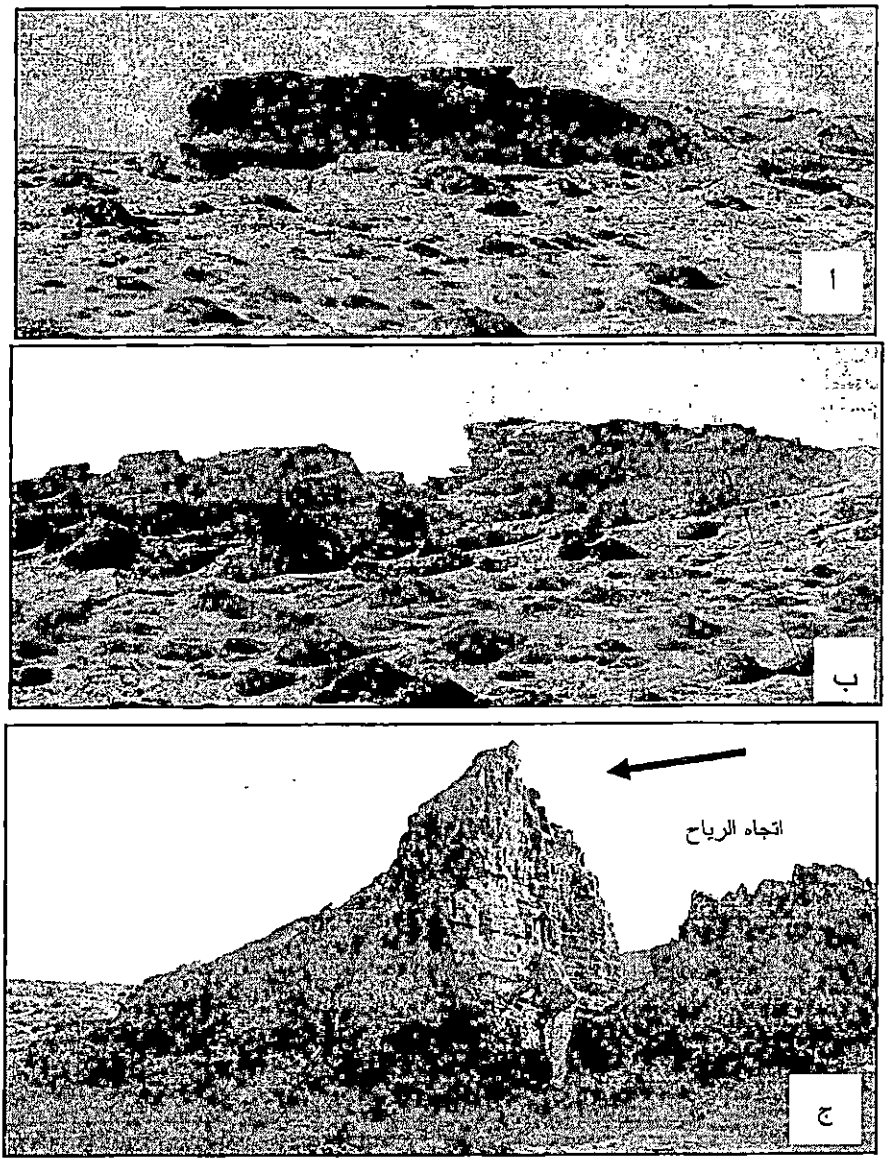
يذكر التوم بعض الآراء التي تتناول معدلات نمو وتكوين أشكال الياردنج، حيث يبلغ المعدل في كاليفورنيا ٢,٣سم/سنة، وبلغ المعدل في مالي ٩٢ملم/ألف سنة، بينما في الصحراء الغربية المصرية تكونت الياردنج في نهاية الميوسين وبداية البليوسين(التوم، ٢٠٠٤، ص١٢٧)، أما في منطقة الدراسة فقد أوضحت الدراسات أن رمال الأرساب القديم التي تكونت بها الياردنج يرجع عمرها إلى حوالي المليون سنة، حيث تكونت بفعل التذرية خلال الفترات الجليدية الجافة ثم تلاحمت خلال فترات جليدية انتقالية رطبة(برونسدن، كوك، ١٩٨٦، ١٨).



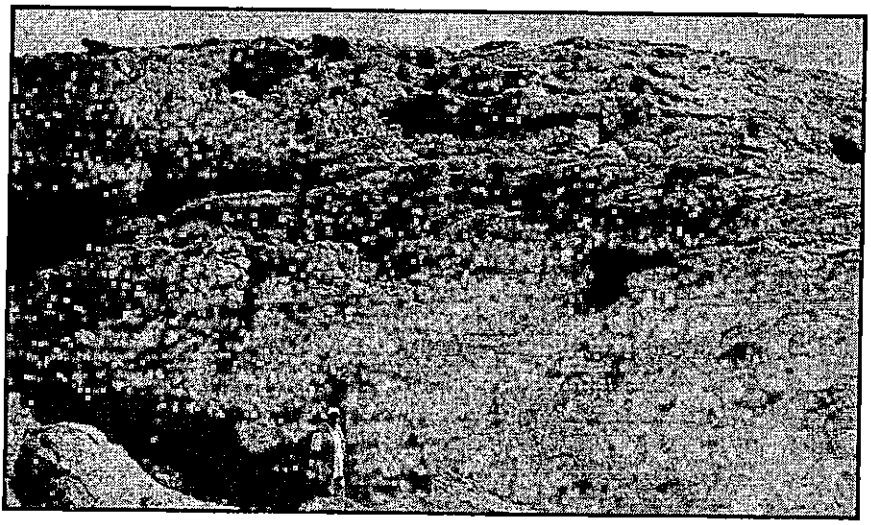
شكل رقم (٩) مراحل تطور الهضبة الرخية وتشكيل اليار دنج والميسا فى جنوب غرب رمال الشرقية.

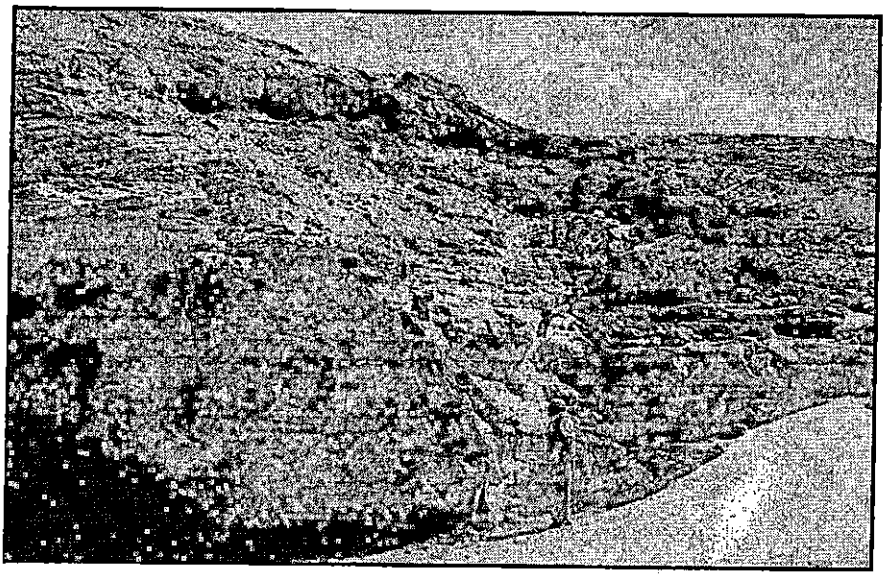


شكل رقم (١٠) قطاع رأسي في إحدى تلال البارخان توضح الطبقات المتحجرة التي تراكمت منذ البلايوسنين أسفل الرمال الحديثة.

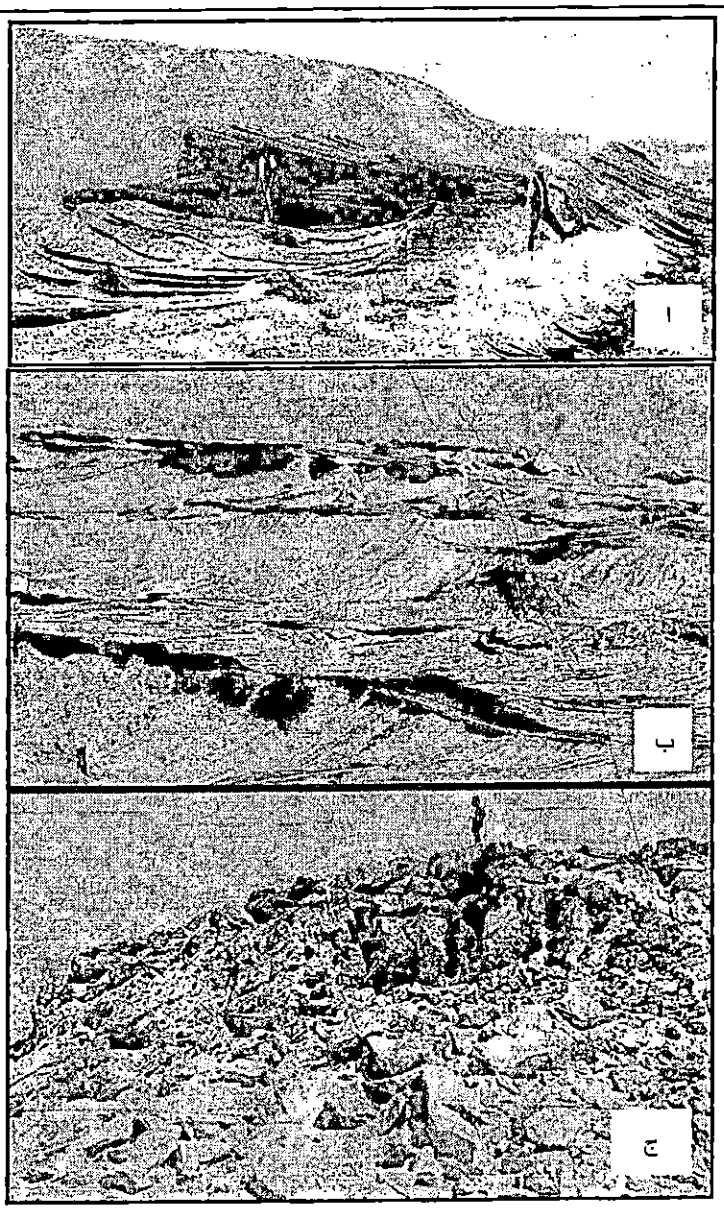


لوحة رقم (٥) أشكال الياردنج فى النطاق الشمالي، وتظهر اللوحة (أ، ب) الشكل الطولي المنتظم، بينما تظهر اللوحة (ج) شكل على هيئة أبو الهول وقد سجل هذا الشكل فى دراسات أخرى فى الصحراء الغربية المصرية. وتظهر على هذه الحافات آثار نحت الرياح فى صورة قنوات غائرة طولية مع الاتجاه السائد للرياح





لوحة رقم (٦) توضح ثقوب الرياح الدائرية وغير المنتظمة فى شكلها على سفوح الياردنج، كما يظهر أثر النحت الطولى للرياح مع اتجاه امتدادها، ويظهر فى الطرف الجنوبي للوحة الرمال الحديثة تغطى أجزاء من الياردنج. كما توضح اللوحة وجود مرحلتين مختلفتين فى صلابتهما، كما تظهر أشكال البنية الداخلية للكثبان القديمة.



لوحة رقم (٧) توضح بعض الأشكال الرئيسية التي ظهرت على السطح وهي بقايا الكثبان الرملية القديمة والهضبة القديمة. (ا) توضح أحد أشكال الياردنج في وسط الممرات بين الكثبان الرملية الطولية الحديثة، (ب) توضح الرمال المتحجرة وقد نحتت بفعل الرياح في أشكال غير منتظمة تظهر بها البنية الداخلية للكثبان، (ج) أحد جوانب الياردنج وقد ظهر عليها أثر الانهيالات والتساقط الصخري

الصخور الارتكازية: Pedestal Rocks

يطلق عليها العديد من المسميات التي تعبر عن الشكل الذي تبدو عليه، فأحيانا يطلق عليها الموائد الصحراوية أو الموائد الصخرية، أو الجبال المفردة أو عش الغراب ونبات الفطر Mashroom ، وسوف نستخدم تعبير الصخور الأرتكازية في دراستنا. وغالباً ما تتكون هذه الأشكال في التكوينات الجيولوجية ذات الطبقات الأفقية على أن تكون في صورة تتابع بين الصخور الصلبة واللينة، وتظهر هذه الأشكال في الجزء العلوي أكبر حجماً من الصخور التي ترتكز عليها، وقد تكون الطبقة العليا مسطحة، وتعمل الرياح على نحت التكوينات اللينة بفعل عملية البرى بمعدلات أسرع من الطبقات الصلبة العليا، وتعمل الخصائص البنيوية من شقوق وفواصل وأسطح الطبقات فى المساعدة على زيادة عملية النحت، وقد تؤدى إلى ظهور بعض الأشكال نتيجة لتركز عملية النحت خلال هذه الشقوق فتتكون فى صور مختلفة أطلق عليها البعض الأعمدة والمداخن Rock chim (تراب، ٢٠٠٥، ص٣٢٥) أو يطلق عليها الشواهد نتيجة لزيادة ارتفاعها عنَ عرضها.

وقد كانت نشأة هذه الأشكال مثار جدال بين الباحثين، فقد أشار البعض إلى النشأة المركبة بين الرياح وعوامل التجوية والتعرية النهرية والإذابة. ويذكر إمبابى أن الصخور الأرتكازية قد تكون نتيجة عمليات قديمة مثل الإذابة في بحيرات قديمة، ولسيادة ظروف الجفاف والتذرية للرواسب البحيرية ظهرت هذه الموائد على السطح، وظهر الجزء السفلى على السطح أقل من الجزء العلوي الذي ظل فيما قبل أعلى السطح. وقد تكونت الصخور الأرتكازية في منخفض الفرافرة نتيجة للتجوية الكيميائية ونحت الرياح (Embabi, 2004, p.189)، لذلك لابد من التعرف على أثر نحت الرياح من خلال وجود القنوات الغائرة التي لا تتكون إلا بفعل الرياح.

ويمكن أن تتكون الصخور الأرتكازية بفعل تقطيع الأودية للسطح في فترات انخفاض مستوى القاعدة، فتتكون بذلك كتل هضبية منفصلة ما تلبث أن تتراجع بفعل الرياح والتجوية، حيث تعمل التجوية على أضعاف الصخر خاصة القريب من السطح لتستطيع الرياح حملها مما يؤدى إلى تطور الشكل. كما يذكر جودة أن التجوية الكيميائية تلعب دوراً بارزاً في تشكيل الصخور الأرتكازية ويدلل على ذلك بتواجدها في مناطق أكثر رطوبة ولا أثر للرياح بها(جودة، بدون تاريخ، ص٣٥٤).

مما سبق يتضح أن الصخور الأرتكازية لها نشأة مركبة حيث يجتمع أكثر من عامل في تشكيلها، وقد وضح ذلك في منطقة الدراسة حيث يظهر أثر الإذابة والتعرية

النهرية في المنطقة الجنوبية، كما يظهر أثر التجوية والإذابة في المنطقة الوسطي بجانب أثر الرياح كما سيتضح بعد قليل.

