

## التقييم الجغرافي لخطورة زحف الكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجة:

### دراسة في الجيومورفولوجيا المناخية باستخدام تقنيات الجيوماتكس

د. طارق محمد أبو الفضل الكاشف<sup>١</sup>

[tarek.ibrahim@art.svu.edu.eg](mailto:tarek.ibrahim@art.svu.edu.eg)

#### المخلص:

يتناول هذا البحث تأثير مناخ منخفض الواحات الخارجة بشكل عام والرياح بشكل خاص في حركة وزحف الكثبان الرملية ووضع معامل لتقييم خطورة زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية بالمنخفض، باستخدام نهج علمي يجمع بين الجيومورفولوجيا المناخية وتقنيات الجيوماتكس.

وتتضمن الدراسة تحليل العوامل المناخية والجيومورفولوجية التي تؤثر في حركة الكثبان الرملية، مثل سرعة الرياح واتجاهها، وحجم وتوزيع الكثبان الرملية. وقد تم استخدام تقنيات الجيوماتكس، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS)، ونظم تحديد الموقع العالمية (GPS) في رصد وتقييم حركة الكثبان الرملية وفي صياغة معامل لتقييم درجات التعرض لخطر زحف تلك الكثبان.

وقد أظهرت النتائج أن الغالبية العظمى من الأراضي الزراعية بالمنخفض تتعرض لزحف الكثبان الرملية بمختلف درجاته، وتوصي الدراسة باتخاذ إجراءات متدرجة للتعامل مع ذلك الخطر مثل إنشاء حواجز نباتية ومصدات رياح، ومعالجة أسطح الكثبان وتثبيتها وتشتيتها وصولاً لنقلها أو إزالتها، إضافة لتطوير أداة جاهزة داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتطبيق المعامل المقترح بالدراسة على أية منطقة.

وختاماً تقدم هذه الدراسة رؤى مهمة لصناع القرار والباحثين حول كيفية تقييم درجة خطورة زحف الكثبان الرملية، مع تسليط الضوء على جانب من التطبيقات المفيدة لتقنيات الجيوماتكس في الدراسات الجيومورفولوجية.

#### الكلمات المفتاحية:

الجيومورفولوجيا المناخية، الرياح ذات النظام الأحادي العريض، العواصف الترابية والعواصف الرملية، احتمال الانجراف، السرعة الحدية للرياح، معامل خطورة الكثبان الرملية.

<sup>١</sup> مدرس الجغرافيا الطبيعية والجيوماتكس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية بكلية الآداب بقنا - جامعة جنوب الوادي.

## مقدمة:

تعد الكثبان الرملية احدى مظاهر التصحر الشائعة والمنتشرة في اغلب أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة، بل وشبه الرطب في العالم، وتعد الصحراء الغربية بجمهورية مصر العربية بصورة عامة ومنطقة الدراسة بصورة خاصة من المناطق التي تتعرض لظاهرة الكثبان الرملية، نتيجة العديد من العوامل الجغرافية الطبيعية والمناخية والتي تأتي في مقدمتها حركة الرياح وندرة الأمطار وقلة الرطوبة. لهذا تعد أبحاث الجيومورفولوجيا المناخية Climatic geomorphology من الدراسات الهامة التي يمكن الاعتماد عليها في تحديد العوامل المناخية المؤثرة على حركة الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة، واقتراح السبل المناسبة لمقاومة تلك الحركة والحد من أثارها على الموارد الطبيعية والبشرية بمنطقة الدراسة.

ويعرف ماتيو جوتيريز (Mateo Gutiérrez, 2013, pp.3-5) الجيومورفولوجيا المناخية Climatic geomorphology على أنها أحد فروع علم الجيومورفولوجيا الحديثة الذي يعنى بتحديد العوامل المناخية مثل شدة وتكرار ومدة هطول الأمطار، وشدة الصقيع، واتجاه وقوة الرياح، ويشرح تطور أشكال سطح الأرض في ظل ظروف مناخية مختلفة، كما عرفها أيضاً على أنها أحد فروع علم الجيومورفولوجيا الذي يدرس تأثير المناخ الحالي والماضي على العمليات المورفولوجية والأشكال الأرضية، بما في ذلك توزيعها المكاني والزمني ومدى تحكم المحددات المناخية في المعدلات التي تعمل بها تلك العمليات على تغيير الأشكال الأرضية.

وقد عرفها جودة التركماني على أنها فرع من فروع الجيومورفولوجيا ينظر للمناخ بنظرة شاملة على سطح الكرة الأرضية كمؤثر، وإلى سطح الأرض أو اليااس كمجال للتأثير، ولذا فإن الدراسة تتم على هيئة نطاقات، وتتم معالجة دور المناخ في

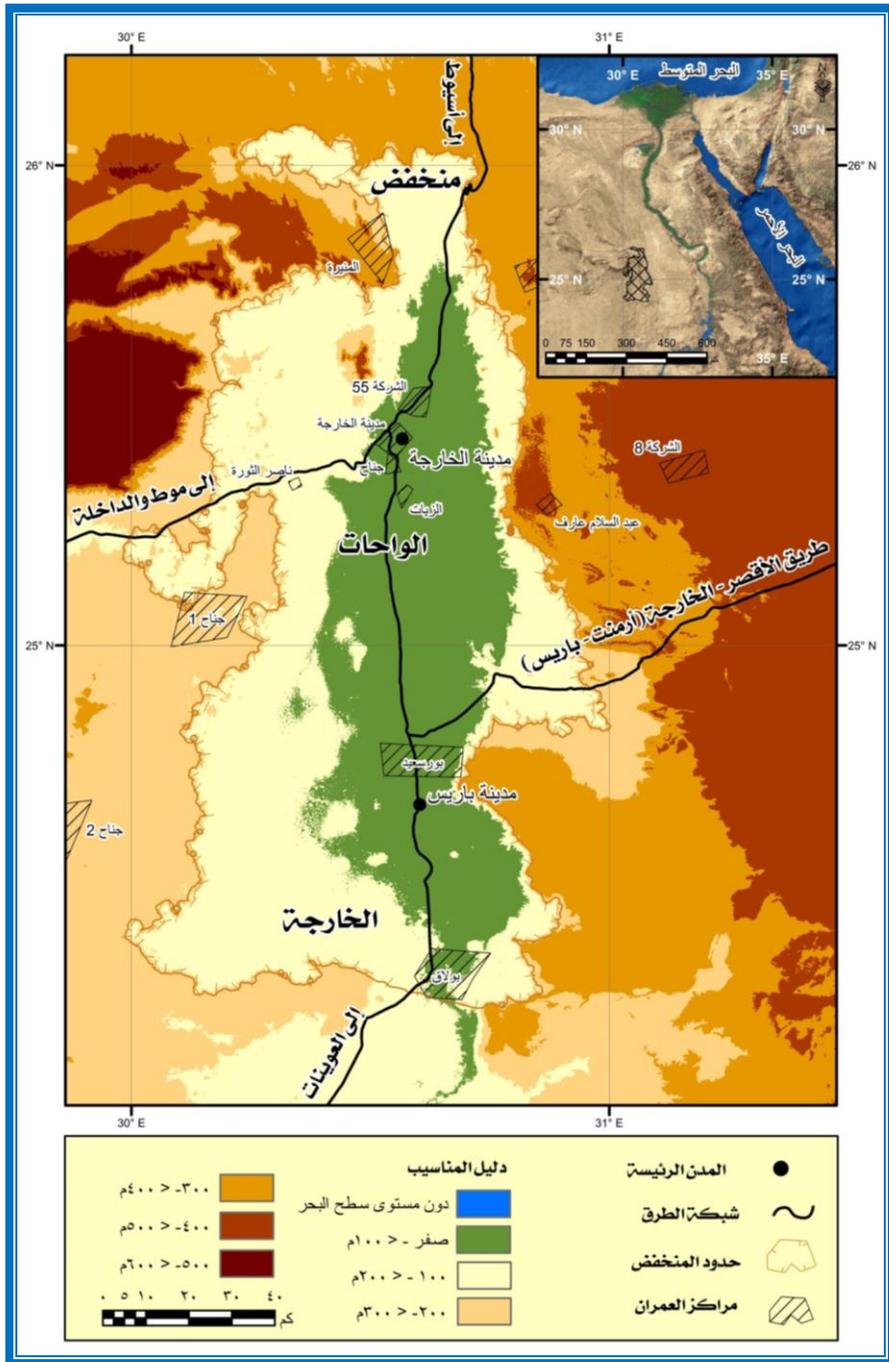
التجوية الكيميائية والميكانيكية وعلاق تطور السفوح وعمليات الانهيار الأرضي بالمناخ، واختلاف السلسلة الرسوبية للتربة والرواسب المفككة وعلاقتها بالتباينات المناخية. جودة التركماني، ٢٠١١، ص ١٨.

ويميل علماء الجيومورفولوجيا إلى تقسيم العالم إلى مناطق مورفومناخية Morphoclimatic Zones، وهي مناطق تحدد ظروفها المناخية تطور مجموعات متميزة من التضاريس، ومن المرجح أن يزداد الاهتمام بالجيومورفولوجيا المناخية في السنوات التالية بسبب الاحتباس الحراري العالمي والحاجة إلى التنبؤ بآثار التغيرات المناخية المتوقعة على النظم الجيومورفولوجية.

### تحديد منطقة الدراسة:

يمثل منخفض الواحات الخارجة مع منخفض الداخلة منخفضاً طبيعياً كبير المساحة في النصف الجنوبي من الصحراء الغربية وإن كانا يمتدان في شكل أقرب إلى التعامد بين النهاية الشمالية للمنخفض الأول والنهاية الشرقية للثاني. ويقع منخفض الواحات الخارجة بشكله الطولي المميز فيما بين دائرتي عرض ٣٠° ٢٤° و ٢٦° ٠٠' شمالاً، وخطي طول ٢٩° ٥٠' و ٣٠° ٥٥' شرقاً (شكل ١).

يتبع منخفض الواحات الخارجة إدارياً محافظة الوادي الجديد، ويشغله كل من قسم الخارجة الذي يضم ١٨ قرية ومدينة واحدة هي مدينة الخارجة، ومركز باريس الذي يضم ١٥ قرية ومدينة واحدة هي مدينة باريس.



المصدر: طارق محمد أبو الفضل وصفاء محمد مالك، ٢٠٢٣م، ص ٦.

شكل (١) موقع ومناسيب سطح الأرض بمنخفض الواحات الخارجة

### أسباب اختيار الموضوع وأهميته:

جاء اختيار موضوع الدراسة بسبب ما يعانيه المنخفض وسكانه من مشكلات ناتجة عن أكبر قوى الطبيعة التي يتعامل معها الانسان بالمنخفض وأكثرها تأثيراً على أنشطته وهي الأحوال المناخية، حيث تكاد تصل مرحلة العلاقة بينهما في الواحات الخارجية إلى مرحلة الحتمية الجغرافية التي تحددها ظروف البيئة الجغرافية التي يعيش فيها سكان الواحات، كما أن هذه المشكلات المناخية تؤثر بالسلب على معظم الأنشطة البشرية بالمنخفض من زراعة، وعمران، ونقل ومواصلات.

وبما أن الكثبان الرملية تعد واحدة من الظواهر الجيومورفولوجية السائدة بمنطقة الدراسة التي تتعرض للعمليات الريحية بشكل مستمر، وتعتبر هذه الأشكال الإرسابية الناتجة أساساً بفعل الرياح خطر يهدد وجود واستقرار الأراضي الزراعية والمنشآت البشرية والحيوية وطرق المواصلات حيث تؤدي إلى هدم النظم البيئية والاقتصادية بها لذا كان من الضروري التعرض لهذا الموضوع.

### فرضيات الدراسة:

تتلخص فرضيات الدراسة في:

- ١- هناك تباين في سرعات تحرك الكثبان الرملية بين أرجاء المنخفض.
- ٢- يؤثر تباين أحجام وأبعاد الكثبان الرملية بين أرجاء المنخفض في سرعتها.
- ٣- هناك تباين في درجة التعرض لخطورة زحف الكثبان الرملية بين أرجاء المنخفض.

### أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى معرفة الخصائص المورفولوجية للكثبان الرملية بمنطقة الدراسة من خلال توظيف التقنيات الجغرافية الحديثة (الجيوماتكس) في الكشف عن مقدار واتجاهات حركة الكثبان الرملية مع وضع معامل للتقييم الجغرافي لخطورة زحف الكثبان الرملية ووضع منهجية مبتكرة لتطبيقه على الكثبان الرملية بالمنخفض.

### مناهج البحث وأساليب الدراسة:

استخدمت الدراسة عدة مناهج منها: **المنهج الوصفي** الذي تم استخدامه في وصف منطقة الدراسة والمظهر العام للكثبان الرملية، كما تم توظيف **المنهج التحليلي** في تحليل البيانات التي تم الحصول عليها من القياسات الميدانية وتحليل المراثيات الفضائية المستخدمة في الدراسة، فضلاً عن استخدام **الأسلوب الإحصائي** في جدولة وتبويب البيانات واستخراج المتوسطات والمعدلات والتحليلات الإحصائية المختلفة.

وإلى جانب هذه المناهج اعتمدت الدراسة على العديد من تقنيات الجيوماتكس الحديثة بأنواعها التي من شأنها متابعة حركة الكثبان الرملية بالمنخفض وتتمثل تلك التقنيات في الآتي:

#### ١- تقنيات الاستشعار عن بعد:

اعتمدت الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بعد من خلال تحليل صور القمر الصناعي لاندسات وصور جوجل إيرث Google Earth Pro وصور برنامج TerraIncognita لمتابعة الحركة ومعدلاتها لما تتميز به من دقة مكانية عالية تصل إلى ٠.٥ م وهو ما يتيح التعرف الدقيق على حدود الكثيب وحساب معدلات

الحركة له على فترات زمنية مختلفة ما بين عامي ٢٠١٤ - ٢٠٢٤م، هذا إضافة لملفات الارتفاعات الرقمية من نوع Aster بدقة ٣٠م.

## ٢- تقنيات نظم المعلومات الجغرافية:

اعتمدت الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في بناء نظام معلومات جغرافي متكامل عن حركة الكثبان الرملية يتضمن انشاء قاعدة بيانات جغرافية متكاملة تضم بيانات مكانية عن مواقع الكثبان الرملية محل الدراسة خلال فترات زمنية مختلفة وتوزيع الأنشطة البشرية المختلفة حول الكثبان والتي تؤثر عليها وتمثل تهديداً لها بالإضافة إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية في بناء معامل يحدد مدى خطورة زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية بالمنخفض.

## ٣- الأجهزة المساحية وتقنيات الرصد والقياس الميداني:

تم استخدام تقنية تحديد المواقع العالمية GPS ومحطات الرصد المتكاملة Total station وأجهزة الرصد والقياس الميداني مثل جهاز قياس الانحدار (الكلينوميتر Clinometer) لقياس زاوية انحدار الكثبان الرملية بالمنخفض وأجهزة قياس حجم حبيبات رمال الكثبان الرملية (Sand Test Sieve set)، إضافة لتسجيل الملاحظات الميدانية وتصوير الصور الفوتوغرافية.

## الدراسات السابقة:

تعتبر المشكلات المناخية وتأثيراتها الجيومورفولوجية كموضوع منفصل للدراسة من القضايا حديثة الطرح في الجيومورفولوجيا المناخية، ومن أهم الدراسات السابقة التي تناولت موضوع ومنطقة الدراسة ما يأتي:

### (١) دراسات تناولت موضوع الدراسة:

أ- دراسة مسعد سلامة مندور (٢٠٠٥م)، المشكلات المناخية في الواحات البحرية دراسة في المناخ التطبيقي، ندوة التنمية والبيئة في الصحاري المصرية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب جامعة القاهرة:

تناول الدراسة العناصر المناخية والمشكلات المرتبطة بها في الواحات البحرية وأهمها (المشكلات المرتبطة بالإشعاع الشمسي، والمشكلات المرتبطة بدرجة الحرارة، والمشكلات المرتبطة بالرياح، وندرة الأمطار والجفاف الهيدرولوجي بالمنخفض، والمشكلات المرتبطة بالتبخر)، ثم تناول الآثار الناجمة عن المشكلات المناخية وقد تمثلت في (تدهور التربة وتغير خصائصها، وجفاف برك الصرف وانتشار السبخات والملاحات بالمنخفض، وتلف المنازل بالمنخفض).

ب- دراسة محمود عبد الفتاح محمود عبد اللطيف عنبر (٢٠١٥م)، الأخطار المناخية والبيئية في منخفض الواحات البحرية: دراسة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة:

وتناولت الدراسة الأخطار الطبيعية بالمنخفض وقسمتها الدراسة إلى الأخطار المناخية التي اشتملت على (الأخطار المرتبطة بالإشعاع الشمسي، والأخطار المرتبطة بالتطرفات الحرارية، والأخطار المرتبطة بالرياح، والأخطار المرتبطة بالتبخر)، والأخطار البيئية التي تضمنت (الانهيارات الأرضية، والجفاف الهيدرولوجي بالمنخفض).

## (٢) دراسات تناولت منطقة الدراسة:

أ- دراسة بيدنل: Beadnell, H.J.L., (1909) An Egyptian Oasis of Kharga in the Libyan Desert, Murray, London.

وتعد دراسة بيدنل أولي الدراسات لحركة الكثبان الرملية الهلالية بمنخفض الخارجية، حيث قام بدراسة خمس كثبان هلالية الشكل متباينة في الحجم والموقع داخل المنخفض وذلك باستخدام القياسات الحقلية، وانتهت الدراسة إلى وجود علاقة ارتباطية عكسية قوية بين حجم الكتيب ومعدل الحركة، ووضع بيدنل قاعدة مفادها أن الكثبان الصغيرة تتحرك بمعدل أكبر من الكثبان الكبيرة الحجم.

ب- دراسة نبيل سيد إمبابي (١٩٨٥)، حركة الكثبان الرملية الهلالية وأثرها على العمران والتعمير في منخفض الخارجية، مجلة الشرق الأوسط، العدد ٦، جامعة عين شمس.

ج- دراسة ستوكيس وآخرون:

Stokes S, Goudie A, Ballard J, Gifford C. Sameih S, Embabi N. El-Rashidi, (1999) Accurate dune displacement and morphometric data using kinematic GPS. Zeitschrift für Geomorphologie N E. Suppl.-Bd. 116, Aeolian Geomorphology, Papers from the 4th International Conference on Aeolian Research, Oxford, 1998.

وتناولت الدراسة حركة الكثبان الرملية في الخارجية لعدد ٢٠ كتيب هلاي الشكل من خلال تحليل الخرائط الطبوغرافية بمقياس ١:٢٥٠٠٠ للمدة ١٩٣١ - ١٩٦١ م، علاوة على استخدام الأجهزة المساحية من نوع جهاز تحديد المواقع العالمي الحركي

Kinematic Global Positioning System GPS" خلال عام ١٩٩٧م، وقد أوضحت الدراسة أن هناك بعض التغيرات في معدلات الحركة لكل كتيب على حدة، ووجود علاقة عكسية بين سرعة الكتيب وحجمه.

د- دراسة ناصر عبد الستار عبد الهادي (يونيو ٢٠١٩م)، أنماط الأشكال الرملية بقاع منخفض الخارجية: تحليل جيومورفولوجي، مجلة الدراسات الإنسانية والأدبية، كلية الآداب- جامعة كفر الشيخ، مج. ١٩، ١٤.

تناولت الدراسة الخصائص الطبيعية العامة لمنخفض الخارجية، والتحليل الجيومورفولوجي للأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالرمال بالمنخفض وشملت الكثبان الرملية والنباك والتوجات والفرشات الرملية وخصائصها العامة ثم دراسة عوامل تكوينها والأخطار المرتبطة بها.

هـ- دراس شربات بشندي عطية (٢٠١٨م)، مشكلات التربة في منخفض الخارجية: دراسة جغرافية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه، كلية الآداب- جامعة القاهرة.

وتناولت الدراسة دراسة التمييز الطيفي والتحليل المكاني لمشكلة تملح التربة، والضوابط الجغرافية لهذا التملح، ودراسة العلاقة بين التربة والنبات الطبيعي بالمنخفض، ثم دراسة الأشكال الرملية وأثرها على تدهور التربة بالمنخفض، ثم تصميم وتطبيق نموذج لتقييم القدرة الإنتاجية للتربة بالمنخفض.

#### مصادر الدراسة:

اعتمدت الدراسة على العديد من مصادر البيانات والمعلومات الحديثة التي من شأنها متابعة حركة الكثبان الرملية في منطقة الدراسة وهي كالاتي:

(١) البيانات المناخية لمحطة الخارجة: وفيها فقد تم الاعتماد على المعدلات المناخية للمدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م) والتي تم الحصول عليها من البيانات غير المنشورة للهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية.

(٢) المرئيات الفضائية المتمثلة في مرئيات القمر الصناعي Landsat لعامي ٢٠١٤ - ٢٠٢٤م من نوع OLI 8.

(٣) ملفات الارتفاعات الرقمية من نوع ASTER ذات الدقة المكانية ١ ثانية مكانية (٣٠م).

(٤) المرئيات الفضائية ذات الدقة العالية الموجودة في برنامجي Google earth pro، و TerraIncognita.

(٥) الدراسة الميدانية واستخدام أدوات وأجهزة العمل الميداني بالمنخفض.

### أولاً: الخصائص الجغرافية الطبيعية لمنطقة الدراسة:

تضاريسياً يعد منخفض الخارجة منخفضاً طويلاً ضيقاً يبلغ طوله من جبل اليابسة في الشمال حتى جبل بوبيان في الجنوب ١٨٥ كم، وهو بهذا الامتداد يعد أطول منخفضات الصحراء الغربية، وأما عن اتساعه فيختلف على طول امتداده من الشمال إلى الجنوب، ويتراوح اتساعه ما بين ١٥، ٣٥ كيلو متراً.

ويحد المنخفض من جهة الشمال والشرق حافات شديدة الانحدار بمتوسط ارتفاع ٤٠٠م فوق مستوى سطح البحر، في حين تكون غير واضحة في الغرب حيث ينفتح نحو منخفض الداخلة، وبالالاتجاه نحو الجنوب والجنوب الغربي فان قاع المنخفض يندمج تدريجياً بالصحراء المفتوحة ويمكن اعتبار التلال النارية والمتحولة المنعزلة الواقعة في الجنوب هي الحد الجنوبي للمنخفض. (شكل ١)

أما من حيث طبوغرافية وانحدار أرض المنخفض فيتضح أن المنخفض يأخذ الاتجاه الشمالي الجنوبي، ويطوق المنخفض حافة شديدة الارتفاع تمتد من الجنوب للشمال حتى تلتقي بالحافة التي تطوق المنخفض من ناحية الشمال، ويصل ارتفاع هذه الحافات إلى أكثر من ٥٠٠ م. كما يتميز منخفض الخارجة باختلاف منسوبه من مكان لآخر؛ حيث يصل أقل منسوب إلى - ٢٩ م شمال منطقة قصر الزيان ويزيد أعلى منسوب به عن ٤٥٠ م في منطقة الحافة، وتقع الأراضي الزراعية بمنطقة الدراسة في فئتي الارتفاع (٠-٥٠ م) و(٥٠-١٠٠ م).

(شربات بشندي، ٢٠١٨، ص ٨١)، كما يتضح من شكل (١) أن أراضي المنخفض تنحدر نحو الداخل من الحافات الشمالية والشرقية الأكثر ارتفاعاً نحو الأراضي السهلية المنخفضة في الداخل والتي تمثل قاع المنخفض.