تتشكل الصخور الأرتكازية في مناطق عدة من عمان، ويوضح الجدول(٨) مواقع الأشكال التي تم دراستها ميدانياً، وقد تناولنا هذه الأشكال في ثلاثة مناطق رئيسية يوضح الشكل(٧) توزيعها، وهى:-

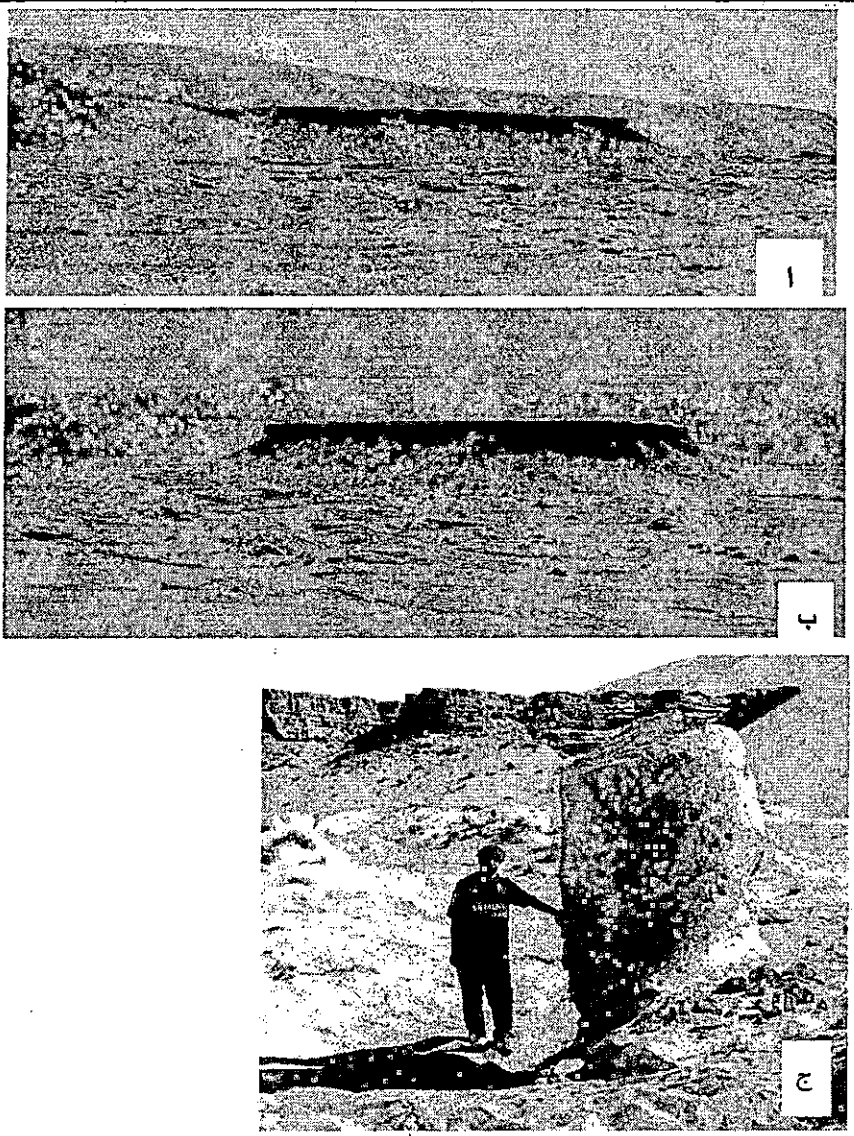
- الصخور الأرتكازية والميسات في المنطقة الشرقية.
- الصخور الأرتكازية في المنطقة الوسطي.
- الصخور الأرتكازية في المنطقة الجنوبية.

الصخور الأرتكازية والميسات في المنطقة الشرقية:

ويمكن التعرف على خصائصها من خلال اللوحات رقم(٨أ، ب، ج). حيث تظهر في اللوحات بقايا الهضبة الريحية التي تكونت في المنطقة الشرقية في عصر البلايوستسين وتحجرت في فترات رطوبة سابقة، ثم بدأ فعل المياه والرياح في تقطيعها ونحتها فتكونت بعض الموائد الصحراوية في وسط رمال الشرقية، وقد تطورت في بعض الأحيان لتتكون منها أعمدة رأسية بعدما أزيلت الطبقة الرملية العليا الأكثر صلابة، ويظهر على جوانب الموائد المفتتات الناتجة عن عملية التساقط من الطبقة العليا وتحمى الأجزاء السفلى منها. ويبلغ ارتفاع هذه الموائد حوالي ستة أمتار، بينما يصعب تأكيد أبعادها نظراً لامتدادها أسفل الرمال بينما ظهر منها على السطح بعض الأجزاء تقدر بعشرات الأمتار.

الصخور الأرتكازية في المنطقة الوسطي:

يوضح الشكل(١١) قطاعات عرضية فى بعض الموائد الصحراوية في المنطقة الوسطي، كما تظهر اللوحة رقم (٩) هذه الأشكال واثر الرياح في تكوينها، ووضوح الطبقة العليا الصلبة التابعة تكوينات فارس(ميوسين- بليوسين) مرتكزة على صخور طباشيرية.وتظهر الموائد الصحراوية في موقعين من المنطقة الوسطي. الموقع الأول إلى الجنوب الغربي من سبخة أم السميم وهى عبارة عن تلال مستوية القمم طولية الشكل سلمية فى بعض الأحيان نتيجة لارتكاز الصخور الطباشيرية على طبقة جيرية صلبة أخرى، كما تظهر بعض التلال المحدبة التي تآكلت عنها الطبقة العليا وظلت صخور الطباشير على السطح في طريقها للزوال. وتتراوح ارتفاعات هذه التلال بين ١٠-٢٠متر، وتتراوح أطوالها بين ١٠٠-٥٠٠ متر، ويتراوح عرضها بين ٥-١٥متر.



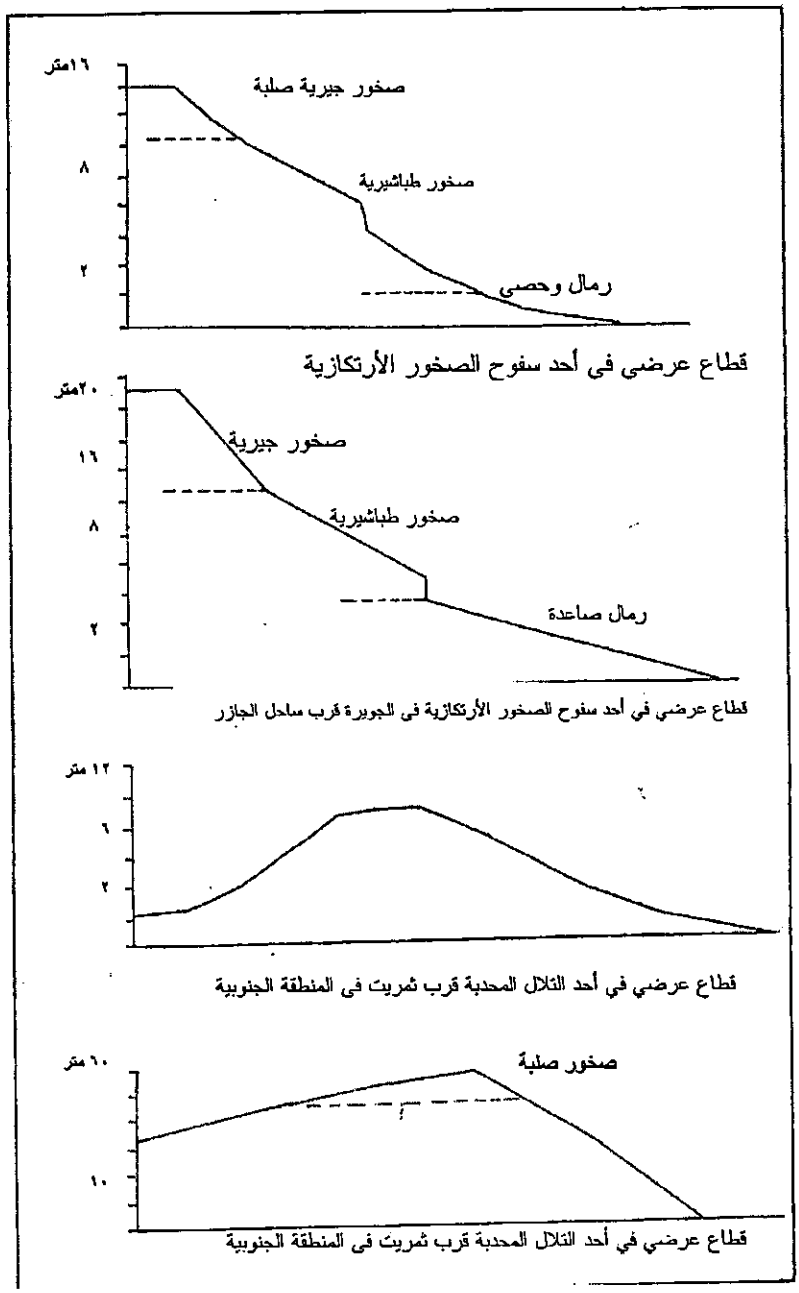
لوحة رقم (٨) توضح الميسات والأعمدة المتكونة فى الهضبة الرملية التي ترتكز عليها رمال الشرقية. (أ، ب) توضح ميسات مسنونة التقمر تغطى الكثبان الرملية أجزاء منها، كما تغطى سفوحها الحطام المتساقط من الطبقة السطحية نتيجة عملية التقويض السفلى للرياح، (ج) أحد الأعمدة الرملية المتكونة بفعل نحت الرياح فى الرواسب المتحجرة، ويظهر فى خلفية اللوحة إحدى جوانب ميسا تظهر من أسفل الكثبان الرملية الحديثة.

الموقع الثاني في سهل صوقرة وساحل الجازر، ويوضح الشكل(١١) قطاعان عرضيان في الموائد الصحراوية لهذا الموقع وهى لا تختلف في هيئتها عن سابقتها، وقد بلغت ارتفاعاتها حوالي ٢٠ متر أعلى سطح الأرض المحيطة بها.

<u>الصخور الارتكازية في المنطقة الجنوبية:</u> تتوزع هذه الأشكال في ثلاثة مواقع. الموقع الأول ويقع إلى الغرب من مقشن، وتوضحها اللوحات(١٠)، وتتكون الطبقة العليا من الحجر الجيري الحبيبي الصلب التابع لمجموعة حضرموت (الأيوسين المتأخر) مرتكزاً على صخور طباشيرية، ويبلغ سمك الطبقة الصلبة حوالى المتر ويبدو متسعا في البعض، بينما في البعض الآخر يأخذ شكل عش الغراب، ويتراوح سمك الجزء الظاهر من الصخور الطباشيرية بين ٣٠سم – واحد متر.كما تظهر بعض أجزائها في صورة سفوح محدبة يغطى بعضها الحطام الصخري وترتفع عن سطح الأرض المحيطة بها بحوالى ٥ متر.

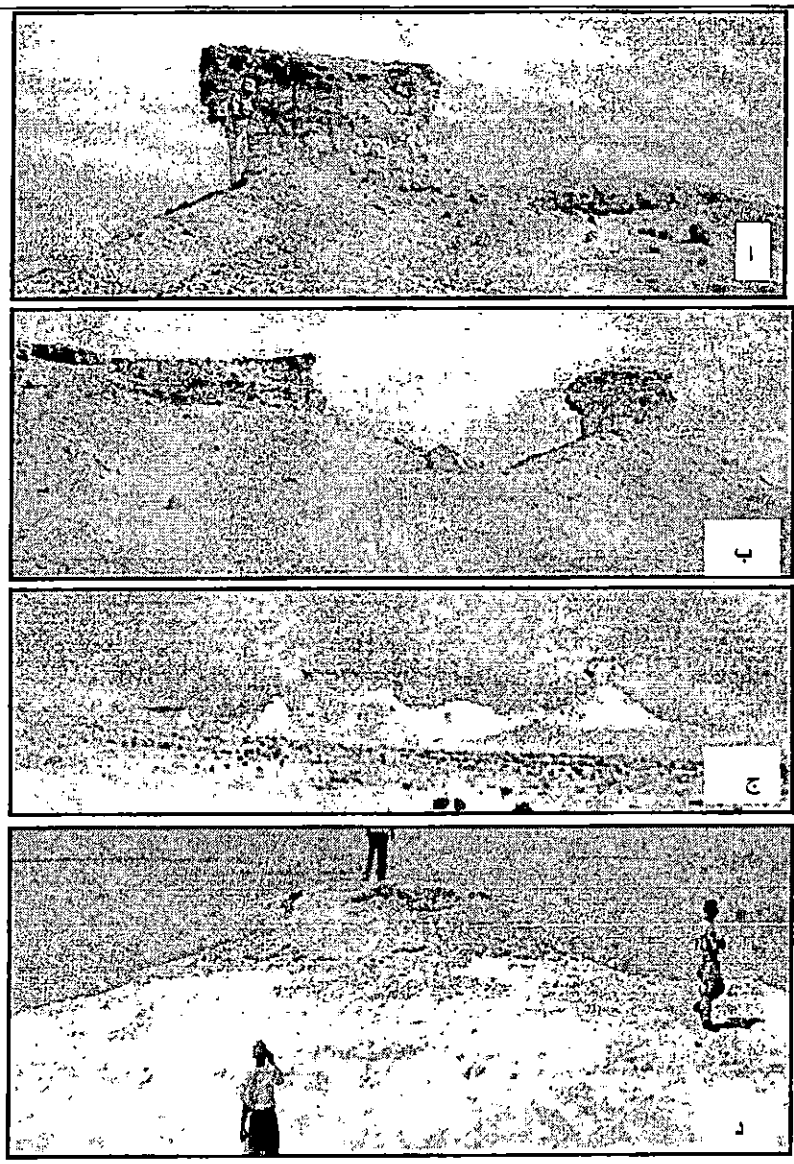
الموقع الثاني إلى الشرق من طريق صلالة ثمريت حيث تظهر التلال المستوية القمم والمخروطية والمحدبة، ويظهر الشكل(١١) قطاعان عرضيان محدبان لهذه التلال، وتتراوح أرتفاعاتها بين ١٥–٥٨ متر تقريباً، ويظهر في المنطقة أثر التعرية النهرية في تقطيع هذه التلال، مما أدى لنشاط نحت الرياح فيما بعد.

الموقع الثالث قرب شربثات حيث تظهر على جانب الطريق تلال مستوية القمم، تقطعها بعض روافد الأودية، تكون الطبقة العليا من صخور الحجر الجيري الصلبة من مجموعة ظفار (الأيوسين المتأخر– الميوسين الأوسط) وتظهر عليها آثار الإذابة نتيجة التأثير البحري، ويتراوح سمك هذه الطبقة حوالي ٦٠سم، يميل لونها إلى اللون الأسود نتيجة لعملية الأكسدة، كما يصل سمك الطبقة الطباشيرية التي ترتكز عليها حوالي ٥٠متر، ويميل المنحدر بزاوية ٤٠وتوضح اللوحات (١١) هذه الأشكال، كما توضح تساقط الطبقة العليا الصلبة على جوانب التلال نتيجة لعملية التقويض السفلى التي تتم بفعل الرياح والإذابة.