كما يتضح من دراسة شربات بشندي للانحدارات بالمنخفض (شربات بشندي، ٢٠١٨، ص ٨٨) أن الانحدارات الهينة (٢ - > ٥°) والمتوسطة (٥ - > ١٠°) تسود معظم أراضي المنخفض فهي تمثل نحو ٣٠.٨٪ من أرضه مما يعني أن معظم أراضي المنخفض تمثل أراضي سهلية أو متموجة تساعد على ترسيب كميات كبيرة من الرمال تظهر في شكل أسراب من الكثبان الرملية تهاجر إلى مختلف أجزاء المنخفض وذلك وفق اتجاه الرياح السائدة به، حيث يساعد في دخولها المنخفض الحافات الرأسية والجروف (> ٤٥°) التي تشكل غالبية المساحة المتبقية من المنخفض والتي تقدر بنحو ٦٦.٨٪ وهي في الغالب تمثل المنحدرات العليا لقطاع التلال المتاخمة للحافة الشرقية مثل جبل أم الغنايم وجبل غنيمة، أما باقي فئات الانحدار وتشمل الفئات من ١٠- أقل من ٤٥° فلا تشغل مجتمعة سوى مساحة ضئيلة جداً تمثل ٢.٤٪ من مساحة المنخفض.

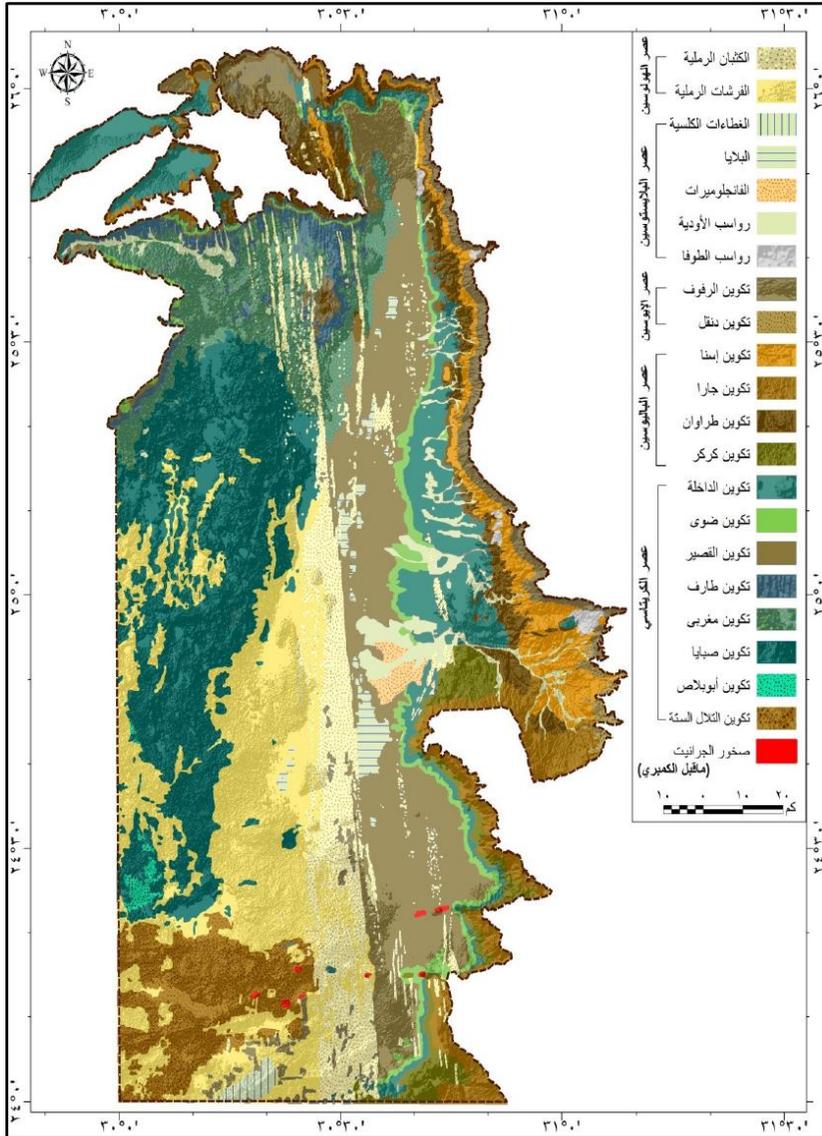
**أما جيولوجياً** فيتراوح عمر التكوينات الجيولوجية بمنخفض الخارجة ما بين العصر الكريتاسي الأعلى بالزمن الجيولوجي الثاني وتكوينات عصر الهولوسين بالزمن الجيولوجي الرابع، حيث يرتبط تكوين منخفضي الخارجة والداخلة بالحد الجيولوجي بين الحجر الرملي النوبي في الجنوب والطباشير الكريتاسي في الشمال وفيما يأتي عرض لهذه التكوينات. (شكل ٢)

حيث لا تكاد تشغل تكوينات صخور القاعدة الجرانيتية التي تعود لما قبل الكامبري نحو ٠.٠٤٪ من المساحة الكلية للمنخفض، في حين تشغل تكوينات الزمن الجيولوجي الثاني أكثر من نصف مساحة المنخفض (٥٤.٨٪ من المساحة الكلية للمنخفض) وتشمل: **تكوينات عصر الكريتاسي الأسفل** والتي تضم تكوينات التلال السنة وأبوبلاص وصبايا، **وتكوينات عصر الكريتاسي الأعلى** والتي تضم تكوينات المغربي وطارف والقصير والضوي والداخلة.

أما تكوينات الزمن الجيولوجي الثالث فتبلغ مساحتها (١٥.٤٦٪ من المساحة الكلية للمنخفض) وتشمل: **تكوينات عصر الباليوسين** والتي تضم تكوينات كركر، وطروان، وجارا، وإسنا، **وتكوينات عصر الإيوسين الأسفل** والتي تضم تكوينات دنجل والرفوف.

كما تبلغ مساحة تكوينات الزمن الجيولوجي الرابع (٢٩.٧٪ من المساحة الكلية للمنخفض) وتشمل: **تكوينات عصر البلايستوسين** والتي تضم تكوينات الطوفا ورواسب الأودية والفانجلوميرات والبلايا والغطاءات الكلسية، **وتكوينات عصر الهولوسين** والتي تضم الفرشات والكثبان الرملية.

وبهذا يتضح أن جميع التكوينات الجيولوجية بالمنخفض والمنطقة المحيطة به هي لصخور رسوبية ومفتتات يسهل للرياح نقلها وارسابها وهو ما يساعد على تكوين الكثبان الرملية بالمنخفض.



المصدر: شربات بشندي، يونيو ٢٠١٩م، ص ٩٢.

شكل (٢) التكوينات الجيولوجية بمنخفض الخارجة

### ثانياً: تعريف حركة الكثبان الرملية والعوامل المؤثرة فيها:

يقصد بحركة الكثبان الرملية انتقال الكثبان من مكان إلى آخر في اتجاه منصرف الرياح السائدة نتيجة إزالة الرمال من الكساح وإرسابها على الصباب (نبيل سيد إمبابي ومحمود محمد عاشور، ١٩٨٥، ص ١٤٣).

أما أهم العوامل المتحكمة في خطورة حركة الكثبان الرملية فتتمثل في أبعاد الكثبان الرملية، وظروف الرياح، والرطوبة، ومواقع الكثبان، والتضاريس المحلية، إضافة إلى التدخلات البشرية، وهذه العوامل هي أهم العوامل المؤثرة في خطورة حركة الكثبان الرملية الهلالية بمنخفض الخارجة.

وفيما يخص الواحات الخارجة فقد تبين أن الكثبان الرملية تختلف من حيث تباين انحداراتها وأبعادها ومظاهر أسطحها ونمطها العام وتباين أحجامها. ومن أكثر أشكال الكثبان الرملية شيوعاً الكثيب الهلالي أو البرخان (الغزد)، حيث تعمل الرياح على تغيير شكل الكثيب باستمرار، فقد يتحول شكله الهلالي إلى أشكال أخرى، منها الكثبان البيضاوية والصغيرة الجينية والهلالية المركبة. وأهم هذه الكثبان في منطقة الدراسة هي الكثبان الهلالية، وعندما تهب الرياح القوية فإن هذه الكثبان تتحرك باتجاه الريح وكأنها كتلة واحدة.

### ثالثاً: الخصائص المناخية ذات العلاقة بحركة الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة:

#### (أ) اتجاهات وسرعة الرياح بالخارجة:

توصل فرايبرجر (Fryberger) في دراسته عام (١٩٧٩م) للكثبان الرملية وعلاقتها بنظم الرياح أنه نظم الرياح تنقسم إلى خمسة نظم رئيسة هي:

### ١- النظام الأحادي الضيق Narrow unimodal:

وفيه تكون ٩٠٪ أو أكثر من الحركة المحتملة بالمحطة يقع ضمن اتجاهين متجاورين على البوصلة، أي ضمن قوس ٤٥ درجة من البوصلة، وهذا النوع من الرياح يترتب عليه انجراف رملي ضيق أو أحادي الاتجاه وهو النوع الأكثر شيوعاً، وهو يشير إلى أن الانجراف الرملي يتركز في اتجاه واحد.

### ٢- النظام الأحادي العريض Winde unimodal:

وهو يشمل أي توزيع اتجاهي آخر بذروة أو وضع واحد، وهذا النوع من الرياح يترتب عليه انجراف رملي عريض أحادي الاتجاه وهو نوع أقل شيوعاً، وهو يشير إلى أن الانجراف منتشر على نطاق أوسع من الاتجاهات.

### ٣- النظام الثنائي الحاد Acute bimodal:

توزيع له ذروتي انحراف، وتشكل اتجاهات ذروتي التوزيع (الأذرع الأطول على مقياس الرمال) زاوية حادة (بما في ذلك الزاوية القائمة، ٩٠ درجة)، وهذا النوع من الرياح يترتب عليه انجراف رملي ثنائي حاد الاتجاه وهو نوع يشير إلى أن الانجراف يتركز حول اتجاهين، وتشكل اتجاهات هذين الاتجاهين زاوية حادة.

### ٤- النظام الثنائي المنفرج Obtuse bimodal:

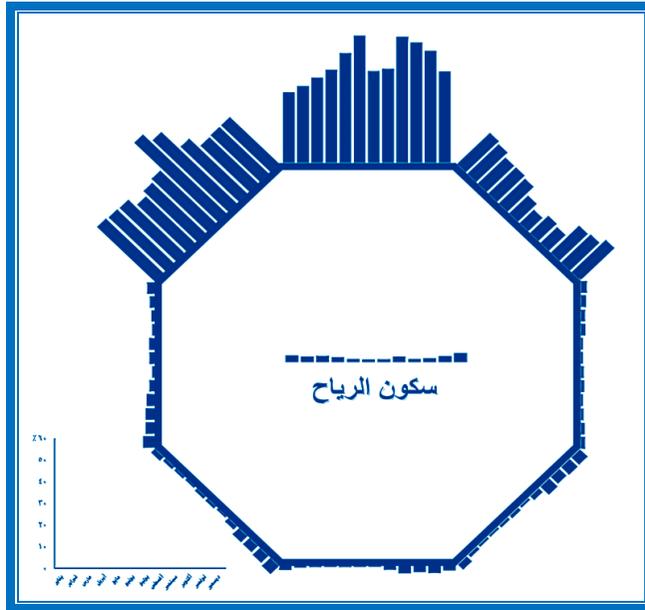
هو توزيع له ذروتي انحراف، وتشكل اتجاهات ذروتي التوزيع زاوية منفرجة، وهذا النوع من الرياح يترتب عليه انجراف رملي يتركز حول اتجاهين، وتشكل اتجاهات هذين الاتجاهين زاوية منفرجة.