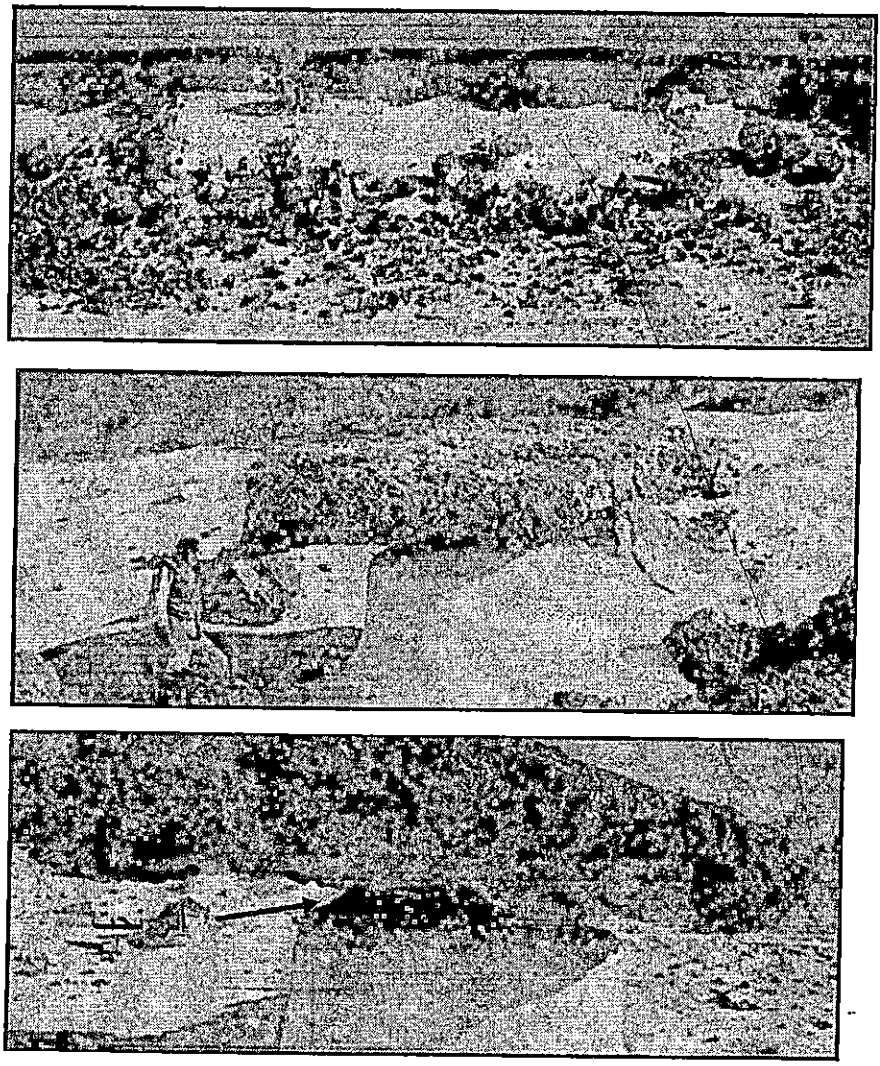


شكل رقم (١١) قطاعات عرضية للصخور الأرتكازية في منطقتي الوسطي والجنوبية

لوحة رقم (٩) توضح الصخور الأركازية في المنطقة الوسطي من عمان إلى الجنوب الغربي من سبخة أم السمير. وتظهر اللوحات استواء القمة المتكونة من صخور الحجر الجيري وترتكز على التكوينات الطباشيرية، كما تظهر اللوحة العليا في الجزء الأيمن منها بعض التلال المخروطية نتيجة اختفاء الطبقة العلوية. كما تظهر اللوحة العليا التلال السلمية نتيجة لتكرار طبقة صلبة من الحجر الجيري أسفل تكوينات الطباشير.



لوحة رقم (١٠) توضح الصخور الأرتكازية فى المنطقة الجنوبية قرب متشن. وتوضح اللوحات (أ، ب، ج) ظاهرة عش الغراب المتكونة فى الصخور الطباشيرية التي ترتكز عليها صخور الحجر الجيري، اللوحة (د) توضح إحدى الموائد فى مرحلة الشيخوخة وقد بدأت الطبقة الصلبة فى التآكل.



لوحة رقم (١١) توضح ظاهرة عش الغراب فى جنوب شرق عمان قرب الساحل إلى الغرب من قرية شريتات. وتوضح اللوحات أثر الإذابة فى الصخور الطباشيرية وتركز عليها الصخور الجيرية، وتظهر اللوحات تضافر أثر الإذابة ونحت الرياح معاً.

النشأة والتطور:

ترتبط نشأة الصخور الأرتكازية في سلطنة عمان بانخفاض مستوى سطح البحر الذي تعرضت له سواحل عمان، مما أدى إلى تخفيض السطح عن طريق فعل التعرية النهرية فى فترات سابقة فظهرت الموائد الصحراوية متقطعة ومتباعدة في مناطق تعد بقايا عملية تخفيض السطح، بعد ذلك نشط فعل الرياح في تطور هذه التلال، وقد تكونت بهذه الطريقة التلال الموجودة مقشن وثمريت والجازر وصوقرة. بينما تكونت الصخور الإرتكازية فى المنطقة الشرقية تعتبر نتاج عملية النحت بفعل الرياح في رواسب ريحية ونهرية قديمة تماسكت وتحجرت في فترات رطبة سابقة، كما ذكرنا من قبل. كما لعبت عمليتا التجوية والإذابة دوراً في تشكيل وتطور بعض الموائد خاصة الأشكال في غرب شربثات. حيث يتشكل على جوانب الموائد أشكال عش الغراب أو نبات الفطر(لوحات رقم١١)، وقد تكونت هذه الأشكال نتيجة لتساقط كتل صلبة من الطبقة العليا على المنحدر الطباشيري الجانبي واستقرت عليه، ونتيجة لعملية تخفيض المنحدر بفعل الإذابة ونحت الرياح ظلت هذه الأجزاء أسفل الكتل الصلبة محمية في ظلها فظهرت في الصورة التي تبدو عليها كما تظهرها اللوحات. ومما يؤكد هذه العملية أن الأجزاء الصلبة من نفس الطبقة العليا وتوجد على الجوانب في مستوى أقل منسوباً منها ومائلة وقد التحمت تقريباً مع الطبقة الطباشيرية، كما بدأت منطقة الاتصال بين الطبقتين في التآكل بفعل الرياح بمعدل أسرع من الطبقة الطباشيرية نظراً لارتفاعها، حيث يتراوح ارتفاع الطبقة الطباشيرية عن سطح المنحدر بين ١-١,٥متر، بينما يبلغ سمك الطبقة الصلبة حوالي ٦٠سم، وتشير الدراسات أن عملية البرى تحدث في ارتفاعات تتراوح بين ١-٢متر (Bloom, 1978, p.330) مما يؤكد أثر عملية البرى في المنطقة، إضافة إلى الإذابة والتساقط، ويؤكد ذلك النشأة المركبة لظاهرة عش الغراب على سفوح تلال شربثات، وتلعب الرطوبة التي تتجمع بالقرب من السطح من الضباب والندى وارتفاع مستوى المياه الجوفية دوراً في زيادة فعل الإذابة مما يضعف من مقاومتها أمام فعل الرياح.

وتتطور الموائد الصحراوية حيث تتسع قمتها أكثر من الصخور المرتكزة عليها نتيجة لاختلاف صلابة الصخور، كما تتسع قاعدتها بالقرب من السطح نتيجة لأثر الاحتكاك وضعف الرياح قرب السطح وعدم قدرة الحبات الخشنة على الارتفاع فتظهر القاعدة أكثر اتساعاً من القسم الأعلى منها(محسوب، ٢٠٠١، ص١٦٥)، كما تعمل عمليات التجوية والتساقط الصخري على حماية الأجزاء السفلى من المنحدر مما يؤدى لحمايتها. ويمكن ملاحظة هذه العمليات على سفوح الصخور الأرتكازية في مقشن (لوحة رقم ١٠).

وقد وضح من خلال الدراسة الميدانية تطور بعض الموائد الصحراوية إلى ما يعرف بالأعمدة الصحراوية، وقد تكونت بفعل توسيع الشقوق والفواصل الرأسية نتيجة المؤثرات الحرارية والإذابة بفعل المياه، ثم تعمل الرياح بعد ذلك على اكتساح المواد المجواة، وقد أكد حدوث هذه العملية تراب في دراسته(تراب، ٢٠٠٣، ص٢٦٨). وقد تكونت هذه الأشكال على جانب بعض الحافات الصخرية التي تحدد سبخة أم السميم في غرب عمان، كما تكونت كذلك على الحافة حوشي – الحقف الصدعية في شرق عمان. كما تكونت أيضا في التكوينات الرملية المتحجرة أسفل رمال الشرقية وقد تم الإشارة إليها في جزء سابق، وتوضح اللوحة رقم(٨ج) أحد هذه الأعمدة والهضبة التي اشتقت منها، إلا أن طريقة تكون هذه الأعمدة تختلف عما أشرنا إلية قبل قليل حيث أن عامل البنية ليس له تأثير في هذه التكوينات الرملية بينما الرياح هي المسئول الأول عن التشكيل، وتتراوح أرتفاعاتها بين المترين وعشرة أمتار.

جدول(٨) الأشكال الرخية ومواقع تواجدها ودراستها ميدانياً

وصف الشكل الجيومورفولوجي	دائرة العرض	خط الطول
رصيف صحراوي حصوي رملي	20 ٣٠,٣٤٠	57 ٢٤,٥٨٦
صخور ارتكازية قرب شربثات	18 ١,٩٧٥	56 ١٥,٥٢٩
رصيف صحراوي بين مدركة ووادي غارم	19 ١,٠١٢	57 ٢٧,٤٣٨
صخور ارتكازية في وادي زرف	18 ٥٧,٣٣٦	57 ١٤,٠٣٨
صخور ارتكازية	18 ٥٨,٢٨٥	57 ١٤,٦٩٢
صخور ارتكازية قرب الغافتين	19 ٣٦,٥٧١	55 ٢٣,١٦٣
صخور ارتكازية مستوية القمم ومحدبة	17 ١٩,٣٣٤	54 ٥,٠٧٦
صخور الاتكازية قرب قارة كبريت	21 ١٢,٣٣٢	57 ٧,٨٩٩
رصيف صحراوي شرق رمال الشرقية	21 ٣٩,٠٣٥	59 ٢٧,٣٧٢
رصيف صحراوي غرب رمال الشرقية	51 7 21	39 21 58
صخور ارتكازية بالمنطقة الداخلية	55 29 23	41 11 58
صخور ارتكازية على طريق فهود	36 23 22	33 40 56
صخور ارتكازية جنوب شرق أم السميم	40 52 21	23 55 56
رصيف صحراوي في الغافتين	48 41 19	15 32 56

٣-الحصى المشطوف:Ventifacts

يطلق تعبير الحصى المشطوف على الحصى المتأثر بفعل نحت الرياح في أحد الأوجه المواجهة للرياح أو أكثر من وجه.وهو حصى مختلف النوع واللون ويتكون من الرواسب المنتشرة في المنطقة، وتختلف أحجامه من موقع لآخر، وتظهر في صورة أوجه متعددة قد تصل إلى خمسة أوجه، وتتأثر هذه الأوجه بفعل الرياح الزاحفة في الغالب أو القافزة. وتؤدى عملية البرى بواسطة الرياح تكوين أوجه الحصى في صورة مصقولة أو محززة أو ملساء ويتوقف ذلك حسب طبيعة الصخر الذي يتكون منه الحصى، بالإضافة إلى صقل الأجزاء السفلى من الكتل الصخرية أو صقل بعض أوجه الجلاميد الصخرية.

يطلق على هذه الظاهرة العديد من المسميات منها الحصى الهوائي والوجهريحيات والحصى الهندسي والحصى الصحراوي والأوجه المنحوتة والحصى المصقول، ويطلق عليها بالألمانية الحصى ذو الوجه الواحد Ein Kanterأو الحصى ذو الأضلع .Wind Kanter وسوف نستخدم مصطلح الحصى المشطوف لكونه الأكثر واقعية للأشكال التي نتحدث عنها. ويتكون الحصى المشطوف في أكثر من بيئة، مثل البيئة الصحراوية الحارة والساحلية والجليدية، وما يهمنا في دراستنا الحالية هي البيئة الصحراوية فقط والتي تم الحصول على عينات منها لدراستها.

يتكون الحصى فى منطقة الدراسة في مواقع عديدة خاصة القريبة من بحار الرمال فى السلطنة، ولقد درست في بعض المواقع ويوضحها شكل(٧) حيث تتوزع في شمال رمال الشرقية وبين ممرات الكثبان الطولية التي تتكون منها، وكذلك في رمال الربع الخالي في مناطق الظاهرة والوسطي والجنوبية، ولقد تم دراسة الحصى المشطوف في عدة مواقع وتم تسجيلها وتحليلها، فقد تراوح عدد الأوجه للحصى بين الوجه الواحد وخمسة أوجه في موقع جبل كرير إلى الشمال من الرمال الشرقية، بينما تراوح عدد الأوجه في موقعي عين الحلوة وتنعم بين الوجه الواحد والأربعة أوجه (الجداول ٩، ١٠، ١١)، ومن خلال هذه الجداول والشكل رقم (١٣) تتضح أن انحرافات هذه الأوجه عن الشمال تتجه إلى معظم الاتجاهات الرئيسية والفرعية مع الاختلاف من موقع لآخر.

يوضح شكل وردة جبل كرير أن الأوجه تتجه في معظم الاتجاهات مع انخفاض التكرارات في الاتجاهين الجنوبي الغربي والشمال الشرقي. بينما الاتجاهات في موقع تنعم تتركز بين الشمال الشرقي والشرقي والجنوب الشرقي والشمال الغربي مع نقص واضح في تكرارات الاتجاه الجنوبي والجنوبي الغربي.ويوضح شكل موقع عين الحلوة أن الاتجاهات تتركز في الشمال الغربي والجنوب الغربي، وبصورة أقل في الجنوب الشرقي.

يتضح مما سبق أنه يوجد اختلاف واضح بين المواقع في الاتجاهات المسجلة، و أن الاتجاه الجنوبي الشرقي تقل فيه الاتجاهات مقارنة بالاتجاهات الأخرى، وترتبط هذه الاتجاهات مع اتجاهات الرياح التي تهب في عمان من الاتجاهات الشمالية الشرقية والشمالية والشمالية الغربية والجنوبية الغربية، إلا أن الرياح الجنوبية الغربية تعتبر هي الرياح الأكثر تأثيراً لقدرتها على تحريك الرمال، وتختلف هذه النتائج مع ما ذكره جلينني Glennie, 1970 من أن الحصى المشطوف في عمان لا تظهر أوجهها في اتجاه محدد ولا تتخذ شكلاً محدداً .(Derbyshire, et al, 1979, p.165)، كما يمكن

أن تتعدد الأوجه نتيجة لاتجاه الرياح السائدة من جهة والرياح القوية من جهة أخرى إضافة إلى عوامل أخرى(Whitney and Dietrich, 1973, p.2562). وبقياس زوايا انحدار أوجه الحصى تراوحت بين ٢٥ -٥٠°، وتتفق هذه النتائج مع ما ذكره ريتر من أن أوجه الحصى تتراوح بين ٣٠° - ٦٠° (Easterbrook, D. J.,1999, 479; Ritter, D. F.,1986, p.312).

ويوضح جدولي(١٢، ١٣) أبعاد الحصى المشطوف في عمان حيث تم قياس الأبعاد في موقعين في منطقتي الظاهرة والوسطي. وقد تراوح أطوال الحصى في الموقع الأول قرب عبري بمنطقة الظاهرة بين ٦- ١٣سم بمتوسط قدره(٨,٥)، ويتراوح العرض بين ٢- ٥,٥سم بمتوسط قدره(٣,٨)، كما تراوح سمكها فوق السطح بين ١-٢٠سم بمتوسط قدره (٥,٣). أما الموقع الثاني على طريق فهود في المنطقة الوسطي، فقد تراوحت أطوالها بين١٥-٥٧سم بمتوسط قدره(٣١)، وتراوح العرض بين ١٠-٥٠سم بمتوسط قدره(٢٤)، وتراوح سمكها فوق السطح بين ٧-٤٥سم بمتوسط قدره(١٨,٨)، ويذكر التركماني(التركماني، ٢٠٠٠، ص٢٢٣) أن الحصى المشطوف يتراوح بين الرمال المتوسطة الحجم والجلاميد، بينما فى منطقة الدراسة تم حصرها بين الحصى والجلاميد.