٥- النظام المركب Complex:

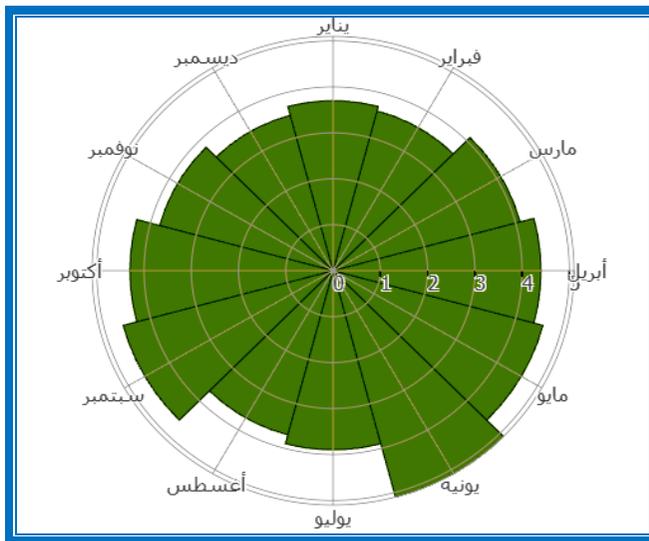
وهو يشمل أي توزيع له أكثر من ذروتي انحراف، أو ذروتي انحراف غير محددتين جيداً، وهذا النوع من الرياح يترتب عليه انجراف رملي لا يتركز حول أي اتجاه واحد، أو أن هناك اتجاهات متعددة غير محددة جيداً. Fryberger, S.G., 1979, P.149

وبالتطبيق على الرياح بمنطقة الدراسة فإنه يتضح من دراسة المعدلات الشهرية لتكرارية نسب هبوب الرياح بالوحدات الخارجة (شكل ٣ وملحق ١) انها من نوع الرياح الأحادي العريض Winde unimodal؛ حيث تهب معظم الرياح وبالتالي الرمال من الاتجاه الشمالي (٤٥ - ٣١٥°) الذي تهب منه ٩٠.٥٣٪ من الرياح شهرياً على المنطقة حيث تهب ٤٣.٨٣٪ من الرياح الشهرية من الاتجاه الشمالي و ٣٢.٤٠٪ من الاتجاه الشمالي الغربي و ١٤.٣٠٪ من الاتجاه الشمالي الشرقي، أما بقية الاتجاهات فلا تهب منها سوى ٩.٤٧٪ من الرياح على مدار العام.

وينطبق هذا النمط التوزيعي على المدة من مايو إلى نوفمبر، حيث تتراوح نسبة الرياح الشمالية ما بين ٩١ - ٩٦٪ من إجمالي نسبة تكرار هبوب الرياح خلال تلك الشهور، أما خلال المدة من ديسمبر إلى أبريل فترتفع نسبة الرياح الجنوبية والغربية قليلاً فيكون التوزيع ثنائي لكن مع استمرار سيادة الرياح الشمالية بأنواعها بنسبة تتراوح ما بين ٨٠.٢ - ٨٥.٦٪ من إجمالي نسبة تكرار هبوب الرياح خلال تلك الشهور.



المصدر: اعداد الباحث اعتمادا على بيانات ملحق (١) باستخدام برنامج Microsoft Excell.  
شكل (٣) المعدل الشهري لتكرارية هبوب الرياح من الاتجاهات المختلفة بالخارجة خلال  
المدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)



المصدر: اعداد الباحث اعتمادا على بيانات ملحق (٢) باستخدام Rose Diagram or Chart Creator.  
<https://geographyfieldwork.com/RoseDiagramCreator.html>  
شكل (٤) المعدل الشهري لسرعة الرياح بالواحاحات الخارجة خلال المدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)

أما من حيث المعدل الشهري لسرعة الرياح بالواحات الخارجية فيتضح من تحليل بيانات المتوسط الشهري لها (ملحق ٢ وشكل ٤) أن سرعات الرياح بمنخفض الخارجية تتراوح ما بين ٣.٥ م/ث في أقل الشهور (شهر ديسمبر)، إلى ٥.١ م/ث في أكثر الشهور (شهر يونية)، بمتوسط سنوي يبلغ ٤.١ م/ث، وهذه السرعات مع نمط الرياح الأحادي (التي تأتي دائماً من الشمال) أدى إلى تحرك الكثبان الرملية من الشمال للجنوب بالمنخفض.

#### (ب) قلة الرطوبة وندرة الأمطار والجفاف المتيورولوجي والهيدرولوجي بالمنخفض:

يؤدي الارتفاع الشديد في درجات الحرارة (يبلغ معدلها السنوي  $٢٤.٤^{\circ}\text{م}$ ) والارتفاع الشديد في معدلات التبخر/ نتح القياسي بالمنخفض (يبلغ معدلها السنوي ٧.٥٦ ملم/يوم) إلى أن يصاب النبات بالجفاف، فتساقط أوراقه وثماره قبل نضجها، مما يتسبب في خسارة كبيرة للمحاصيل الزراعية، مثلما يحدث حين مرور المنخفضات الخماسينية شديدة الحرارة والجفاف.

حيث يؤثر التبخر بشكل مباشر في التربة الزراعية فارتفاع معدلات التبخر وما يرتبط به من ارتفاع في حدة الجفاف يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من الأملاح فوق الطبقة السطحية للتربة، كما أنه يؤثر سلبياً في الميزانية المائية وبالتالي يتأثر النبات بعظيم الأضرار مما يستدعي زيادة المقننات المائية للمحاصيل وخاصة في فصل الصيف. شحاته سيد أحمد طلبه، ٢٠٠٢، ص ١٢٠

هذا فضلاً عن ندرة سقوط المطر التي لا يتعدى المجموع السنوي لها ٠.٧ ملم وبالتالي الجفاف وانخفاض فاعلية الأمطار (الجفاف الميتيورولوجي) وزيادة معدلات سحب المياه الجوفية، ومن ثم يتعرض المنخفض للجفاف الهيدرولوجي (انحسار

العيون الطبيعية والآبار)، بل وجفاف بعضها، كما حدث في بعض الآبار مثل عين البشمو وعين الهوجبة وعين المفتلا وبئر سيجام القديم، حيث حفرت آباراً بدلاً منها عند منسوب يزيد على ١٠٠٠ متر، حتى تلبية حاجات السكان من المياه.

إذ يرتبط هذا بنقص أو توقف التدفق الارتوازي للمياه الجوفية في منخفض الخارجة، وهي حقيقة قديمة قدم استغلال الإنسان لهذه المياه، ومن الأدلة التي تؤكد ذلك وجود بقايا آثار الآبار الرومانية التي تنتشر في أجزاء مختلفة من منطقة الدراسة (نبيل سيد إمبابي ، ١٩٧٧ ، ص ص ١٥٨-١٥٩)، كما يؤكد بافر وبريتوريوس في دراستهما (Paver, G.L. & Pretorius, D.A., 1954, pp. 38-39) عن منخضي الخارجة والداخلة أن كمية المياه المتدفقة من الآبار الجوفية بمنخفض الخارجة قد انخفضت من متوسط يومي قدره نحو ٣٤٨ متر مكعب إلى ٢٥٦ متر مكعب. (أماني حسين محمد حسن، ٢٠٠٣م، ص ٧١)

كل هذه الأخطار، وإن تبدو في ظاهرها أنها ذات سبب وأصل مناخي، إلا أن جميعها ذات انعكاس بيئي واضح؛ نظراً إلى طبيعة التفاعل والتكامل الشامل بين مكونات النظام البيئي.

### (ج) العواصف الترابية والرملية وتكرارية حدوثها بالمنخفض:

تعتبر العواصف الرملية من الظواهر المناخية المتكررة بمنخفض الخارجة لأنه يقع ضمن الإقليم الجاف، ويساعد على زيادة أثرها في منطقة الدراسة توفر التربة السطحية المفككة والمسطحات الرملية، إلى جانب استواء السطح في معظم قاع المنخفض، مع ارتفاع درجة الحرارة. حيث أن تسخين سطح الأرض يترتب عليه تولد تيارات هوائية صاعدة تثير الأتربة والرمال.

ويمكن التمييز بين العواصف الترابية Dust storms والعواصف الرملية Sand storms على أساس حجم الذرات التي تحملها العواصف، ومصدرها، إذ أن مصدر العواصف الترابية هي الأراضي الجافة ذات التربة المفككة وقطر جزيئاتها لا يزيد عن (٠.٦ مم)، في حين تشكل الكثبان الرملية الصحراوية والساحلية مصدر العواصف الرملية، إلا أنه من غير المستحب الأخذ بمثل هذا التمييز، لكون شدة الرياح العاصفة هي التي تحدد حجم الجزيئات (غبار، رمال) التي تتمكن من إثارتها وحملها، والتي هي بشكل عام خليط من جزيئات مختلفة الأحجام (غبارية ورملية... وغير ذلك)، وبما أن الجزيئات الأدق هي الأكثر إثارة وانتشاراً من غيرها، لذا فقد شاع استخدام مصطلح العواصف الترابية للدلالة على أي منها (ترابية أم رملية).

وتنشأ العاصفة الترابية نتيجة حدوث تيارات الحمل الحراري التي تحدث بسبب التسخين الشديد لسطح الأرض فيصبح الهواء فوقه حاراً وذا ضغط منخفض ومن ثم يصعد إلى أعلى بشكل تيارات حملانية، مما يسبب خلق اختلافات في الضغط الجوي والحرارة، تندفع بسببها رياح أبرد نسبياً لملء الفراغ في الموقع الأمر الذي يثير الغبار ويحمل حبات الرمل إلى أعلى بمستوى يتناسب مع قوة الرياح وجفاف وتفكك التربة.

تحدث العواصف الترابية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة التي تكثر فيها الرمال أو تنتشر فيها تربة خفيفة ومفككة. ويشترط لحدوث تلك العواصف هبوب رياح قوية قادرة على تحريك الغبار وذرات الرمال الدقيقة وحملها لمسافات طويلة، مع نشاط التيارات الهوائية الرأسية، أو سيادة الانقلابات الحرارية. إذ أن ذلك يساعد على انتشار الغبار في الجو حتى ارتفاعات كبيرة. ولهذا فإن معظم العواصف الترابية تحدث نهاراً

خاصة بعد الظهر ويخف تأثيرها كثيراً في المساء. ويزداد احتمال حدوث العواصف الترابية أثناء فترات الجفاف.

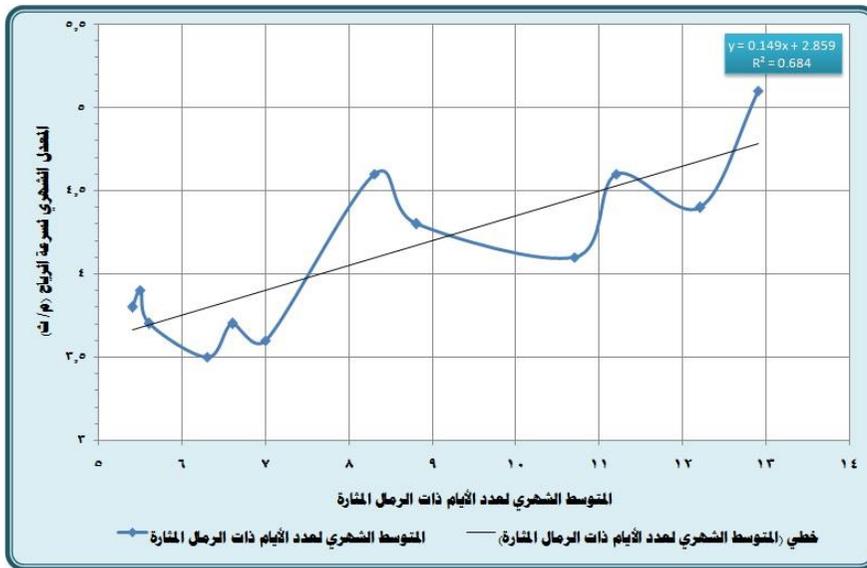
ويمكن تقسيم العواصف الترابية بمنخفض الخارجية إلى نوعين حسب العامل المسبب لها. وبناءً على ذلك يمكن تحديد أهم العوامل التي تؤدي إلى حدوث العواصف الترابية في مصر، وفي المنخفض على النحو الآتي:

١- **عواصف ترابية من النوع الخماسيني:** وهي تحدث بسبب هبوب رياح قوية جنوبية وجنوبية شرقية في مقدمة منخفضات صحراوية عميقة عند مرورها متكونة أو متطورة قرب الساحل الشمالي لمصر فوق الصحراء، أو فوق جنوب البحر المتوسط في الفصول الانتقالية، وخاصة في فصل الربيع، وتؤثر على مصر كلها.