النشأة والتطور:

تعددت الآراء حول طريقة نشأة الحصى المشطوف وطريقة تطوره، وكذلك المدى الزمني الذي يمكن أن تستغرقه عملية التشكيل. يتوقف تكون الحصى على أكثر من عامل وهى نفس العوامل التي تؤثر في قدرة الرياح على النحت والتشكيل، أهمها الرياح القوية المحملة بالرمال بطبيعة الحال، لذلك نلاحظ أن معظم توزع هذه الأشكال التي تم دراستها مرتبطة بشكل كبير بالمناطق التي تتكون بها الكثبان الرملية ويمكن أن يتضح ذلك من الشكل(٧)، كما يوضح الجدول رقم(٣) سرعات الرياح في بعض المحطات التي بلغت أكثر من ١٧عقدة وهى سرعات كبيرة بالإضافة إلى اثر العواصف الرملية في التشكيل حيث تبلغ سرعاتها أحياناً ٦٤عقدة. ويتكون الحصى المشطوف عندما تهب الرياح فتعمل على حمل الرمال من مختلف المناطق سواء الشواطئ أو الكثبان أو الأرصفة الصحراوية فتعمل على صقل الحصى وتعدد أوجهه أو تحززه.

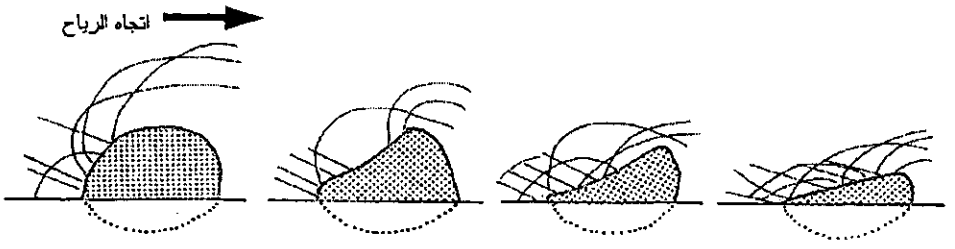
ويرجع البعض تكون الحصى المشطوف إلى فعل الرياح فقط، والبعض الآخر يرجعها إلى عمليات التفتت التي تحدث بفعل التجوية الميكانيكية خاصة عملية الإنشطار التي تحدث نتيجة للتفاوت الحراري، والبعض يرجعها إلى العمليتين معاً Glennie,

1970 ; Sugden, 1974 ; Flint & Skinner, 1977(عن محسوب، ١٩٩٧، ص٢٧٥)، Babikir, 1985. ويعتبر الرأي الأخير هو الأقرب إلى الصحة حيث يتعرض السطح الصخري لعمليات التجوية الميكانيكية وتفتيت الصخر وانشطاره ثم تعمل الرياح على صقل جوانبه. ويتوقف صقل الأوجه على الجزء الظاهر على السطح بينما الجزء المدفون يصبح غير مصقول. بينما تختلف الآراء حول كيفية تكون عدد من الأوجهه، البعض يرجعها نتيجة لتعدد اتجاهات الرياح، والبعض يرجعها نتيجة عملية التكسر والانشطار بواسطة عمليات التجوية ثم تقلب الصخر بفعل عوامل أخرى مما يؤدى إلى شطف أكثر من وجه.

مما سبق ومن خلال الدراسات الميدانية أتضح أن أثر الرياح فقط قد يكون أحد الأوجه أو وجهان للحصاة، ويتوقف هذا على وضع الحصى في الطبيعة، وسمك الجزء الظاهر على سطح الأرض، ويتضح ذلك من الشكل رقم(١٢) حيث تصطدم الرياح بالجزء المواجه للرياح حتى تعمل على تسويته، وتوضح اللوحة رقم(١٢) حصى تكون بدون تدخل لعملية التجوية، أيضاً يمكن أن يتكون الحصى ذو الوجه الواحد بعد حدوث عملية التفتت والتكسر دون أن يحدث تغير فى وضع الحصى على السطح، ويتحدد شكل الحصى تبعاً لاتجاهها بالنسبة لاتجاه الرياح، وتوضح اللوحة رقم(١٣ج) تكسر الحصى وبدأ عملية النحت بواسطة الرياح لتكوين الأوجه المشطوفة ويتضح ذلك نظراً لعدم اكتمال تسوية سطح الحصى.

كما أوضحت الدراسات الميدانية أن التجوية قد تلعب دوراً في تحديد عدد الأوجه بمساعدة عوامل أخرى منها الرياح والتدخل البشرى مما يؤدى إلى تقليب الأوجه أمام الرياح. كما يمكن أن يتكون عدد من الأوجه على أسطح بعض الحصى دون تعرضها للتفتت بواسطة التجوية، بل يصبح تعدد الأوجه راجع إلى تعدد اتجاهات الرياح القادرة على النحت والتي تم الإشارة إليها في جزء لاحق (لوحة١٣و، ه). وتوضح اللوحة(١٣ه) أحد الأوجه المستقيمة دلالة على شدة الرياح وطول الفترة الزمنية التي تعرض فيها هذا الوجه للنحت، بينما وجه آخر مازال مقعراً وفى طور التكوين.

كما تلعب التكوينات الجيولوجية وأنواع الصخور دوراً هاما في الشكل الذي يبدو عليه الحصى لا يقل أهمية عن قدرة الرياح على النحت، حيث تلعب صلابتها النسبية دوراً في تشكيلها أو الصورة التي تبدو عليها، فقد يكون الحصى مصقولاً أو حبيبي أو خطى، فعلى سبيل المثال معظم صخور الحجر الجيري يظهر مصقولاً، بينما الصوان يكون أكثر مقاومة.



المصدر: محسوب، ٢٠٠١، التركماني ٢٠٠٠، Sharp, 1949

شكل رقم (١٢) تطور الحصى الهندسي بفعل نحت الرياح

جدول رقم (٩) أوجه واتجاهات الحصى المشطوف في منطقة جبل كرين بالمنطقة الشرقية

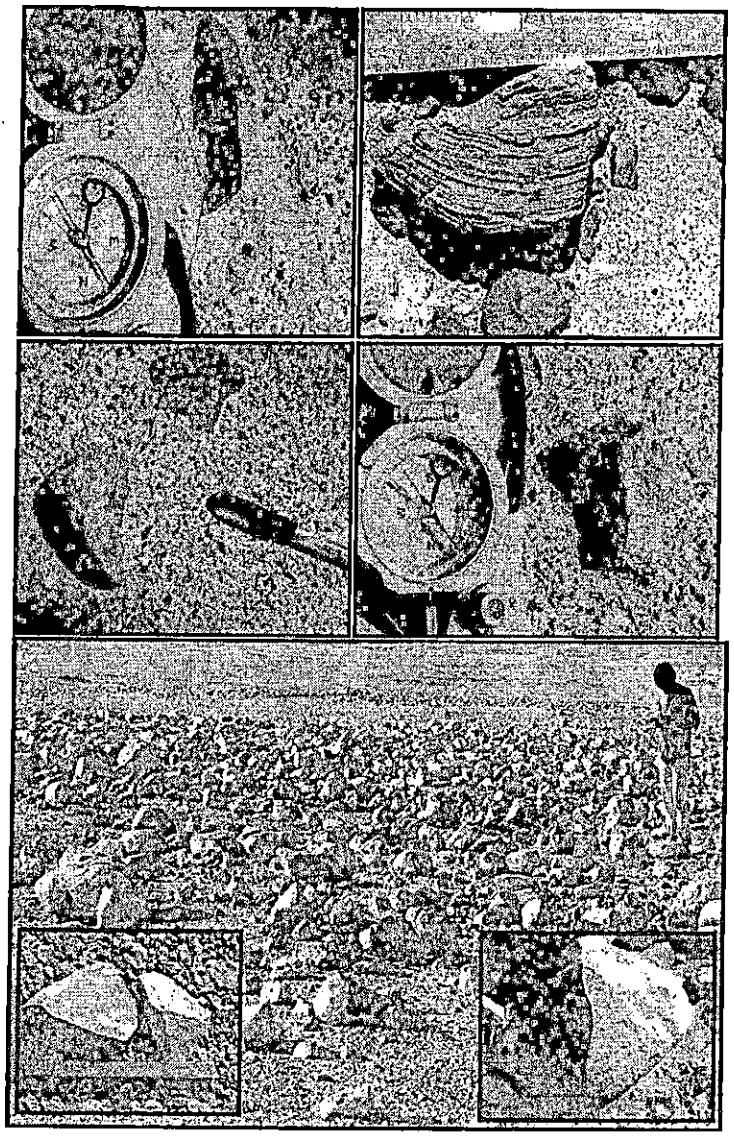
عدد الأوجه	اتجاهات الأوجه المصقولة بالدرجات				
٣	١٢٠	٦٠	١٩		
٢	٢٦٠	٨٠			
٣	٢١٠	٣٢٠	٧٠		
٤	٣١٠	٤٠	١١٠	٢٥٠	
٣	٣٥٠	١٤٠	٢٣٠		
٣	٢٩٠	٧٠	١٩٠		
٣	٢١٠	٦٠	٣٠٥		
٣	١٢٠	١٠	٢٣٠		
٥	١٩٠	٢٢٠	٢٧٥	٥	١٠٠
٤	٩٠	١٩٠	٢٨٠	٣٤٠	
٣	١٦٠	٤٠	٢٨٠		
٣	٣٥٠	٩٠	٢٣٠		
٢	١٥٠	٣٥٠			
٥	٢٦٠	٣٤٠	٤٠	١٢٠	٢١٠

المصدر: دراسات ميدانية

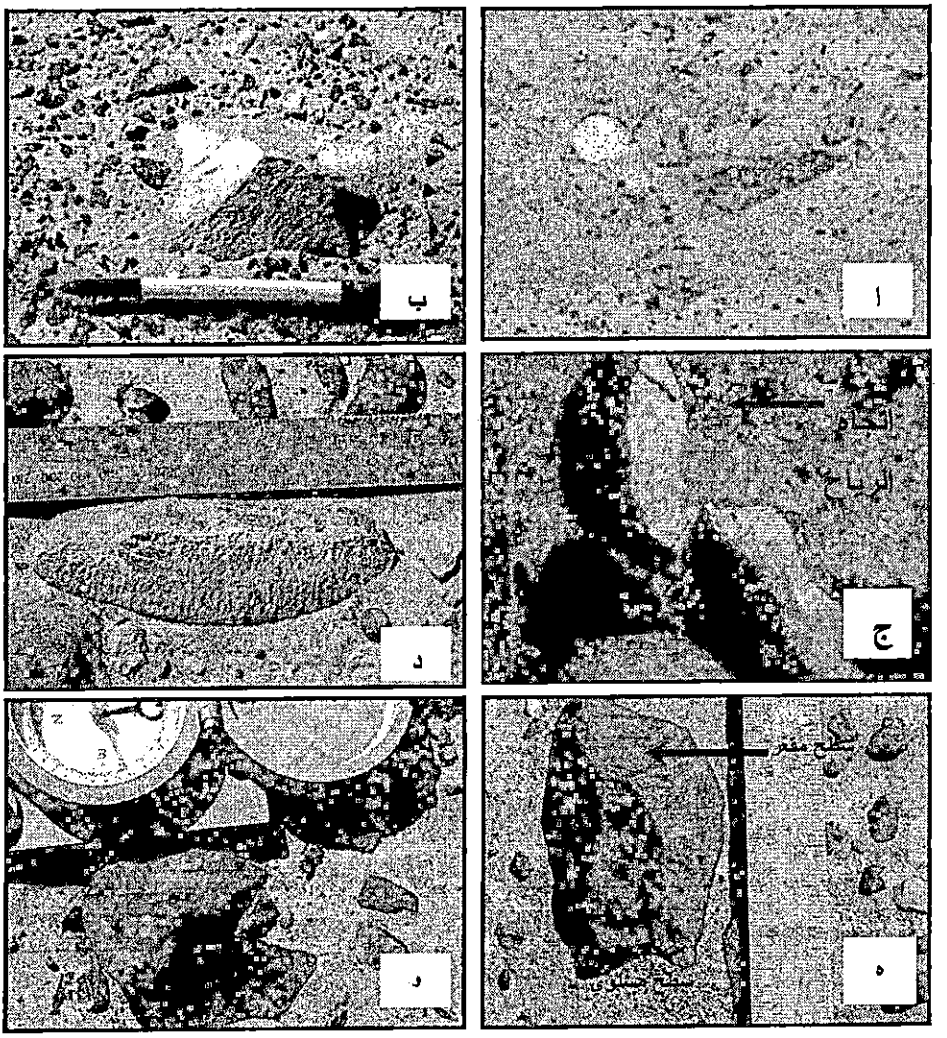
وفى منطقة الدراسة ومن النماذج التي درست أتضح سيادة الصخور النارية نظراً للتكوينات التي تتكون منها جبال عمان والنظم النهرية القديمة التي تتوزع رواسبها على معظم الأراضي العمانية، وأدى ذلك إلى تعرضها للنحت وخاصة في المناطق التي اشرنا إليها بجوار الكثبان الرملية، أو على أسطح الأرصفة الصحراوية.وتوضح اللوحات(١٢، ١٣) نماذج مختلفة من الصخور النارية والرسوبية واثر النحت بها.

بلا شك للزمن الذي يستغرقه الحصى في التشكيل دوراً هاماً في الشكل الذي يبدو عليه الحصى. وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن خمسة أيام يمكن أن تشكل مثل هذا الحصى(cailleux, 1942)، وتشير دراسات أخرى إلى معدلات بلغت آلاف السنين، ويبدو هذا الاختلاف منطقياً نظراً لتعدد العوامل المؤثرة واختلافاتها والبيئات التي تحدث بها. فالتكوينات الجيولوجية وسرعة الرياح والجفاف والأرتفاعات التي يتواجد عليها الحصى حيث يزداد اضطراب الرياح، إضافة إلى اختفاء أو قلة الغطاء النباتي يمكن أن تلعب مجتمعة دوراً هاماً في المدى الزمني الذي يستغرقه الحصى في التشكيل. وفى منطقة الدراسة من المحتمل أنها تستغرق مدى زمني طويل في حالة الصخور النارية والرياح العادية، بينما في العواصف الرملية وزيادة سرعة الرياح قد يكون التشكيل أسرع في حالة الصخور الأقل صلابة.

يلعب الغطاء النباتي دوراً هاماً أيضا، حيث اختفاء الغطاء أو ندرته يؤثر على قدرة الرياح على النحت، وقد أشرنا من قبل أن الغطاء النباتي في المناطق الصحراوية التي يكثر بها ظهور الحصى المشطوف يكاد يختفي إلا من بعض الأشجار المتناثرة، والأعشاب التي تنمو بعد سقوط الأمطار لفترات قليلة.



لوحة رقم (١٢) تظهر اللوحات أشكال مختلفة من الحصى المنطوف، وتظهر اللوحة (أ) حز وز الرياح، (ب،ج) تظهر حصى ذو وجه واحد ويشير القلم للاتجاه القادم منه الرياح، (د) تظهر الحصى ذو الشكل الهرمي، (ه) جلاميد جيرية أعلى التلال فى طريق فهود وقد تأثرت بعض أوجها بنحت الرياح وتظهر اللوحتان فى الأسفل أثر الرياح على الجلاميد.



لوحة رقم(١٣) نماذج من الحصى المشطوف. توضح اللوحتان (ا، ب) حصى جيرى مشطوف مثلث أو هرمي الشكل (غير مصقولة ومصقولة). توضح اللوحة(ج) حصى ثنائي الأوجه، ويظهر عليه أثر النحت بفعل النجوة وعدم اكتمال عملية البرى على السطح المواجه للرياح. توضح اللوحة (د) حصاة ثنائية الوجه فى سطح حسيي الملمس. توضح اللوحة (هـ) حصاة رباعية الأوجه وما زالت فى مرحلة التكوين حيث يظهر أحد الأسطح بصورة متعرجة والآخر مستوى. توضح اللوحة (و) حصاة خماسية الأوجه وهى قليلة الحدوث فى المنطقة.