٢- **عواصف ترابية من نوع الجبهة الباردة:** وهي تحدث في كل من الموسم البارد والحر في مؤخرة الجبهات الباردة المرتبطة مع منخفضات عميقة فوق مناطق مدارية أو صحراوية عندما تترك شرق البحر المتوسط، وتتحرك نحو الشرق أو الشمال الشرقي، وتؤثر على كل مناطق مصر، وخاصة مصر العليا.

يتضح من المعدلات المناخية للخارجة (ملحق ٢ وشكل ٥) أن المنخفض يتعرض طوال العام للرمال المثارة إذ لا يخلو أي شهر منها، ولكن هذا التعرض يبلغ أشده خلال شهر يونيه بمتوسط قدره ١٢.٩ يوم من الرمال المثارة أي ما يقرب من نصف أيام الشهر، أما أدنى الشهور تعرضاً للرمال المثارة فهو شهر نوفمبر بمعدل ٥.٤ يوم.

ويزداد خطر هذه الرمال المثارة على تلويث الهواء ورفع درجات الحرارة وتحريك المزيد من الرمال التي تعتبر الغطاء الرئيس لسطح الأرض بالمنخفض وخاصة الكثبان الرملية التي يزخر بها مع زيادة سرعة الرياح التي تحملها، حيث يتضح من دراسة العلاقة الارتباطية بين المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة والمعدل الشهري لسرعة الرياح أن العلاقة بينهما علاقة طردية متوسطة بمعامل ارتباط قدره (٠.٦٨). شكل (٥)



المصدر: اعداد الباحث اعتماداً على ملحق (٢)، باستخدام برنامج Microsoft Excel.

شكل (٥) المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة ولسرعة الرياح والعلاقة الارتباطية بينهما

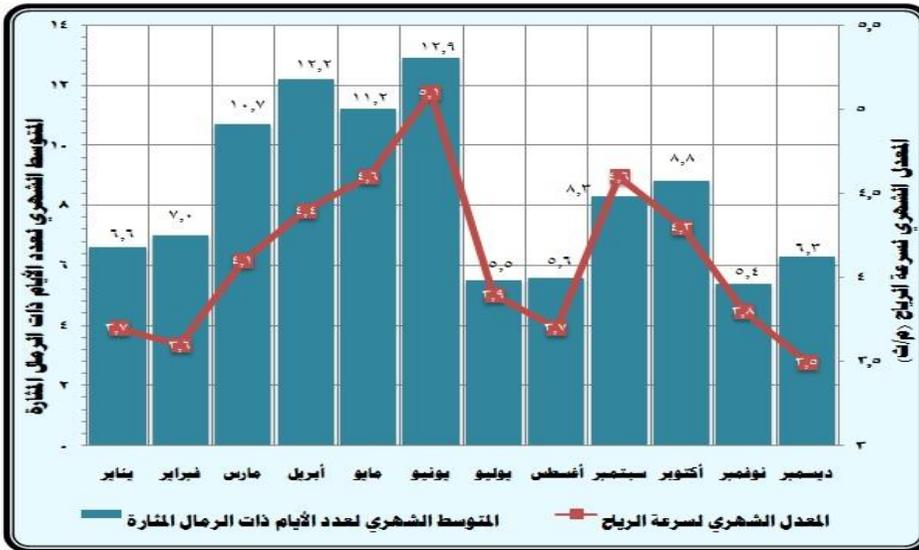
وفيما يخص التوزيع الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة ولسرعة الرياح

بالخارجة (شكل ٦) فيمكن تقسيم شهور العام إلى فئتين وفق المتوسط الشهري

لعدد الأيام ذات الرمال المثارة كالاتي:

١- شهور المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة فيها أكثر من ١٠ أيام:  
وتتمثل في أربعة شهور هي يونيه من فصل الصيف، وشهور الربيع أبريل ومايو  
ومارس بالترتيب بمتوسطات شهرية قدرها (١٢.٩، ١٢.٢، ١١.٢، ١٠.٧ يوم ذو  
رمال مثارة/ شهر).

٢- شهور المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة فيها أقل من ١٠ أيام:  
وتتضمن باقي شهور العام وهي أكتوبر وسبتمبر من شهور الخريف، وشهور الشتاء  
فبراير ويناير وديسمبر ثم أغسطس ويوليو من فصل الصيف وأخيراً شهر نوفمبر  
بالترتيب بمتوسطات شهرية قدرها (٨.٨، ٨.٣، ٧، ٦.٦، ٦.٣، ٥.٦، ٥.٥، ٥.٤  
يوم ذو رمال مثارة/ شهر).



المصدر: اعداد الباحث اعتماداً على ملحق (٢)، باستخدام برنامج Microsoft Excel.

شكل (٦) التوزيع الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة ولسرعة الرياح بالخارجة  
خلال المدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)

أما فيما يخص المتوسط الشهري لعدد العواصف الرملية/ الغبارية التي يتعرض لها المنخفض (شكل ٧) فيمكن تقسيم شهور السنة إلى أربعة أقسام كالآتي:

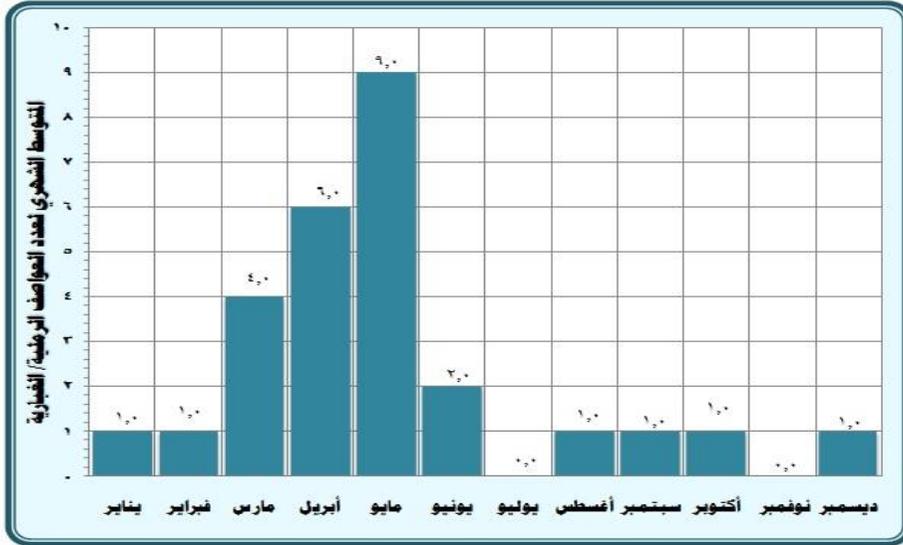
١- شهور معدل تعرضها للعواصف الرملية أو الغبارية عالي: وتضم شهري مايو وأبريل على الترتيب بمتوسط عواصف قدره ٩، ٦، عاصفة شهرياً.

٢- شهور معدل تعرضها للعواصف الرملية أو الغبارية متوسط: وتضم شهري مارس ويونيو على الترتيب بمتوسط عواصف قدره ٤، ٢ عاصفة شهرياً.

٣- شهور معدل تعرضها للعواصف الرملية أو الغبارية منخفض: وتضم شهور يناير وفبراير وأغسطس وسبتمبر وأكتوبر وديسمبر بمتوسط قدره عاصفة واحدة شهرياً.

٤- شهور لا تتعرض للعواصف الرملية أو الغبارية: وتضم شهور يوليو ونوفمبر. حيث يتضح أن فصل الربيع يتضمن أكبر عدد من العواصف الترابية، حيث يصل عددها إلى ١٩ عاصفة، بنسبة تصل إلى أكثر من ٧٠٪ من جملة العواصف، وأن أكثر الشهور على الإطلاق هو شهر مايو، حيث تحدث به تسع عواصف بنسبة تبلغ نحو ٣٣٪ تقريباً من جملة عدد العواصف. ويرجع ذلك إلى ارتباط عواصف هذا الفصل بالمنخفضات الخماسينية الموسمية المثيرة للأتربة والرمال. وكذلك الحال بالنسبة لفصل الصيف، والذي يتضمن ثلاث عواصف بنسبة تبلغ نحو ١١٪، وترتبط عواصف هذين الفصلين بالرياح الجنوبية الشرقية والرياح الغربية. بينما ترتبط عواصف فصل الشتاء بالرياح القادمة من الشمال. أما فصل الخريف فهو أقل الفصول من حيث عدد العواصف، حيث تبلغ نحو عاصفتين، بنسبة تبلغ نحو ٧٪ من جملة عدد العواصف الترابية التي تحدث بالمنخفض.

بصفة عامة تتميز عواصف فصل الربيع بقوتها وإثارتها للرمال والأترية بصورة أكبر من عواصف الفصول الأخرى من السنة، ويرجع ذلك إلى التغيرات المفاجئة التي تحدث بصفة خاصة في درجة الحرارة خلال أشهر الربيع وأوائل الصيف.



المصدر: اعداد الباحث اعتماداً على ملحق (٢)، باستخدام برنامج Microsoft Excel.

شكل (٧) المتوسط الشهري لعدد العواصف الرملية والغبارية بالخارجة خلال المدة

(١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)

#### رابعاً: التوزيع الجغرافي للكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجة:

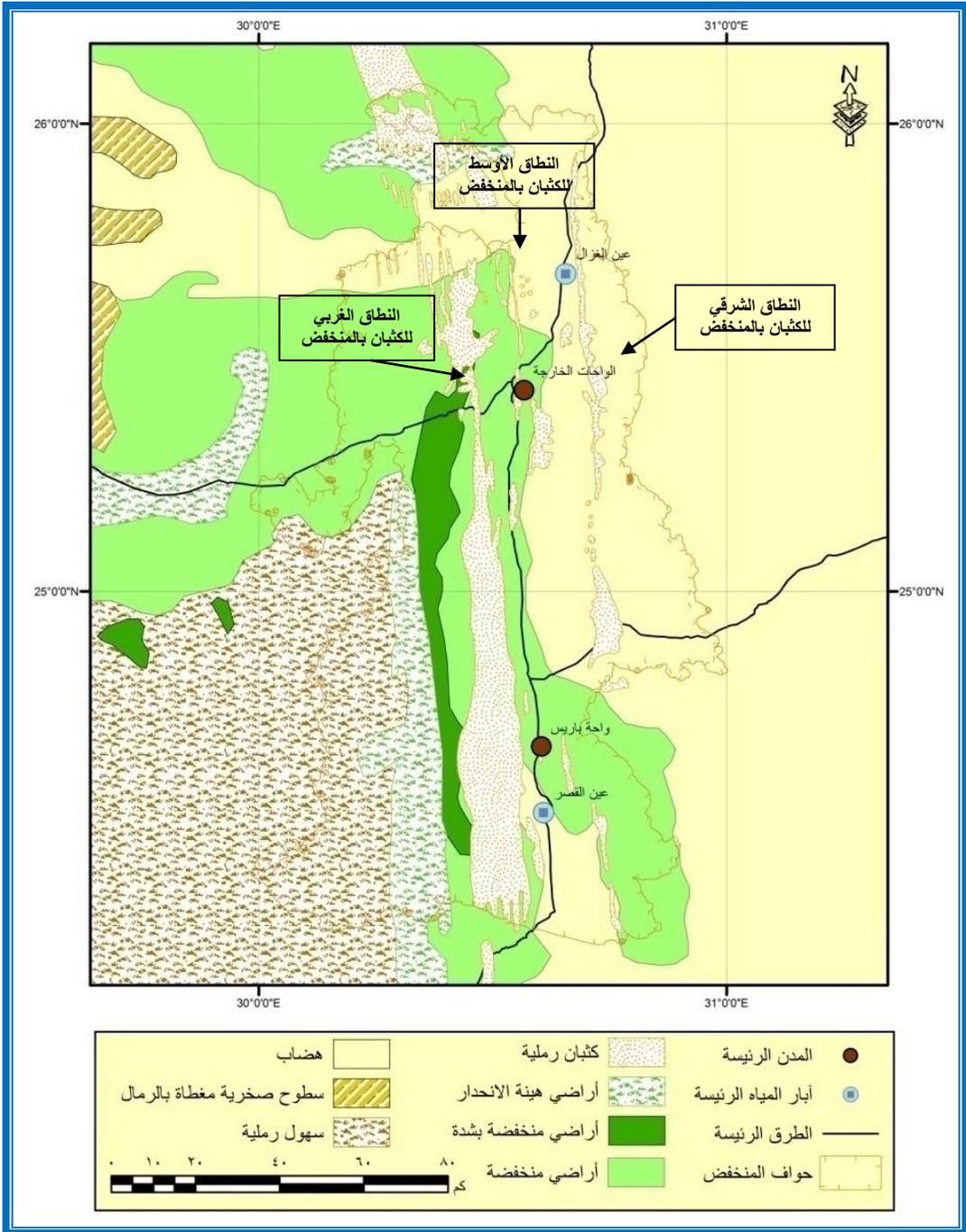
يتضح عظم تأثير منخفض الخارجة بمشكلة زحف الكثبان الرملية إذا ما عرفنا أن مساحة الرواسب الرملية في منخفض الخارجة تبلغ ما يقرب من ١.٥ ألف كيلومتر مربع حيث تعد الكثبان الرملية الهلالية من أهم الأشكال الرملية التي تنتشر في قاعه وعلى جوانبه، والتي تمثل بدورها إحدى الظواهر الجيومورفولوجية بمنطقة الدراسة، كما تمثل حركتها إحدى المشكلات الجغرافية الطبيعية التي تواجه مظاهر العمران بالمنخفض. حيث تتوزع الكثبان الرملية داخل المنخفض في ثلاثة نطاقات