جدول رقم (١٠) أوجه واتجاهات الحصى المشطوف على طريق تعمر بمنطقة الظاهرة

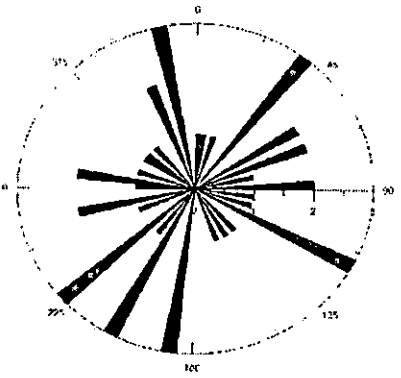
عدد الأوجه	اتجاهات الأوجه المصقولة بالدرجات			
١	٢٩٠			
٢	٣٠٥	٢٥٠		
٤	٣٣٠	٢٥٥	٣٣٥	٢٦٠
١	٣١٠			
٣	٣٥٠	٢٥٠	٢٣٠	
٢	٣٣٠	٢٥٥		
٣	٢٤٠	٣٢٠	٣٠٥	
٣	٣١٠	٣٢٠	٢١٥	
٣	٣٠٠	٢٥٠	٢٠٠	
٢	٣٠٥	٢٢٠		
٢	٢٤٠	٣٢٠		
٤	٣٠٠	٢١٠	٢٩٠	٢٠٠
٢	٢٦٠	٢١٠		
٢	٢٢٠	٣١٥		
٢	٣٢٠	٢٢٠		
٢	٢٧٠	١٩٠		
٢	٣٤٥	٢٤٠		
٤	٣٤٠	٢٥٥	٣٥٠	
٢	٣٢٠	٢٣٠		
٣	٣٥٥	٢٨٠	٣٠٥	
١	٣١٠			
١	٢٢٥			
١	١٥٠			
٢	١٦٥	٣١٥		
١	١٨٥			
١	٢١٥			
٣	١٣٠	٢٣٠	٥	
١	١٨٠			
١	١١٥			
٣	١١٠	٢١٥	٢٨٥	
١	٢٦٠			
١	٣٤٠			
١	٢٠			
٣	٢١٠	١١٠	١٠	
١	٢٧٠			
١	٣١٠			
٣	١٢٥	٢٣٠	١٠	
٣	٣٠	٢٧٥	١٨٠	
١	١٤٥			
١	٢٢٠			
١	٢٩٠			
٣	٣٥٥	١١٠	٢٣٥	
١	١١٥			
١	١٦٥			
١	١٥٠			
١	١٨٠			

المصدر: دراسات ميدانية

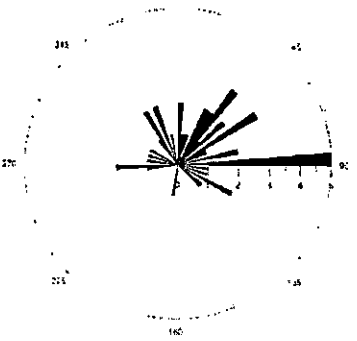
جدول رقم (١١) أوجه واتجاهات الحصى المشطوف قرب معسكر عين الحلوة بمنطقة الظاهرة

عدد الأوجه	اتجاهات الأوجه المصقولة بالدرجات		
١	٣٤٠		
١	٢٩٠		
١	٢٧٠		
٢	٢٦٥	٣٢٥	
٢	٢٨٠	١٩٠	
٢	٢٧٠	٣٥٠	
١	٩٠		
١	٤٠		
١	٧٠		
٢	٩٠	٨٠	
٢	١١٠	٦٠	
٢	٨٠	٥	
٢	٢٠	٥٠	
٢	٩٠	١٥	
٢	١٠٠	٣٥	
٣	٤٠	٣٦٠	٣٠٠
٣	٩٠	٣٠	١٣٠
١	٣٥		
١	٦٠		
٢	٦٥	٣٤٠	
٢	٤٠	٣٣٠	
١	١٢٠		
١	٩٠		
٢	١٢٠	٣٠	
١	٤٥		
٢	٥٠	٣٣٠	
١	١٣٥		
٢	٦٠	١٠	

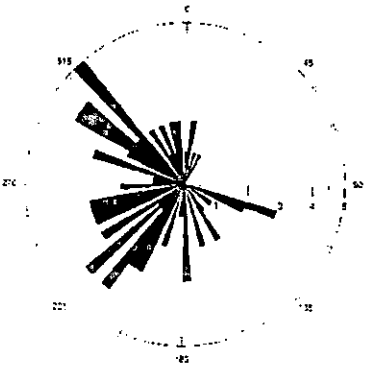
المصدر: دراسات ميدانية



اتجاهات أوجه الحصى المشطوف في منطقة جبل كرير بالمنطقة الشرقية



اتجاهات أوجه الحصى المشطوف على طريق تنعم بمنطقة الظاهرة



اتجاهات أوجه الحصى المشطوف قرب معسكر عين الحلوة بمنطقة الظاهرة

شكل رقم (١٣) وردات توضح اتجاهات أوجه الحصى المشطوف وتكرارها في مناطق الدراسة.

جدول رقم (١٢) أبعاد الحصى المشطوف في منطقة الظاهرة قرب عبري

الطول (سم)	العرض (سم)	السمك أعلى السطح (سم)	عدد الأوجه
١٣	٥	٢٠	٢
٦	٢,٥	١	٣
٦	٤	٤	٣
٨	٤	٣	٢
٨,٥	٢	٢	٢
٩,٥	٥,٥	٢	٥
٨,٥	٣,٨	٥,٣	

جدول رقم (١٣) أبعاد الحصى المشطوف في المنطقة الوسطي على طريق فهود

الطول (سم)	العرض (سم)	السمك أعلى السطح (سم)	عدد الأوجه
١٥	١٠	٧	٣
٢٣	٢٤	١٠	٢
٣٢	٢٨	٢٢	٤
٥٧	٥٠	٤٥	٣
٣٢	٣٠	٢٢	٤
٣٠	٢٣	٢٤	٢
٣٠	٢٢	١٠	٥
٣٥	١٤	١٩	٢
٢٨	١٧	١٠	٣
٣١	٢٤	١٨,٨	

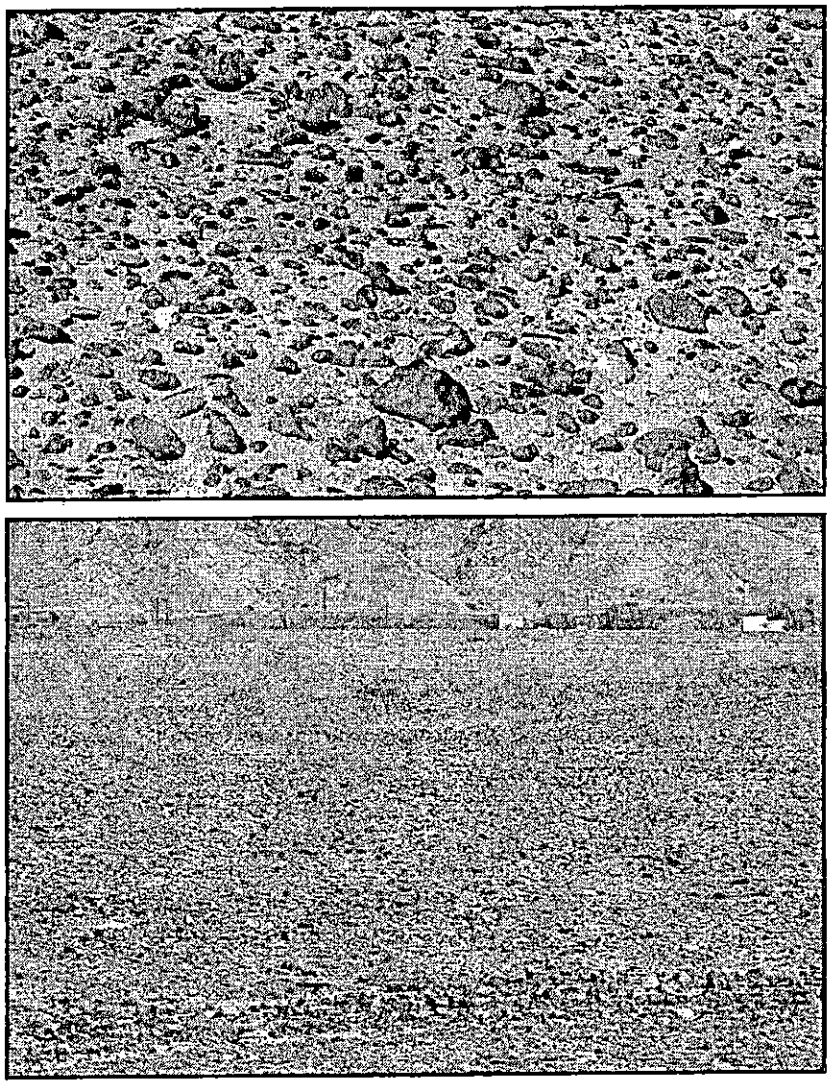
٤-الأرصفة الصحراوية: Desert Pavements

عبارة عن مساحات كبيرة من الأسطح الصحراوية مستوية أو ذات انحدارات خفيفة، تنتشر عليها رواسب حصوية خشنة حادة الزوايا أو مستديرة أو رمال خشنة، وتغطى بعضها رواسب الرمال الناعمة أو الغرين أو الصلصال. يطلق عليها العديد من المسميات في البيئات المختلفة، فهي تسمى الجيبر في استراليا gibber plains، والأرصفة الصخرية في الولايات المتحدة، وجوبي في أواسط آسيا، والحماد والرق والسرير في المناطق العربية والمرتصفات الصحراوية (Cooke, R. U., 1970, p560)، كما يطلق عليها في عمان تعبير "جدة" وهى تعنى السهول الصخرية ومن أمثلتها جدة الحراسيس(عبد السلام، ٢٠٠٠، ص١٢٩).

تتوزع الأرصفة الصحراوية في مناطق عديدة بسلطنة عمان، تغطى الأرصفة الصحراوية مساحة كبيرة من الأراضي العمانية تقدر بحوالى ٩٥٠٠٠كم٢ أي حوالي ٣٠,٧ % من مساحة عمان. وتبدو الأرصفة في عمان في صورة مستوية أو متدرجة في الانحدار، ويغطى سطحها حصى ورمال وتنتشر عليها بعض النباتات المبعثرة هنا وهناك. تمتد الأرصفة الصحراوية فى معظم مناطق الوسطي والجنوبية وأجزاء من الداخلية والظاهرة وتعتبر الأرصفة الصحراوية فى وسط عمان هي الأكبر مساحة وامتداداً.

تم تحديد أربع أرصفة رئيسية في عمان، بالإضافة إلى بعض الأرصفة الصغيرة الموزعة بين الأودية، والأرصفة الأربعة هي:

الرصيف الصحراوي الأوسط: يمتد هذا الرصيف بداية من جنوب المنطقة الداخلية مروراً بالمنطقة الوسطي حتى المنطقة الجنوبية(شكل٧)، تحده من الشرق السهول والجروف الساحلية على ساحل مصيرة والجازر، بينما تختفي في الغرب أسفل رمال الربع الخالي على امتداد الحدود الغربية، يحدها من جهة الشمال نطاق الكثبان الرملية الواصل بين كثبان الحقف وكثبان الربع الخالي، ويطلق على هذا الرصيف جدة الحراسيس. يغطى الرصيف مساحة تقدر بحوالى ٦٠٠٠٠كم٢، ويمتد بطول يصل إلى ٥٠٠كم، وعرض يتراوح بين ١٠٠- ٢٢٥كم. ويتراوح منسوبه بين ١٥٠-١٩٠متر فوق مستوى سطح البحر، وينقسم هذا الرصيف إلى قسمين، يتكون القسم الشرقي من صخور كربوناتية جيرية تغطيه طبقة قليلة السمك من الرمال والحصى الجيري حاد الزوايا ومتوسط الاستدارة والحصى النهري القادم بفعل الأودية من الجبال وهى فى الغالب صخور نارية مختلفة الألوان، أحياناً تختفي هذه الرواسب فى بعض المناطق لتظهر الصخور الأصلية على السطح، وتنتشر فى بعض أجزائه تلال من الحصى، بينما القسم الغربى تغطيه رواسب تزيد بها نسبة الرمال الناعمة ومتوسطة مع الحصى وذلك لاقترابها من رمال الربع الخالي. وتوضح اللوحات(١٤، ١٥) هذه الأرصفة وشكل الرواسب ومكوناتها. تنتمي تكوينات هذا الرصيف إلى تكوينات فارس التابعة للميوسين، وتكوينات حضرموت التابعة لبداية ووسط الإيوسين. ويتكون على سطح الرصيف عدد من المنخفضات غير المنتظمة والدائرية والطولية الشكل الناتجة عن الإذابة، وتتراوح أقطارها بين بضعة أمتار وعشرات الكيلومترات، بالإضافة إلى مجموعة من الأودية التي تقطع حوافه ومن أكبر هذه الأودية وادي ثروت ورونب وقتبيت.



لوحة رقم (١٤) توضح الأرصفة الصحراوية فى عمان، وتظهر اللوحتان الأرصفة الحصوية الرملية، كما توضح اللوحتان سيادة الصخور النارية بألوانها المختلفة.

الرصيف الصحراوي الشمالي:

يمتد في شكل قوس محيط بجبال الحجر ويتكون على المراوح الفيضية للأودية القادمة من الجبال مثل وادي أسود والعين. تبلغ مساحته حوالي ٢٥٠٠٠كم٢، بطول يصل إلى ٣٥٠كم، وعرض يتراوح بين ٣٥-١٦٠كم، وتغطية رواسب حصوية نارية في الغالب قادمة من الجبال تابعة للزمن الرابع. كما تتكون أيضا بعض الأرصفة من نفس النوع ولكن بشكل متقطع في الجهة الشرقية من الجبال على المراوح الفيضية للأودية التي تصل إلى خليج عمان.

الرصيف الصحراوي غرب رمال الشرقية:

يتكون الرصيف إلى الغرب من رمال الشرقية في امتداد طولي موازى لها ويحده من ناحية الغرب أودية حلفين وعندام وتفصل هذه الأودية بين هذا الرصيف والرصيف الشمالي. يغطى الرصيف مساحة تقدر بحوالى ٨٧٥٠كم٢، ويمتد بطول يصل إلى ٢٥٠كم، ويتراوح عرضه بين ٣٠ – ٦٥كم. ويتكون الرصيف من سطح رملي حصوي يغطى سطحه حصى متوسط الحجم مع الرمال نظراً لقربها من رمال الشرقية.

الرصيف الصحراوي شرق رمال الشرقية:

يمتد الرصيف موازياً للساحل الشرقي بداية من شمال رأس شارق حتى رأس جبش، يغطى مساحة تبلغ حوالي ١٢٥٠كم٢ وهو أقل الأرصفة مساحة، ويمتد بطول ٥٠كم، وعرض ٢٠كم، ويتكون سطحه من رواسب حصوية حمراء وخضراء مشتقة من التلال القريبة منه وترتكز على طبقة من الرواسب الرملية يبلغ سمكها حوالي ٢٠سم وترتكز على السطح الأصلي.

النشأة والتطور:

تناول العديد من الباحثين نشأة وتطور الأرصفة الصحراوية وقد تناولت هذه الدراسات أكثر من نظرية لطريقة نشأتها وتطورها، فقد اتفقت معظمها على أن نشأتها ترجع إلى عملية التذرية أو فعل المياه الجارية الغطائية، أو نتيجة عملية تصنيف طبيعية للرواسب أو ما يطلق عليه عملية تركيز رسوبي(حسن رمضان، ٢٠٠٤، ص٢٦٨).