الأول: بجوار الجروف الشرقية للمنخفض، والثاني: في وسط المنخفض، والثالثة: وهو أكبرها على الإطلاق ويوجد في غربه (شكل ٨)، أما عن العوامل المتسببة في تكوين تلك الكثبان فتتمثل في:

- **جيولوجية المنطقة:** المتمثلة في وجود مصدر دائم للرمال حيث تمثل هذه النطاقات الامتداد الطبيعي لغرد أبو محرك والذي يعتبر المورد الأساسي لرمال الكثبان بالواحات الخارجة (نبيل سيد إمبابي، ١٩٧٩، ص ٥٥) وهو يمتد بطول ٣٥٠ كم من منخفض البحرية حتى الخارجة، إضافة لبحر الرمال العظيم الذي يمتد لمسافة ٥٠٠ كم ٢ من منخفض سيوة شمالاً إلى مشارف هضبة الجلف الكبير، وتأتي مصادر تلك الرمال من صخور منطقة المغارة وصخور الحجر الرملي النوبي.

- **طبوغرافية سطح الأرض بالمنخفض:** حيث تتحرك الكثبان الرملية باتجاه عام مع اتجاه الرياح من الشمال إلى الجنوب بشكل عام هابطة من الحافة الشمالية للمنخفض نحو جنوبه وتتجمع على هيئة ثلاث نطاقات طولية من حواف المنخفض الشرقية نحو الشرق إلى وسطه نحو الداخل ثم غربه.

- **الرياح السائدة:** وهي العامل المسؤول عن تكوين الكثبان، وتحديد أشكالها، وأحجامها، ومعدلات واتجاهات حركتها، وقد سبقت الإشارة إلى أن اتجاه الرياح السائدة بالمنخفض هو الرياح الشمالية بوجه عام.



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على نتائج تحليل المرئيات الفضائية وباستخدام برنامج ArcGIS.

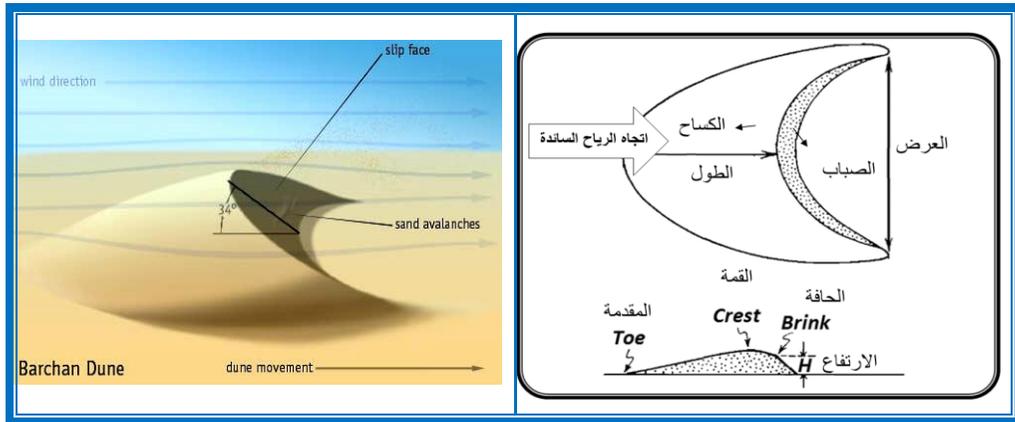
شكل (٨) التوزيع الجغرافي للكتبان الرملية بمنخفض الخارجة

### خامساً: التحليل المورفومتري للكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجية:

تتميز الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة بشكلها الهلالي وانحدارها البسيط المواجه لاتجاه الرياح، الذي يُعرف باسم الكساح، بينما يتسم الانحدار المواجه للرياح بشدته، ويُطلق عليه اسم الصباب، وله ذراعان جانبيان أقل ارتفاعاً من الكثيب، ويشيران إلى اتجاه منصرف الرياح السائدة. (شكل ٩)

حيث أثبتت الدراسات الجيومورفولوجية أن أبعاد الكثبان الرملية (الحجم والارتفاع وطول الكساح وانحداره) يمكن أن تؤدي دوراً في تحديد حركتها، حيث توصلت إلى وجود علاقة عكسية قوية بين هذه الأبعاد ومعدل الحركة (نبيل سيد إمبابي ومحمود محمد عاشور، ١٩٨٥، ص ١٥٦).

وترجع قوة هذه العلاقة بين ارتفاع الكثيب ومسافة تحركه إلى أن الزيادة في ارتفاع الكثيب يتبعها زيادة في أبعاده الأخرى خاصة عرض الكثيب وطول الكساح (Embabi, N.S., 1976-1977, p. 22).



المصدر: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Barchan.jpg>. It is licensed under the Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 License.

شكل (٩) الأبعاد المورفومترية للكثبان الرملية الهلالية

ولتحليل الخصائص المورفومترية للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة وللتعبير عن مختلف تلك الكثبان تم اختيار تسعة كثبان متوزعة على كافة أرجاء المنخفض من شماله لجنوبه وبين الجانبين الشرقي والغربي لمحاور العمران بالمنخفض (شكل ١٠)، تم قياس أبعاد ومعدلات تحرك تلك الكثبان ميدانياً باستخدام طرق القياس والأدوات الجيومورفولوجية المختلفة مثل الكليينوجراف Clinograph لقياس الانحدار وجهاز محطة الرصد المتكاملة Total station وجهاز تحديد المواقع العالمية GPS لقياس الأبعاد (ملحق ٣) وقد تبين من خلال نتائج القياسات الميدانية والتي يوضحها الجدول (١) أن الكثبان الرملية بالمنخفض الخارجة تتسم بالأبعاد الآتية:

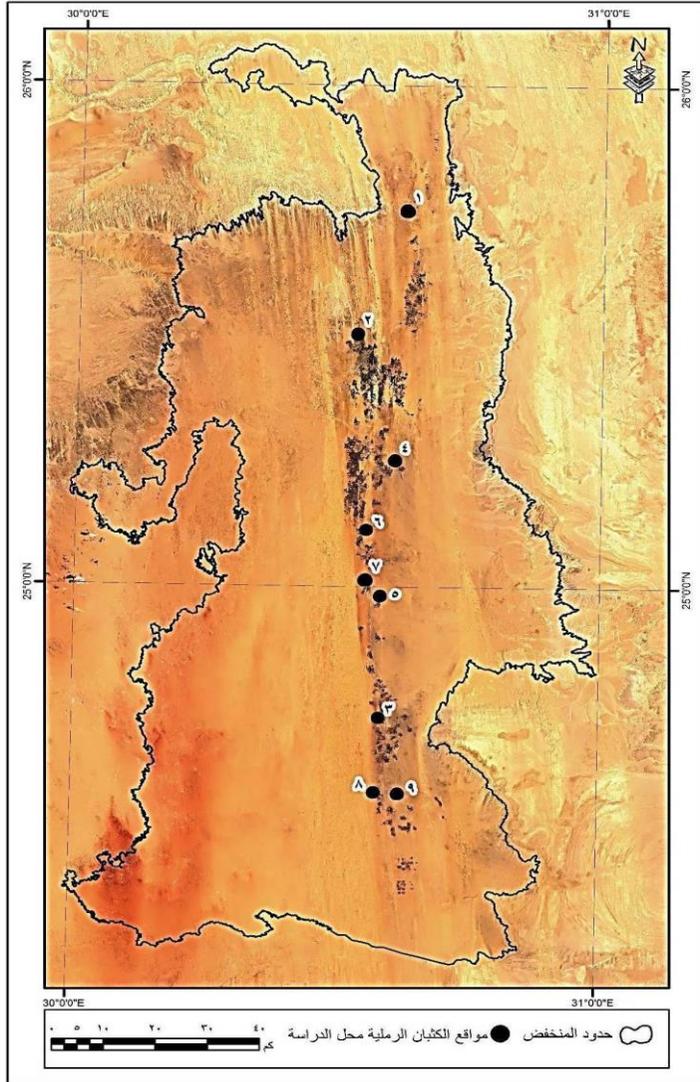
- يبلغ متوسط ارتفاع الكتيب ١٤.٢ م بمدى ارتفاع يتراوح ما بين ٦ - ٣١ م.
- يبلغ متوسط طول الكتيب (طول سطح الكساح) ٢٤٥.٢ م بمدى يتراوح ما بين ٨٣.٣ - ٤٧٣.٥٩ م.

جدول (١) الخصائص المورفومترية للكثبان الرملية محل الدراسة ومعدلات تحركها

رقم الكتيب	(١) مسافة التحرك (م/سنة)	(٢) ارتفاع الكتيب (م)	(٣) طول الكساح (م)	(٤) العرض "المسافة بين القرنين" (م)	(٥) معامل الشكل لمكي (الطول/العرض)	(٦) معامل الحجم $100 \div 4 \times 3 \times 2$	(٧) متوسط انحدار الكساح (°)
١	٦.٨٥	٣١.٠	٤٧٣.٦	٤٠٧.٩	١.١٦	٥٩٨٨٥.٠	٦.٠٠
٢	١٥.٦١	١٨.٠	١٧٢.٢	١٦٦.٧	١.٠٣	٥١٦٥.٥	٢.٦٠
٣	١٧.٩٢	٦.٤	٨٣.٣	١٠٢.٧	٠.٨١	٥٤٧.٧	٣.٦١
٤	٨.٧٩	١١.٠	٢٨٠.٢	٢١٤.٦	١.٣١	٦٦١٥.٦	٤.٥٥
٥	٩.٦٦	١٩.٠	٢٤٦.٠	١٥٣.٥	١.٦٠	٧١٧٤.٦	٥.٨٣
٦	١١.٧٣	٦.٠	١١٧.٢	١١١.٨	١.٠٥	٧٨٦.٢	٣.٧٥
٧	١٤.١٨	٢٢.٤	٣٨٨.٢	١٤٧.٥	٢.٦٣	١٢٨٢٥.٥	٦.٧٣
٨	٧.٨٤	٧.٠	٢٠٢.٠	١٤٤.٠	١.٤٠	٢٠٣٦.٢	١١.٣٠
٩	١٠.٩٢	٧.٠	٢٤٣.٩	١٨٧.٠	١.٣٠	٣١٩٣.٢	٥.٨٠
المتوسط	١١.٥	١٤.٢	٢٤٥.٢	١٨١.٨	١.٣٥	١٠٩١٤.٤	٥.٥٧

المصدر: إعداد الباحث من خلال نتائج العمل الميداني بالمنخفض، ٢٠٢٣ م.