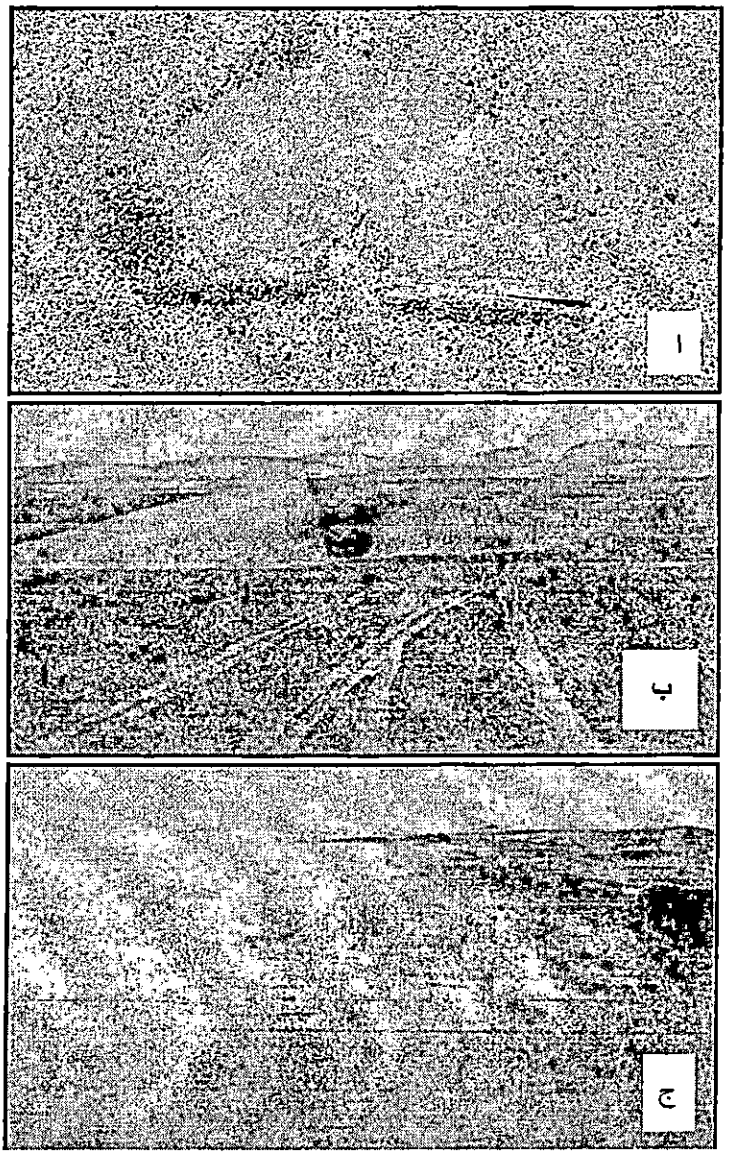
وقد أوضحت الدراسات أن العوامل المؤثرة في تشكيل الأرصفة تتمثل في طبوغرافية السطح والمواد السطحية والمناخ بشكل أساسي (Cooke, 1970, p.576). ومن التوزيع السابق للأرصفة في عمان نلاحظ أنها تشغل مساحات واسعة مستوية تقريباً. كما تتكون أيضا على المراوح الفيضية للأودية الجافة، ويظهر الحصى متلاصقاً أو متباعداً تبعاً للمرحلة التي يمر بها الرصيف، فتباعد الحصى يدل على

مرحلة ابتدائية لتكون الرصيف بينما التقارب يدل على تقدم عمر الرصيف، ويرتبط تكون الأرصفة بصورة كبيرة بفعل التجوية خاصة الميكانيكية، حيث يتوفر الحصى والمفتتات الذي يتكون منه. أما عملية إزالة الرواسب الناعمة من على السطح وتركزها أسفل الرواسب الحصوية والرواسب الخشنة فقد ترجع إلى عملية التذرية بصورة كبيرة، حيث تعتبر هي العملية الأكثر تأثيراً في تكوين الأرصفة، حيث تزيل الرياح الرواسب الناعمة لتبقى الرواسب الأكبر حجما على السطح.

كما تؤدى مياه الأمطار وجريانها الغطائى على السطح نفس دور التذرية بحملها الرواسب الناعمة وترك الرواسب الخشنة والحصى على السطح، وبتوالي عمليات الإزالة للمواد الناعمة بواسطة التذرية والجريان المائي يتركز الحصى على السطح، وتختفي أسفله الرواسب الأقل حجماً. كما يؤدى استمرار العملية إلى تخفيض السطح، ولا يمكن أن نغفل دور عملية البرى حيث تؤدى أيضاً إلى تخفيض الأرصفة الصحراوية، كما تؤدى إلى ظهورها مصقولة وناعمة في بعض الأرصفة ويتوقف ذلك على طول فترة تعرض السطح للنحت. وتوضح اللوحة رقم (١٥ج) عملية التذرية للرمال أثناء العواصف الرملية وقدرتها على إزالتها وتركيز الحصى والرمال الخشنة على السطح، ويظهر ذلك بوضوح فى الرصيف الأوسط وغرب وشرق رمال الشرقية. كما تحدث كذلك عملية غسيل لهذه الأرصفة عند تساقط الأمطار وجريان الأودية حيث تفيض مياهها وتتجه إلى المنخفضات وإلى البحر حاملة معها الرواسب الناعمة.

تشير بعض الدراسات إلى أنه قد يحدث عملية تركز طبيعية للرواسب الأقل حجما للأسفل بينما الأكبر حجما يبقى على السطح نتيجة لعمليات التمدد والانكماش التي تحدث بفعل الحرارة.

وفى تجربة للتعرف على حدوث عملية التركز الرسوبي الطبيعي، تم وضع عينات من رواسب مختلفة الأحجام بعيدا عن تأثير الرياح والأمطار لمدة عام كامل دون تحريكها، وقد ظهر تركز الرواسب الخشنة على السطح بينما الرواسب الناعمة تركزت في الأسفل. مما يؤكد بأن حدوث الأرصفة الصحراوية في منطقة الدراسة تساهم بها العمليات الثلاث السابقة الذكر. كما تلعب طبوغرافية السطح والتجوية وظروف المناخ دوراً كبيراً في تسارع نشأتها، حيث ارتفاع المدى الحراري خاصة اليومي يؤدى إلى زيادة تفتيت السطح وعمليات التقلق.



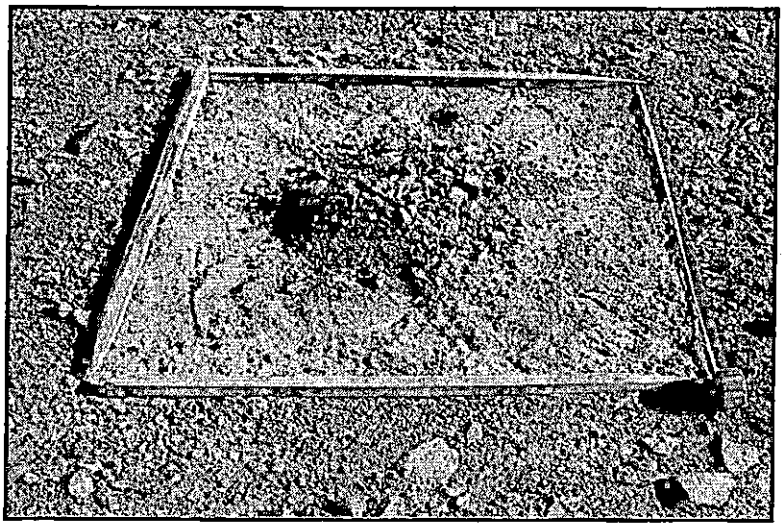
لوحة رقم (١٥) توضح اللوحتان (ا، ب) الرواسب الرملية الحصوية على سطح الرصيف الصحراوي الأوسط خاصة الجزء الغربي منه، كما توضح اللوحة رقم (ا) رواسب الحصى المتوسط بعد إزالتها وظهور الرمال أسفلها، بينما توضح اللوحة (ج) عملية سفي الرمال من الأرصفة أثناء العواصف الرملية.

تظهر اللوحة رقم(١٦) سطح الرصيف الصحراوي الأوسط بعد كشط الحصى السطحي في مساحة مربع طول ضلعه متر واحد، وقد حسبت كثافة الحصى حيث بلغت ٠,٣٥حصاه/سم٢، وقد تراوحت الكثافة في عدد ١٣رصيف في كاليفورنيا بين ٠,١١-١,٢حصاة/سم٢(Cooke, 1970, p.566). وقد ذكرنا سابقاً أنه كلما تقارب الحصى على السطح دل ذلك على نضج الرصيف، وتشير كثافة الحصى إلى أن الأرصفة في عمان مازالت في مرحلة مبكرة ومازالت في طور التكوين.

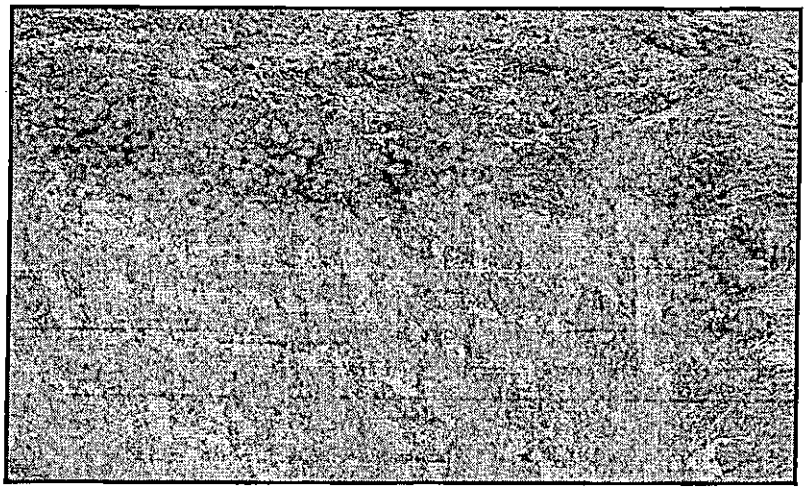
تختلف أنواع الرواسب على أسطح الأرصفة تبعاً للصخور الأصلية المشتقة منها أو الرواسب المنقولة إليها، كما يختلف سمك الرواسب السطحية من موقع لآخر، يوضح الشكل(١٤) قطاع رأسي في رواسب الرصيف الأوسط حيث بلغ سمك الرواسب حوالي متر واحد، تتراوح بين الحصى الجيري والطفل والطين والجبس. بينما في بعض المناطق يبلغ سمك الرواسب حوالي ٣٠سم فقط (لوحة ١٧) ، وتوضح اللوحة (١٨) نماذج لقطاعات رأسية في أرصفة متعددة ويتضح منها سمك رواسبها ومكوناتها.

٥-ثقوب الرياح الدائرية:Wind Caves-Wind Blowouts

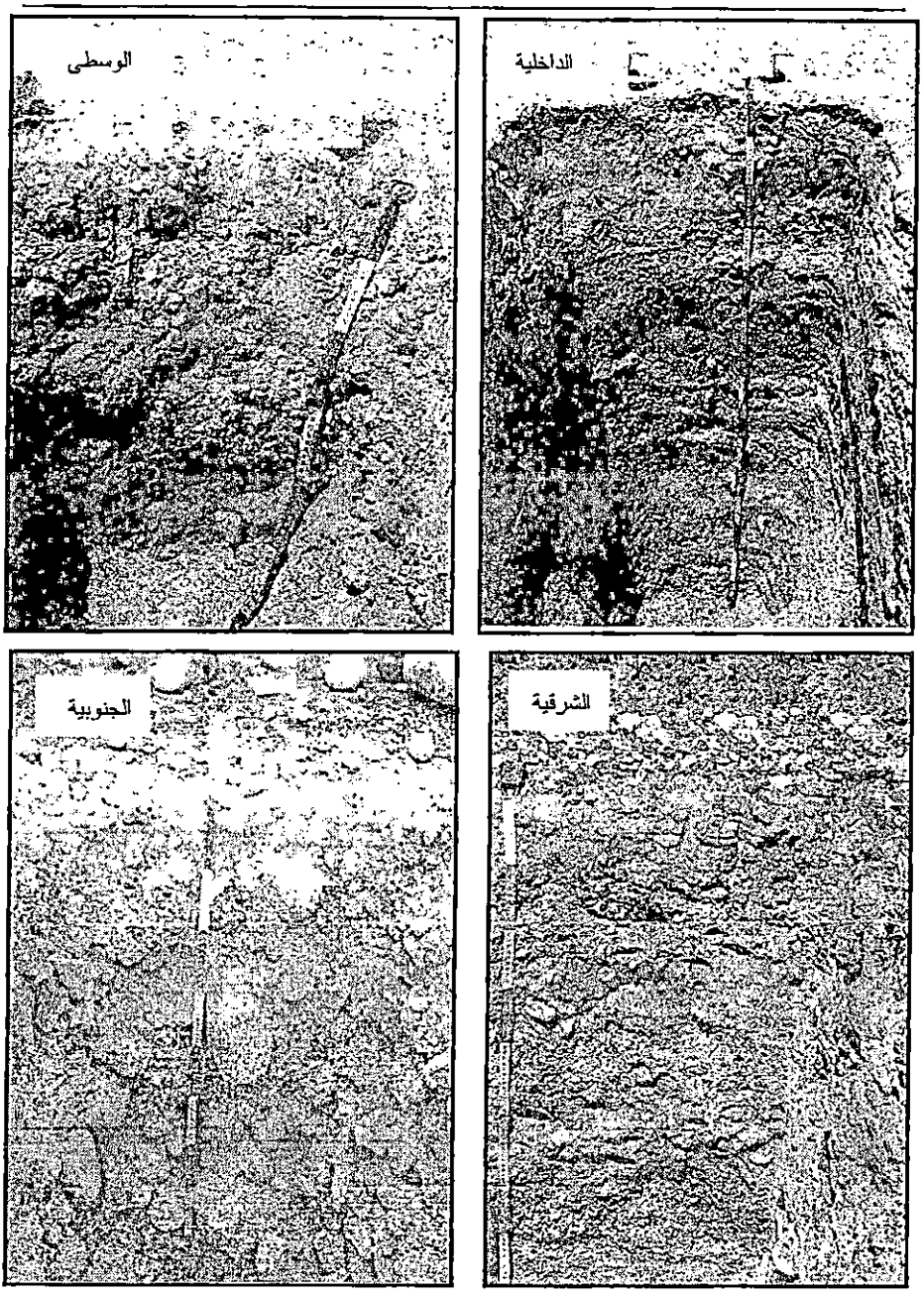
عبارة عن تجاويف محدودة المساحة في صخور الحافات الرأسية أو التلال التي تعترض طريق الرياح. وتتكون هذه التجاويف في أنواع مختلفة من الصخور حيث تكونت في الصخور الجيرية التابعة لصخور الحاجر العلوي التابعة للزمن الأول وصخور الجابرو الأكثر انتشاراً فى جبال عمان التابعة لأفيوليت سمائل. وتتكون هذه التجاويف نتيجة لتباين صلابة الصخور حيث تعمل الرياح على حمل مفتتات التجوية في حالة حدوث التجويف بفعل التجوية، وبتوالي فعل الرياح يتزايد عمق هذه التجاويف. كما تتكون أيضا هذه التجاويف نتيجة لارتطام حبات الرمال التي تحملها الرياح بالحافات فتتعمق وتأخذ الشكل المستدير نتيجة للحركة الدوامية التي تحدث داخل التجاويف.ويوجد خلط بين تجاويف الرياح التي يطلق عليها أحياناً أسم أقراص العسل، ويطلق البعض عليها تعبير "أقراص عسل النحل" Taffoni (والطون، ١٩٩٣، ص١٠٠)، إلا أن دراسات عديدة ترجع هذه الظاهرة لفعل عمليات التجوية الكيميائية وخاصة في المناطق الساحلية، وقد يكون هذا الخلط ناتج عن البنية المركبة أحياناً حيث يمكن تكون بعض الثقوب بفعل التجوية الملحية ثم تعمل الرياح على إزالة نتاج التجوية، إضافة إلى ظل الأجزاء المحفورة قد تحافظ على نسبة من الرطوبة تسارع من عملية التجوية (Cooke, 1993, p.25).



لوحة رقم (١٦) توضح كنتور الحصى من سطح الرصيف الصحراوي الأوسط لحساب الكثافة

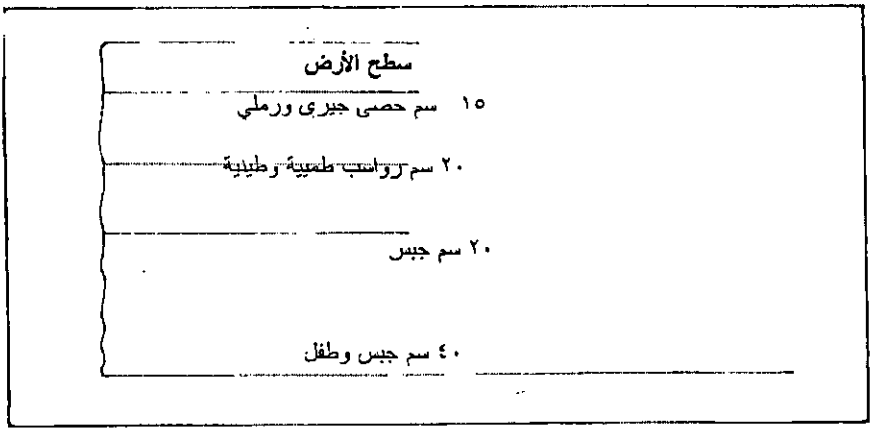


لوحة رقم (١٧) توضح قطاع رأسي في رصيف صحراوي غرب مرسول بالمنطقة الجنوبية، يبلغ سمك الرواسب السطحية ٣٠سم.



لوحة رقم (١٨) توضح بعض نماذج من قطاعات رأسية فى الأرصفة الصحراوية بعمان

المصدر: General soil map of the sultanate of Oman, ١٩٩٠

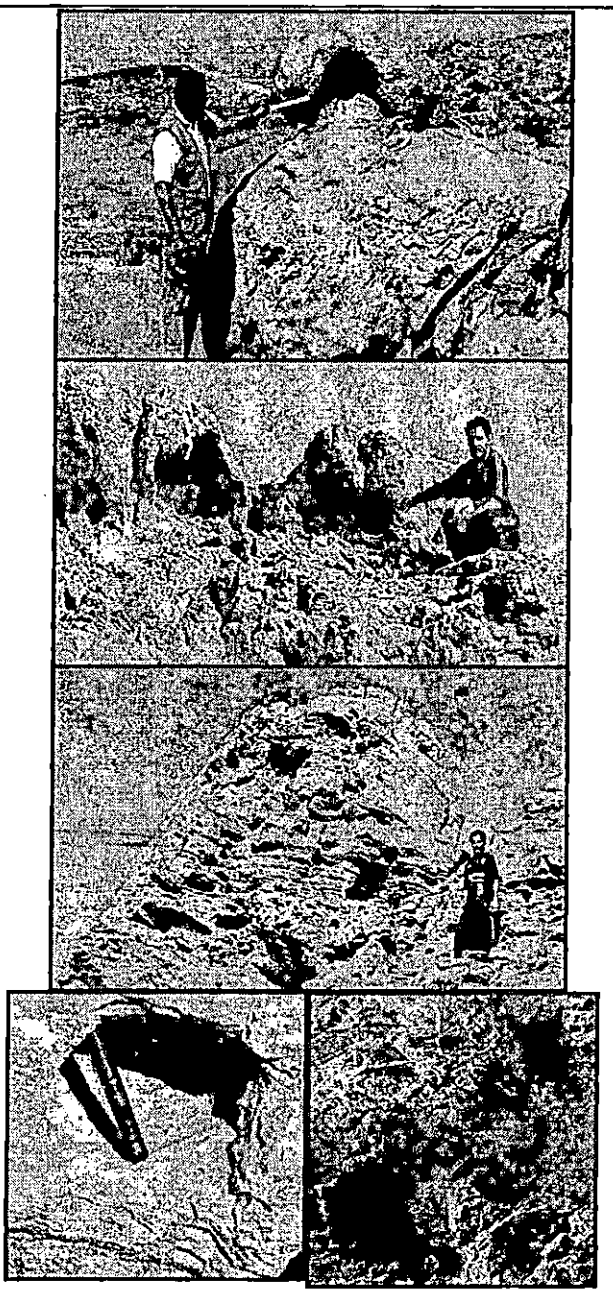


شكل (١٤) قطاع رأسي في الرصيف الصحراوي فيما بين رأس مدركة ووادي غامر

يوضح الجدول رقم(١٤) أبعاد ثقوب الرياح في منطقة الدراسة، حيث تراوح أقطارها بين ١٠سم إلى ١,٢٧متر، بمتوسط قدره ٢٨سم، كما تتراوح أعماقها بين ٥سم إلى ٧٠سم، بمتوسط قدره ٣٢سم. وتوضح اللوحة رقم(١٩) نماذج من ثقوب الرياح في المنطقة الشرقية تكونت على بعض التلال المواجهة لجهة الشرق وتتأثر بالرياح الشرقية والشمالية الشرقية.

جدول رقم (١٤) أبعاد ثقوب الرياح في المنطقة الشرقية

القطر (سم)	العمق (سم)	القطر (سم)	العمق (سم)
٤٧	٣٠	١٠	١٠
٣٧	٣٠	٤٧	٥٠
٢٧	٤٠	١٠	٧
٣٧	٦٠	١٠	٨
٣٥	٤٠	٥٤	٥٠
١,٢٧	٧٠	١٩	١٩
٣٠	٥		

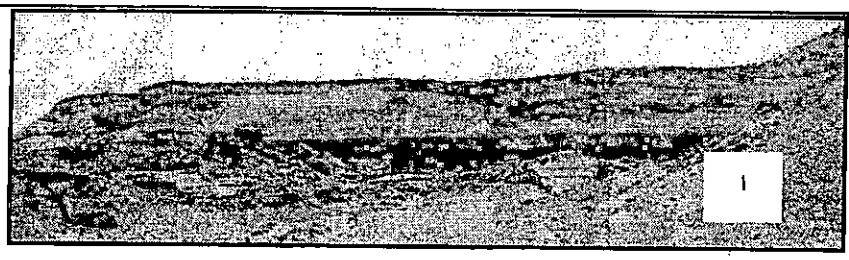


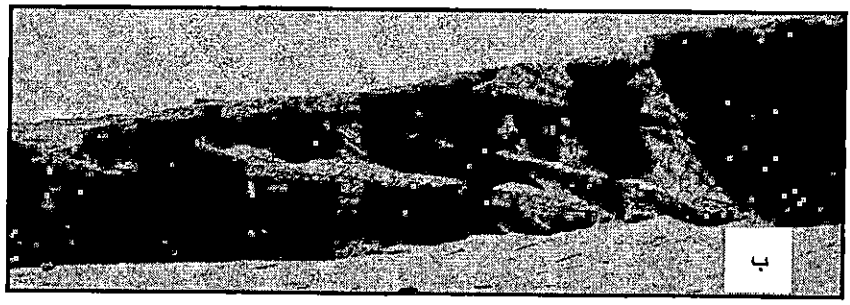
لوحة رقم (١٩) ثقوب الرياح الدائرية على جوانب التلال فى المنطقة الشرقية والتى يطلق عليها أقراص العسل الناتجة عن النحت بواسطة الرياح – الطريق من رأس الجينز إلى أصيلة.

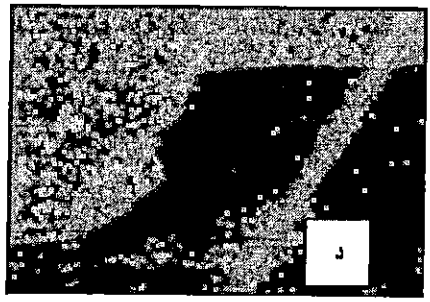
٦- صور أخرى متعددة لنحت الرياح:

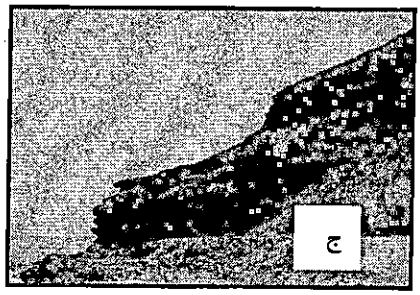
توجد بعض الأشكال الأخرى الناتجة عن فعل نحت الرياح، ومن أمثلتها ما يطلق عليها أسنان المنشار حيث تتعاقب راقات من الصخور الصلبة مع راقات أخرى من الصخور اللينة على الحافات الصخرية والتلال، فتتآكل الراقات اللينة بمعدلات أسرع من الصلبة فتظل بارزة بصورة مسننة، وتوضح اللوحات (٢٠ج،د، هـ) أشكال هذه الظاهرة على حافات في كل من الدقم وساحل صوقرة وإلى الغرب من رمال الشرقية. وتتكون أسنان المنشار في منطقة الدراسة بين تتابعات من الصخور الجيرية والطباشيرية أو الصخور الرملية المتحجرة والمتماسكة أو صخور الشست.

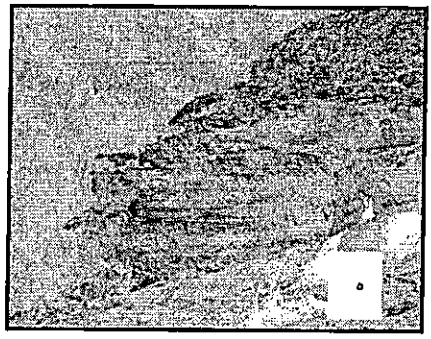
كما تتشكل بعض التلال وعلى حوافها حزوز طولية تمتد في اتجاه الرياح وتكونت بفعلها، وتوضح اللوحة(٢٠ أ) التلال الموازية للساحل قرب شربثات وقد تأثرت بفعل نحت الرياح فى الصخور الطباشيرية. كما تتكون جروف ساحلية رملية بفعل الرياح في رواسب رملية لينة أو متحجرة، وتظهر اللوحة(٢٠ ب) الجروف التي تشكلت على طول رمال الشرقية في الهضبة الريحية المتحجرة أسفل الرمال السائبة المعروفة برمال الشرقية. كما تظهر الصخور بصور مختلفة عندما تنحتها الرياح، فقد تظهر بعض الأسطح الجيرية المكشوفة على السطح وهى مصقولة وملساء، بينما صخور الشست تظهر وعليها بعض الحزوز، ويظهر الجرانيت في الصورتين حيث يظهر في بعض الحالات مصقولاً وأخرى محززاً.











لوحة رقم (٢٠) توضح بعض الظاهرات التى تكونت بفعل نحت الرياح:
(ا) حزوز طولية على تلال شربثات فى المنطقة الجنوبية
(ب)جروف الرياح فى المنطقة الشرقية
(ج)أسنان المنشار على ساحل صوقرة
(د)أسنان المنشار غرب رمال الشرقية
(ه)أسنان المنشار على ساحل الدقم

الخاتمة

تتوقف قدرة الرياح على النحت وتشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية على عدد من العوامل، من هذه العوامل ما هو ذا أثر رئيسي في التأثير على قدرة الرياح على النحت مثل سرعة الرياح Velocityواتجاهاتها Directionواضطرابها Turbulence وكذلك البنية الجيولوجية للسطح، بينما تعتبر عوامل أخرى ثانوية التأثير ولكن يصعب إغفالها. ويمكن تلخيص هذه العوامل في عاملين أساسيين رئيسيين هما قدرة الرياح على النحت Erosivity، وقابلية السطح العماني للنحت Erodibility وهى تعتمد في الأساس على حجم ذرات الرمال التي تحملها الرياح ودرجة خشونة السطح وتضاريسه ورطوبة التربة وطبيعة الرواسب السطحية، كما يتأثر أيضا بالغطاء النباتي، وهو بطبيعة الحال يساعد على ارتفاع خشونة السطح ويقلل من تأثير الرياح بالقرب من سطح الأرض.

وتعتبر الأشكال الجيومورفولوجية الحالية بجانب أنها نتاج لعمليات جيومورفولوجية قديمة، فإنها تنتج عن تضافر مجموعة مختلفة من العمليات، فالأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن النحت بواسطة الرياح لا نستطيع أن نجزم بأن الرياح وحدها هي مصدر التشكيل، بينما تتعرض لبعض آثار الإذابة والتعرية النهرية في بعض المراحل، وقد تم تقسيم الأشكال الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة إلى أشكال ناتجة عن عملية البرى مثل الحصى المشطوف، الياردنج، الصخور الأرتكازية، أسنان المنشار، الثقوب الريحية.والبعض الآخر ينتج عن عملية التذرية مثل الأرصفة الصحراوية.

تتوزع أشكال الياردنج في المنطقة الشرقية من عمان، وتنقسم إلى نطاقين، النطاق الأولى وهو النطاق الرئيسي(النطاق الغربي) ويقع إلى الجنوب الغربي من رمال الشرقية، ويمتد بطول يزيد عن ١٠٠كم وبعرض حوالي ٢١كم، أما النطاق الثاني فيقع بالقرب من الساحل الشرقي في المنطقة بين أصيلة ورأس الجينز إلى الشمال من رمال الشرقية (النطاق الشمالي). ويبلغ متوسط أطوال الأشكال الكبيرة ١١,٣كم، ومتوسط عرضها ٥٠٠متر، كما تتراوح نسبة الطول إلى العرض بين ١/١٠- ١/٥٠، وهى نسبة كبيرة مقارنة بالنسب في مناطق أخرى من العالم، وقد يرجع ارتفاع نسبة العلاقة بين الطول والعرض في منطقة الدراسة إلى أنها تتكون من كثبان رملية طولية قديمة وأنها ما زالت في مرحلة الطفولة وطور التكوين. أما عن الياردنج الجنينية تتراوح

أطوالها بين ٣٠-٤٠سم، وعرض ٨-١٢سم، وتشير نسبة الطول إلى العرض بأنها تتراوح بين ٣/١-٤,٤/١ وهى نسبة تشير إلى أن هذه الأشكال وصلت إلى مرحلة النضج، وهى قليلة العدد في المنطقة. وتتراوح أرتفاعات الياردنج الكبيرة بين ١-٢٢متر، بينما الياردنج الصغيرة تتراوح بين ١٠- ١٥سم.

وقد تم حصر اتجاهات محاور الياردنج فى الاتجاهات بين شمال الشمال الشرقي في الجنوب، وشمال الشمال الغربي في الجزء الشمالي الغربي من النطاق، وشمالي جنوبي فى الجزء الغربي والأوسط من النطاق، وتتراوح زوايا الانحراف بين 20°-350°.

وقد تشكلت الياردنج في الرمال المتحجرة في أسفل رمال الشرقية الحديثة. وتظهر في صورة حافات طولية تنحتها الرياح. وقد تضافر أكثر من عامل في تكوين الياردنج وتشكيلها، وتشير اتجاهات الياردنج إلى أن الرياح هي العامل المسئول عن تكوينها نظراً لتوافق اتجّاهات الرياح السائدة مع اتجاهات الياردنج. كما لعبت الأنظمة النهرية دوراً في تقطيع جوانب الهضبة وتجزئتها، كما لعبت كل من التجوية والتساقط الصخري والانهيارات دوراً فى تفتيت السطح والجوانب مما أدى إلى وجود دور بارز لعملية التذرية.