- يبلغ متوسط عرض الكثيب (المسافة بين قرني الكثيب) ١٨١.٨م بمدى يتراوح ما بين ١٠٢.٧ - ٤٠٧.٩م.
- يبلغ متوسط معامل حجم الكثيب ١٠٩١٤.٤م<sup>٣</sup> بمدى يتراوح ما بين ٥٤٧.٧ - ٣٠٩٨٨٥.٠م<sup>٣</sup>.



المصر: إعداد الباحث، باستخدام برنامج ARCGIS، وبيانات العمل الميداني بالمنخفض. شكل (١٠) مواقع الكثبان الدراسية موضع الدراسة بالوحدات الخارجة

ووفقاً لتصنيف مكي لأشكال الكثبان الهلالية (Mckee, 1979) (جدول ٢) والذي يعتمد على معامل (طول الكثيب/ عرض الكثيب) فإن الغالبية العظمى من الكثبان الرملية التسعة محل الدراسة تصنف إلى الكثبان الضخمة جداً، إضافة إلى عدد قليل جداً منها يصنف ضمن فئة الكثبان الضخمة.

جدول (٢) تصنيف الكثبان الرملية محل الراسة وفقاً لمعامل الشكل لمكي

م	الفئة	نسبة الطول/ العرض	عدد الكثبان	%
١	كثبان صغيرة	٠.٢٥ -	٠	٠%
٢	كثبان عادية	٠.٥ -	٠	٠%
٣	كثبان ضخمة	٠.٧٥ -	١	١١.١١%
٤	كثبان ضخمة جداً	١ فأكثر	٨	٨٨.٨٩%

المصدر: إعداد الباحث.

ويتضح من خلال مقارنة أبعاد الكثبان الرملية بالوحدات الخارجة تلك بمناطق متفرقة (جدول ٣) الزيادة الكبيرة في طول وعرض وارتفاع تلك الكثبان الرملية وبالتالي حجمها ما يدل على عظم تغذية تلك الكثبان بالرمال نتيجة سيادة اتجاه واحد من الرياح ذات السرعات العالية إضافة لتوفر مخزون كبير من تلك الرمال بالصحراء الغربية، ما يوفر تغذية مستمر لهذه الكثبان مما يساعد على زيادة أحجامها وانتقالها بشكل مستمر، وتؤدي هذه الكمية الكبيرة من الرمال المعرضة للانسياب سنوياً إلى حدوث أخطار تؤثر على التنمية المستدامة للمنخفض وعلى كافة الأنشطة البشرية له وخاصة الاستخدام الزراعي.

جدول (٣) متوسط ومعدل أبعاد الكثبان الرملية بالوحدات الخارجة ومقارنتها بمناطق متفرقة

المصدر	الارتفاع (م)		العرض (م)		الطول (م)		عدد الكثبان	الموقع
	مدى القيم	المتوسط	مدى القيم	المتوسط	مدى القيم	المتوسط		
الدراسة الحالية	٣١-٦	١٤.٢	٤٠٧.٩-١٠٢.٧	١٨١.٨	٤٧٣.٦-٨٣.٣	٢٤٥.٢	٩	الوحدات الخارجة
M.A. Hamdan et al, 2016, p.63	١٧.٤-١.٣	٧.٨	١١٠-٧.٥	٤٥.٤	١٤٥-١٨	٥٤.٤	٤٤	الوحدات الخارجة
M.A. Hamdan et al, 2016, p.63	٤٥.٨-٢.٦	١٦.٦١	٤٧٦-٣١.٢	١٧٥.١٠	٦٠٨.٢-٣١.٢	١٨٣.٢٤	١١١	توشكى
Khalaf and Al-Ajmi, 1993	٧-١.٨	٣.٣١	٦٥-١٥.٧	٣٩.٩٢	٩١-١٨.٢	٤٦.٦٩	١٠	الكويت
Sauermann et al., 2000	٨.٥-٢.٣	٤.٦٦	٩٦.٣-٢٨.٥	٥٧.٤٨	٧٩-١٧.٨	٣٧.٧٥	٨	جنوب المغرب
Long and Sharp, 1964	١٢.٢-٢.٧	٥.٨٩	٢٥٤.٥-٤١.٢	١٠٨.٣٢	١١١.٣-٣٣.٥	٦٧.٦٢	٢٧	كاليفورنيا، الولايات المتحدة
Finkel, 1959	٥.٨-١.٤	٣.٤٠	٦٦-١١.٤	٣٦.٨٧	٤٠-٩	٢٢.٥٥	٤٤	جنوب بيرو

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية وتحليلات برامج نظم المعلومات الجغرافية ونتائج الدراسات السابقة الموضحة بالجدول.

**سادساً: التقييم الجغرافي لمخاطر زحف الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة:**

يتضمن التقييم الجغرافي لمخاطر زحف الكثبان الرملية التعرف على بعض

المصطلحات المهمة ذات العلاقة بهذا الموضوع ويمكن إجمالها فيما يأتي:

١- الانجراف: (Drift) هو عملية تحريك الرمال بواسطة الرياح، ويتم قياسه بوحدة المتر المكعب لكل متر مربع في السنة.

٢- احتمال الانجراف: (Drift potential) هو متوسط الانجراف المتوقع على مدى مدة طويلة من الزمن.

٣- فئة الاتجاه: (Directional category) هي مجموعة من الاتجاهات التي تشكل زاوية معينة مع بعضها البعض.

٤- قوس البوصلة: (Compass arc) هو جزء من دائرة البوصلة، ويتم قياسه بالدرجات.

٥- ذروة الانحراف: (Mode of drift) هو الاتجاه الذي يكون فيه الانحراف عند أعلى قيمة له.

٦- وردة الرمال: (Sand rose) هي رسم بياني يوضح توزيع اتجاهات الرياح، ويتم استخدامه لتحديد اتجاه ذروة الانحراف. Fryberger, S.G., 1979, P.149  
وقد تم التقييم الجغرافي لمخاطر زحف الكثبان الرملية بالمنخفض من خلال دراسة العناصر الآتية:

#### ١- تحديد المعدل السنوي لكمية الرمال التي يمكن أن تتحرك عبر المنخفض:

تعمل الرياح بالمنخفض على تحريك كميات كبيرة من الرمال المتوفرة بكثرة بالمنخفض وخاصة تلك الموجودة بالكثبان الرملية وتعرضها لأخطار الانسياب الرملي، ولتقدير هذا الدور وتحديد المعدل السنوي لكمية الرمال التي يمكن أن تتحرك عبر المنخفض أو تلك المتحركة خلال كل شهر من شهور السنة تم استخدام طريقة فرايبيرجر (Fryberger, S.G., 1979, p. 146) التي طبق خلالها معادلة Lettau الآتية:

$$DP = V^2 (V - V_t) t$$

حيث أن:  $DP$  = المعدل السنوي لكمية الرمال المعرضة للحركة (للانسياب الرملي) بالوحدة المتجهة (VU) (الوحدة المتجهة =  $٠.٠٧ \text{ م}^3/\text{م}$ ).

$V =$  متوسط سرعة الرياح بالعقدة على ارتفاع ١٠م (وهو في منطقة الخارجة = ٤.١م/ث أي ٧.٩٧ عقدة).

$V_t =$  السرعة الحدية للرياح بالعقدة (وهي سرعة الرياح التي يبدأ عندها تحرك الحجم السائد للرمال التي تكون الكثبان الرملية بالمنطقة خلال الأحوال الجافة (وهي في منطقة الخارجة تساوي ٦.٢ عقدة أو ٣١٩.٥ سم/ث)

$t =$  النسبة المئوية لمدة هبوب الرياح التي تكون خلالها سرعة الرياح أعلى من السرعة الحدية للرياح خلال السنة.

**ولحساب السرعة الحدية للرياح والتي يبدأ عندها تحرك الحجم السائد للرمال**

المكونة للكثبان الرملية فقد تم تطبيق المعادلة التي صاغها باجنولد لهذا الغرض (Bagnold, R.A., 1941, p. 105) وهي:

$$V_t = 680 \sqrt{d \log \frac{30}{d}}$$

حيث أن:  $V_t =$  سرعة الرياح الحدية بمنطقة الدراسة (سم/ثانية).

$d =$  قطر حبيبات الرمال السائد بالمنطقة (٠.٠٨٧ سم).

- مع ملاحظة أن الأرقام الداخلة بالمعادلة تكون بوحدات (سم-ثانية)

ومنها اتضح أن السرعة الحدية للرياح بمنطقة الدراسة (سرعة الرياح اللازمة

لتحريك هذا الحجم من الرمال) = ٣١٩.٥ سم/ث أي = ٦.٢ عقدة.

حيث اتضح من نتائج التحليل الميكانيكي لرمال الكثبان الرملية أثناء الدراسة

الميدانية بمنخفض الخارجة (جدول ٤) أن الحجم السائد لها يبلغ متوسطه

٠.٠٨٧ ملم = ٠.٠٨٧ سم).

جدول (٤) نتائج التحليل الميكانيكي لرمال الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ٢٠٢٣م

الفئة	قطر الحبيبات (ملم)	الفئات الفرعية	قطر الحبيبات	النسبة % (ك)	مركز الفئة (م)	كغم
الغرين (الطمي/ السلت)	٠.٠٠٤ - ٠.٠٦٢٥	-	-	٠	٠,٠٦	٠,٠٠
الرمل	٠.٠٦٢٥ - ٢	رمل ناعم جداً	٠.١٢٥ - ٠.٠٦٢٥	٥	٠,٠٩	٠,٤٧
		رمل ناعم	٠.٢٥ - ٠.١٢٥	٨	٠,١٩	١,٥٠
		رمل متوسط	٠.٥ - ٠.٢٥	٢٢	٠,٣٨	٨,٢٥
		رمل خشن	١ - ٠.٥	٢٧	٠,٧٥	٢٠,٢٥
		رمل خشن جداً	٢ - ١	٣٨	١,٥٠	٥٧,٠٠
الحصى	٦٤ - ٢	-	-	٠	٣٣,٠٠	٠,٠٠
الإجمالي						
				١٠٠	-	٨٧,٤٧

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على: USDA sand classification system.

ولحساب متوسط حجم حبيبات الرمال السائدة بمنطقة الدراسة من خلال الجدول السابق تم استخدام طريقة المتوسط الحسابي الموزون وذلك بحساب الأقطار الوسطية لكل فئة فرعية (م) ونضربها في النسبة المئوية المقابلة (ك). ثم نقسم مجموع هذه القيم على مجموع (ك) وهو يساوي ١٠٠ للحصول على المتوسط، ومنه تم الوصول لمتوسط حجم الرمال وهو يساوي ٠.٨٧ ملم.

وبالرجوع للمعدل السنوي لنسبة تكرار هبوب الرياح السطحية بالواحات الخارجة من الاتجاهات والسرعات المختلفة خلال المدة ١٩٩٠ - ٢٠٢٠م (جدول ٥) فقد تم الاعتماد على فئات سرعة الرياح القادرة على نقل حبيبات رمال الكثبان الرملية بالمنخفض (الأعلى من السرعة الحدية للرياح بالمنخفض وهي تساوي ٦.٢ م/ث) وهي الفئات (٧-١١) و(١١-١٦) و(١٧-٢١) و(٢٢-٢٧) في تطبيق طريقة

Fryberger, 1979 لحساب كمية الرمال المتحركة من كل الاتجاهات ورسم وردة الرمال والموضحة بالمعادلة السابق ذكرها. (جدول ٥)

وقد صنف فرايبيرجر (Fryberger, S.G., 1979, p. 150) طاقة الرياح

وفقاً لنتائج معادلة تقدير الكمية النسبية للرمل المنساقفة من الاتجاهات المختلفة إلى:

- أقل من ٢٠٠ وحدة متجهة (VU) وتصنف كرياح ذات طاقة منخفضة.