الشكل التالي من صور نحت الرياح هو الصخور الأرتكازية وتشكلت في مناطق عدة من عمان، وقد تناولنا هذه الأشكال في ثلاثة مناطق رئيسية وهى: المنطقة الشرقية، والمنطقة الوسطي، والمنطقة الجنوبية.وقد تكونت الصخور الأرتكازية بفعل تقطيع الأودية للسطح في فترات انخفاض مستوى القاعدة، فتكونت كتل هضبية منفصلة ما تلبث أن تتراجع بفعل الرياح والتجوية، حيث تعمل التجوية على أضعاف الصخر خاصة القريب من السطح لتستطيع الرياح حملها مما يؤدى إلى تطور الشكل. كما تلعب التجوية الكيميائية دوراً بارزاً في تشكيل الصخور الأرتكازية ويدلل على ذلك بتواجدها في مناطق أكثر رطوبة ولا أثر للرياح بها. ويتضح أن الصخور الأرتكازية لها نشأة مركبة حيث يجتمع أكثر من عامل في تشكيلها، وقد وضح ذلك في منطقة الدراسة حيث يظهر أثر الإذابة والتعرية النهرية في المنطقة الجنوبية، كما يظهر أثر التجوية والإذابة في المنطقة الوسطي بجانب أثر الرياح.

يتكون الحصى المشطوف في منطقة الدراسة في مواقع عديدة خاصة القريبة من بحار الرمال في السلطنة. ولقد درست في بعض المواقع، حيث تتوزع في شمال رمال

الشرقية وبين ممرات الكثبان الطولية التي تتكون منها، وكذلك في رمال الربع الخالي في مناطق الظاهرة والوسطي والجنوبية. يتراوح عدد الأوجه للحصى في منطقة الدراسة بين الوجه الواحد وخمسة أوجه في موقع جبل كرير إلى الشمال من الرمال الشرقية، بينما تراوح عدد الأوجه في موقعي عين الحلوة وتنعم بين الوجه الواحد والأربعة أوجها. وتتجه أوجهها إلى معظم الاتجاهات الرئيسية والفرعية مع الاختلاف من موقع لآخر، وترتبط هذه الاتجاهات مع اتجاهات الرياح التي تهب في عمان من الاتجاهات الشمالية الشرقية والشمالية والشمالية الغربية والجنوبية الغربية. إلا أن الرياح الجنوبية الغربية تعتبر هي الأكثر تأثيراً لقدرتها على تحريك الرمال.وقد ثبت أن التكوينات الجيولوجية وأنواع الصخور تؤثر بشكل واضح على شكل الحصى، كما تلعب التجوية دوراً في تحديد عدد الأوجه بمساعدة عوامل أخرى منها الرياح والتدخل البشرى، إضافة إلى الزمن الذي يستغرقه الحصى في التشكيل.

تتوزع الأرصفة الصحراوية في مناطق عديدة بسلطنة عمان، تغطى الأرصفة الصحراوية مساحة كبيرة من الأراضي العمانية تقدر حوالي ٩٥٠٠٠كم^{٢} أي حوالي ٣٠,٧% من مساحة عمان. وتبدو الأرصفة في عمان في صورة مستوية أو متدرجة في الانحدار، ويغطى سطحها حصى ورمال وتنتشر عليها بعض النباتات المبعثرة هنا وهناك. تمتد الأرصفة الصحراوية في معظم مناطق الوسطي والجنوبية وأجزاء من الداخلية والظاهرة وتعتبر الأرصفة الصحراوية في وسط عمان هي الأكبر مساحة وامتداداً، تم تحديد أربع أرصفة رئيسية في عمان، بالإضافة إلى بعض الأرصفة الصغيرة الموزعة بين الأودية، والأرصفة الأربعة هي: الأوسط والشمالي وغرب وشرق رمال الشرقية. ، وقد بلغت كثافة الحصى على الأرصفة ٠,٣٥حصاه/سم^{٢}، وتشير كثافة الحصى إلى أن الأرصفة في عمان مازالت في مرحلة مبكرة.

ثقوب الرياح الدائرية وهى عبارة عن تجاويف محدودة المساحة في صخور الحافات الرأسية أو التلال التي تعترض طريق الرياح، وتتكون هذه التجاويف في أنواع مختلفة من الصخور حيث تكونت في الصخور الجيرية القديمة الرمادية التابعة لصخور الحاجر العلوي التابعة للزمن الأول وصخور الجابرو الأكثر انتشاراً فى جبال عمان التابعة لأفيوليت سمائل، وتتكون هذه التجاويف نتيجة لتباين صلابة الصخور حيث تعمل الرياح على حمل مفتتات التجوية في حالة حدوث التجويف بفعل التجوية، وبتوالي فعل الرياح يتزايد عمق هذه التجاويف. كما تتكون أيضا هذه التجاويف نتيجة

لارتطام حبات الرمال التي تحملها الرياح بالحافات فتتعمق وتأخذ الشكل المستدير نتيجة للحركة الدوامية التي تحدث داخل التجاويف.وقد تراوحت أقطار ثقوب الرياح في منطقة الدراسة بين ١٠سم إلى ١,٢٧متر، بمتوسط قدره ٢٨سم، كما تتراوح أعماقها بين ٥سم إلى ٧٠سم، بمتوسط قدره ٣٢سم.

تتكون أسنان المنشار في منطقة الدراسة بين تتابعات من الصخور الجيرية والطباشيرية أو الصخور الرملية المتحجرة والمتماسكة أو صخور الشست، وقد تشكلت هذه الظاهرة على حافات في كل من الدقم وساحل صوقرة وإلى الغرب من رمال الشرقية. كما تظهر الصخور بأشكال مختلفة عندما تنحتها الرياح، فقد تظهر بعض الأسطح الجيرية المكشوفة على السطح وهى مصقولة وملساء، بينما صخور الشست تظهر وعليها بعض الحزوز، ويظهر الجرانيت في الصورتين حيث يظهر في بعض الحالات مصقولاً وأخرى محززاً.

قائمتي المراجع العربية والأجنبية

قائمة المراجع العربية:

- **أحمد عبد السلام على(٢٠٠١)**: الكثبان الرملية غرب وجنوب سلطنة عمان (رمال الربع الخالي) دراسة جيمورفولوجية، رسائل جغرافية، دورية يصدرها قسم الجغرافيا والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد٢٥٩، ١١١ص.
- **أحمد عبد السلام على(٢٠٠٠)**: بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية في شمال سلطنة عمان- دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية، رسائل جغرافية، دورية يصدرها قسم الجغرافيا والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد٢٤٧، ١٣٥ص.
- **جودة حسنين جودة(١٩٩٨)**: الجغرافيا الطبيعية لصحارى العالم العربي- دراسة جيومورفولوجية ومناخية تطبيقية فى مجال التنمية الاقتصادية، منشأة المعارف بالإسكندرية، مصر، ٤٨٧ص.
- **جوده حسنين جوده (بدون تاريخ)**: الجيومورفولوجيا دراسة في علم أشكال سطح الأرض، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٤٩٣ ص.
- **جوده فتحي التركماني(٢٠٠٠)**: أشكال السطح دراسة في أصول الجيومورفولوجيا، دار الثقافة العربية، القاهرة، ص ٣٢١.
- **حسن رمضان سلامه(٢٠٠٤)**: أصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة للنشر و التوزيع، عمان، الأردن، ٥١٢ ص.
- **حسين محمد حسين القلاوى(١٩٩٦)**: المناخ وأثره على بعض جوانب البيئة فى سلطنة عمان، المجلة الجغرافية العربية، العدد٢٨،صص ٥٩-١٠٨.
- **دينز برونسدن، رون كوك(١٩٨٦)**: رملة آل وهيبة، الجمعية الجغرافية الملكية- مشروع رملة آل وهيبة، ترجمة عثمان حسن، أبو عبيدة محمد، ٩٣ص.
- **صبري محمد التوم (٢٠٠٤)**: الرياح كعامل نحت لبعض الأشكال الأرضية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٤٤ الجزء الثاني ص ص ١١٣ – ١٥٤.

- **ضاري ناصر العجمي، محمود عزو صفر(١٩٨٧)**: مدخل إلى علم المناخ والجغرافيا المناخية، مكتبة الفلاح، الكويت، ٣١٤ص.
- **عبد الحميد احمد كليو(٢٠٠٠)**: الكدوات في منخفض الواحات البحرية دراسة جيومورفولوجية، رسائل جغرافية، قسم الجغرافيا بجامعة الكويت و الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٢٤٠، ٧١ ص.
- **عبد العزيز طريح شرف(١٩٩٦)**: الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ أفريقيا ومناخ العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ٦٠٨ص.
- **عبد المنعم أحمد، ويليام بوسوارى(٢٠٠٥)**: جيولوجية البحر الحمر وخليج عدن، مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٥ ص.
- **على حسن موسى(١٩٩٦)**: التغيرات المناخية، دار الفكر، سورية، ٢٦٤ص.
- **كنيث والطون(١٩٩٣)**: الأراضي الجافة، ترجمة على عبد الوهاب شاهين، منشأة المعارف، الإسكندرية، ٢٦٩ص.
- **كوك وآخرون(١٩٩٤)**: الأبعاد الجيومورفولوجية لتنمية الأراضي في الصحراء مع التركيز على المملكة العربية السعودية، ترجمة عبد الله ناصر الوليعى، سلسلة دراسات جغرافية، العدد الثاني، تصدرها الجمعية الجغرافية السعودية، ١٨٣ص.
- **محمد صبري محسوب(١٩٩٧)**: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة ٤٨٢ص.
- **محمد صبري محسوب(٢٠٠١)**: الأطلس الجيومورفولوجي معالجة تحليلية للشكل و العملية، دار الفكر العربي، القاهرة، ٢٧٦ص.
- **محمد صبري محسوب(١٩٨٤)**: العمليات الهوائية ودور التجارب المعملية والدراسات الحقلية في تفهمها، المجلة الجغرافية العربية، تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية، العدد السادس عشر، السنة السادسة عشرة، ص ص٩٩-١٢٤.
- **محمد صبري محسوب، محمود دياب راضى(١٩٨٩)**:العمليات الجيومورفولوجية ، دار الثقافة للنشر والتوزيع، القاهرة، ٣١١ ص.
- **محمد مجدي تراب(٢٠٠٣)**: أساسيات الجغرافيا الطبيعية، مكتبة الفلاح للنشر و التوزيع، الكويت، ٤٤٠ص.

- **نعمان شحادة(١٩٩٦):** الجغرافيا المناخية-علم المناخ، دار المستقبل للنشر والتوزيع، الأردن، ٢٩٩ص.
- **وزارة الزراعة والثروة السمكية(٢٠٠٤):** أسباب تدهور المراعى الطبيعية، دائرة الأعلام التنموي.
- **يحيى محمد شيخ الخير(١٩٩٩):** منظومة النماذج الرياضية للرياح والعواصف الرملية -المفاهيم والمحددات العددية- دراسة فى جيومورفولوجية الرمال، رسائل جغرافية، يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٢٢٧، ٤٠ص.

قائمة المراجع الأجنبية:

- Babikir,A. A. and Jackson,C.C.,(١٩٨٥): Ventifacts distribution in Qatar, Earth Surface Processes, Vol.١٠, pp. ٣-١٥.
- Bloom, A.١., (١٩٧٨): Geomorphology Asystematic Analysis of Late Cenozoic Landform, New Jersey, ٥١٠ p.
- Chepil, W.S.,(١٩٤٥):Dynamics of wind erosion: ٣,The Transport capacity of the wind, Soil science, Vol. ٦٠, p. ٤٧٥- ٤٨٠.
- Chepil, W.S., (١٩٤٥): Dynamics of wind erosion:١- Nature of movement of soil by wind, Soil Science, Vol.٦٠, P.٣٠٥-٣٢٠.
- Chepil, W.S., Woodruff, N. P.(١٩٦٣): The Physics of Wind Erosion and its control, Advances in Agronomy, Vol. ١٥, pp. ٢١١-٣٠٢.
- Clark, M.,(١٩٩٠): Oman's Geological Heritage Published by Petroleum Development Oman, stayeiy, London, p ٢٤٧.
- Cooke, R. U. (١٩٧٠): Stone Pavements in Deserts, Annals of the AAG ٦٠, pp.٥٦٠- ٥٧٧.
- Cooke, R. U. and Doornkamp (١٩٩٠): Geomorphology in Environmental Management, Clarendon Press, Oxford, ٤١٠p.
- Cooke, R.; Warren, A.; Goudie, A.(١٩٩٣): Desert Geomorphology, UCL Press Limited, University College London, ٥٢٦p.
- Derbyshire, et al (١٩٧٩): Geomorphological Processes, London,
- Easterbrook, D. J.(١٩٩٩): Surface Processes and Landforms, Prentice-Hall, U.S.A., ٥٤٦p.
- Embabi, N.S., (١٩٩٩): Playas of the Western Desert, Egypt Annals Academics Scientiarum Fennicae Geologica – Geographica, ١٦٠, pp. ٥- ٤٧.

- Embabi, N.S., (٢٠٠٤): The Geomorphology of Egypt Landforms and Evolution, Vol.١, The Egyptian Geographical Society, Cairo, Egypt, p.٤٤٧.
- Fryberger, S.(١٩٧٩): Dune Form and Wind Regime, pp. ١٣٧-١٦٩, in " A Study of Global Sand Seas" Edwin, D. Mckee, editor U. S. Geol. Survey Professional paper ١٠٥٢.
- Gardner, R. A. M., (١٩٨٨): Aeolianites and Marine Deposits of the Wahiba Sands: Character and Palaeoenvironments, Journal of Oman Studies Special Report, No. ٣, pp. ٧٥- ٩٤.
- Greeley, R. and Iversen, J. D. (١٩٨٥): Wind as a geological process on Earth, Mars, Venus and Titan, Camridge University Press, London, ٣٣٣p.
- Hanna, S.,(١٩٩٥): Field guide to the geology of Oman, The Historical Association of Oman, Muscat, p.١٧٨.
- Lancaster, N., (١٩٨٤): Characteristics and occurrence of wind erosion features in the Namib Desert, Earth surface processes and landforms, Vol.٩, pp. ٤٦٩- ٤٧٨.
- Lippard, S.J.; Shelton, A.W. and Gass, I.G.,(١٩٨٦): The Ophiolite of Northern Oman, Geological Society, Blackwell Scientific Publication, Oxford, p.١٧٨.
- McCauley, J.F.; Grolier, M.J.; Breed, C.S., (١٩٧٧): Yardangs in Geomorphology in Arid Regions, editor Donald O. Doehring, A proceedings Volume of the Eighth Annual Geomorphology Symposium held at the State University of New York at Binghamton, September, ٢٣- ٢٤, PP.٢٣٣- ٢٦٩.
- Ministry of Agriculture and Fisheries, (١٩٩٠): General soil map of the sultanate of Oman, National Survey Authority, Ministry of Defense, Sultanate of Oman.

- Ministry of Transport and Communications, Directorale General of Civil aviation and Meteorology, Annual Climate Summary,٢٠٠٣.
- Ritter, D. F.,(١٩٨٦): Process Geomorphology, Wm. C. Brown Publishers, U.S.A., ٥٧٣p.
- Whitney, M. I. and Dietrich, R. V. (١٩٧٣): Ventifact Sculpture by Windblown Dust, Geological Society of America Bulletin, Vol. ٨٤, pp. ٢٥٦١-٢٥٨٢.