- من ٢٠٠ - أقل من ٤٠٠ وحدة متجهة (VU) وتصنف كرياح ذات طاقة متوسطة.

- أكثر من ٤٠٠ وحدة متجهة (VU) وتصنف كرياح ذات طاقة عالية.

وبالتطبيق على منخفض الخارجة (جدول ٦) تبين أن الرياح تتبع النوع

الأحادي العريض Winde unimodal حيث أن ٩٧٪ من الرمال المتوقع تحركها

بالمخفض تأتي من الاتجاهات الشمالية المحصورة بين ٤٤° شرقاً و ٣١٤° غرباً،

كما أن الاتجاه المحصور بين ٣١٥-٣٤٤° يمثل القمة بين الاتجاهات السائدة،

ويرجع ذلك إلى أن ٨٢٪ من كمية الرمال المتوقع تحركها على منخفض الخارجة

تأتي من هذا الاتجاه.

أما من حيث طاقة الرياح فإنها تعد رياح ذات طاقة عالية وتعمل على نقل

كميات كبيرة من الرمال تقدر بحوالي ٥٦٥٩.٨ وحدة متجهة (VU) / العام أي

حوالي ٣٩٦.٢ م<sup>٣</sup> من الرمال لكل ١م عرض من الأرض خلال العام وهذا كميات

كبيرة جداً تكفي لنقل أجزاء كبيرة من الكثبان الرملية وتحريكها بسرعة كبيرة ما يشكل

تهديداً كبيراً على الأراضي الزراعية والمناطق العمرانية والأثرية والطرق بالمنخفض.

جدول (٥) المعدل السنوي لنسبة تكرار هبوب الرياح السطحية بالوحدات الخارجة من الاتجاهات والسرعات المختلفة خلال المدة ١٩٩٠ - ٢٠٢٠م

السرعة (م/ث) الاتجاه (درجة)	٣-١	٦-٤	١٠-٧	١٦-١١	٢١-١٧	٢٧-٢٢	٣٣-٢٨	٤٠-٣٤	٤٧-٤١	٥٥-٤٨	٦٣-٥٦	٦٣<	كل السرعات
													٣١,٩٨
٥١٤-٣٤٥	٣,٨	٤,٤٥	٩,٨	١٠,٩٩	٢,٥٣	٠,٣٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣١,٩٨
٥٤٤-١٥	٢,٩	٣,٠٢	٣,٣	٢,٢	٠,٢٢	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١١,٧٢
٥٧٤-٤٥	١,٨	٠,٩٩	٠,٣٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣,١٩
٥١٠-٤٧٥	١,٤	٠,٣٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١,٧٦
٥١٣-١٠٥	١,٤	٠,٣٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١,٧٦
٥١٦-١٣٥	٠,٨	٠,٤٤	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١,٤٣
٥١٩-١٦٥	٠,٦	٠,٤٤	٠,٢٢	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١,٤٣
٥٢٢-١٩٥	٠,٦	٠,٢٢	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠,٩٩
٥٢٥-٢٢٥	١,٥	٠,٣٣	٠,١١	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٢,٠٩
٥٢٨-٢٥٥	١,٩	٠,٦٦	٠,٣٣	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣,٠٨
٥٣١-٢٨٥	٢,٧	١,٧٦	١,٤٣	٠,٦٦	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٦,٦٢
٥٣٤-٣١٥	٧,١	٧,٩٥	٨,٧٦	٩,١٣	٠,٨٨	٠,١١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣٣,٩٥
كل الاتجاهات	٢٧,١	٢٠,٩	٢٤,٥	٢٣,٣١	٣,٦٣	٠,٤٤	٠	٠	٠	٠	٠	٠	١٠٠

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية.

جدول (٦) المعدل السنوي لحجم الرمال المتوقع تحركها (DP) بالوحدات الخارجة من الاتجاهات والسرعات المختلفة خلال المدة ١٩٩٠ - ٢٠٢٠م

السرعة (م/ث) الاتجاه (درجة)	حجم الرمال المتوقع تحركها بالوحدة المتجهة (VU)					حجم الرمال المتوقع تحركها بالمتري المكعب من الرمال المتحركة عبر ١م عرض من الأرض				
	١٠-٧	١٦-١١	٢١-١٧	٢٧-٢٢	٣٧-٢٧	الاجمالي	١٠-٧	١٦-١١	٢١-١٧	٢٧-٢٢
٥١٤-٣٤٥	١١٠,١٨	١٢٣٥,٦	٢٨٤,٥	٣٧,١	٢٦٥٩,٠	١٨٦,١	١٢٣٥,٦	٢٨٤,٥	٣٧,١	٢٦٥٩,٠
٤٤-١٥	٣٧١,٠	٢٤٧,٤	٢٤,٧	٠,٠	٦٤٣,١	٤٥٠,٠	٢٤٧,٤	٢٤,٧	٠,٠	٦٤٣,١
٧٤-٤٥	٣٧,١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٣٧,١	٢,٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٢,٦
١٠٤-٧٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
١٣٤-١٠٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
١٦٤-١٣٥	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٢,٤	٠,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٩
١٩٤-١٦٥	٢٤,٧	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٣٧,١	١,٧	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٢,٦
٢٢٤-١٩٥	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٢,٤	٠,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٩
٢٥٤-٢٢٥	١٢,٤	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٢٤,٧	١,٧	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٢,٦
٢٨٤-٢٥٥	٣٧,١	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٤٩,٥	٣,٥	١٢,٤	٠,٠	٠,٠	٤,٥
٣١٤-٢٨٥	١٦٠,٨	٧٤,٢	٠,٠	٠,٠	٢٣٥,٠	١٦,٤	٧٤,٢	٠,٠	٠,٠	٢٣٥,٠
٣٤٤-٣١٥	٩٨٤,٩	١٠٢٦,٥	٩٨,٩	١٢,٤	٢١٢٢,٧	١٤٨,٦	٩٨٤,٩	٩٨,٩	١٢,٤	٢١٢٢,٧
المجموع	٢٧٥٤,٦	٢٦٢٠,٨	٤٠٨,١	٤٩,٥	٥٨٣٣,٠	١١٤٠٥,١	٢٦٢٠,٨	٤٠٨,١	٤٩,٥	٥٨٣٣,٠

المصدر: إعداد الباحث، والألوان حسب فئات تصنيف طاقة الرياح لفرانكفورت: الأحمر لبيئات الرياح عالية الطاقة (أكثر من ٤٠٠ وحدة متجهة)، والبرتقالي لبيئات الرياح متوسطة الطاقة (٢٠٠ - ٤٠٠ وحدة متجهة) والأخضر لبيئات الرياح منخفضة الطاقة (أقل من ٢٠٠ وحدة متجهة).

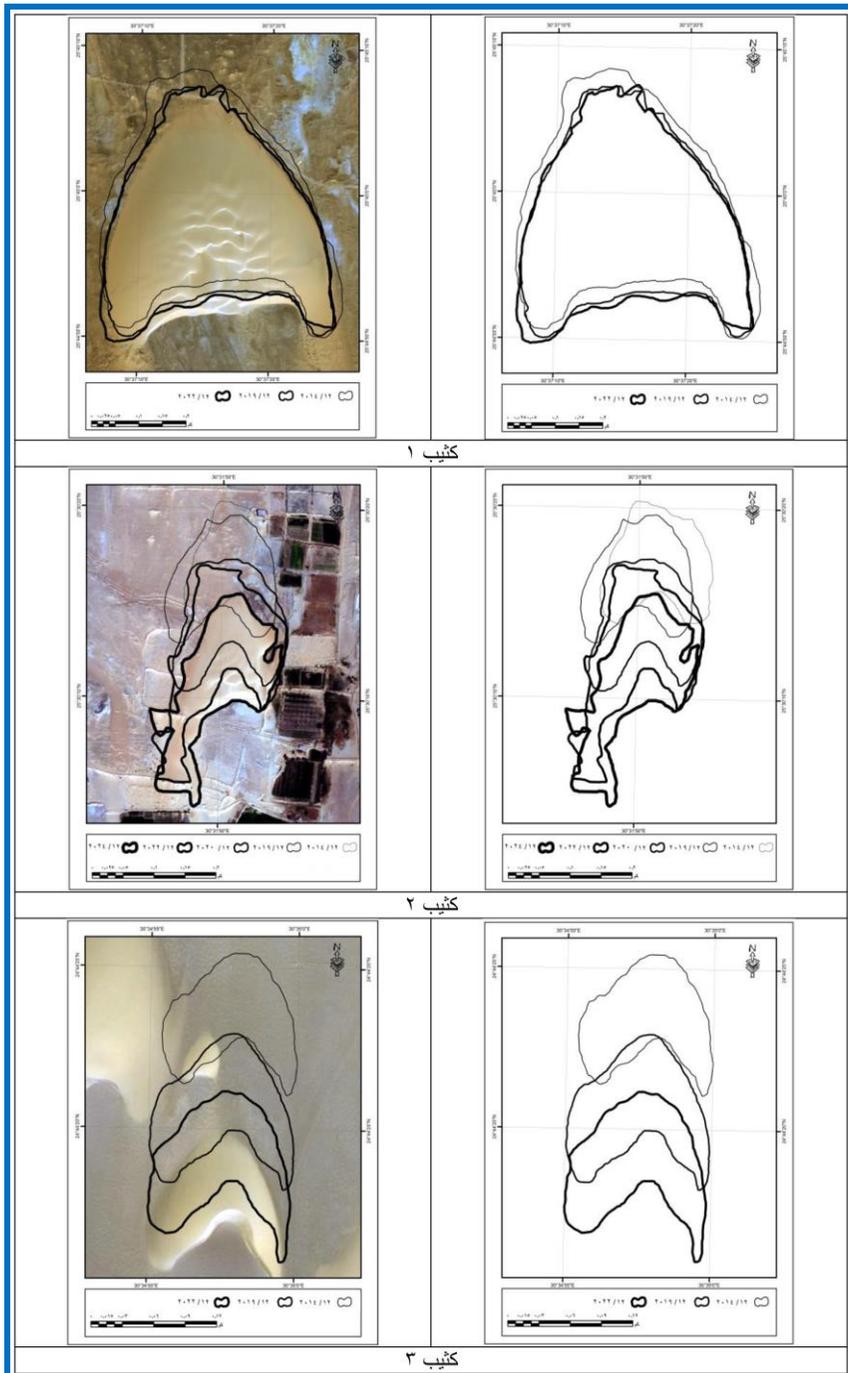
## ٢- تقدير حجم حركة الكثبان الرملية بالمنخفض:

لتقدير معدلات حركة الكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجة تم استخدام خاصية المرئيات التاريخية Historical Imagery ببرنامج Google Earth Pro، حيث تم رسم الكثبان الرملية التسعة لدراسة تطورها خلال المدة ٢٠١٤ - ٢٠٢٤م وتحديد متوسط حركة كل كتيب من خلال قياس مقدار هجرة الأجزاء الثلاثة للكتيب وهي (مقدمة الكتيب - مؤخرة الكتيب - منتصف الكتيب "الصباب") ثم حساب متوسطها ليمثل متوسط هجرة الكتيب، وبتحليل ما تم التوصل له من نتائج والموضحة بجدول (٧) والأشكال (١١- أ، ب، ج) تبين أن الكثبان الرملية محل الدراسة تهاجر بمتوسط ١١.٦٧م/ سنة وبمدى يتراوح ما بين ٧ - ١٨ م/سنة لأبطأ وأسرع الكثبان على التوالي، وبمقارنة تلك المعدلات مع الدراسات السابقة التي قامت بدراسة حركة الكثبان الرملية بالمنخفض (ملحق ٤) فقد وجد هناك توافق بينها.

جدول (٧) معدلات حركة الكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجة

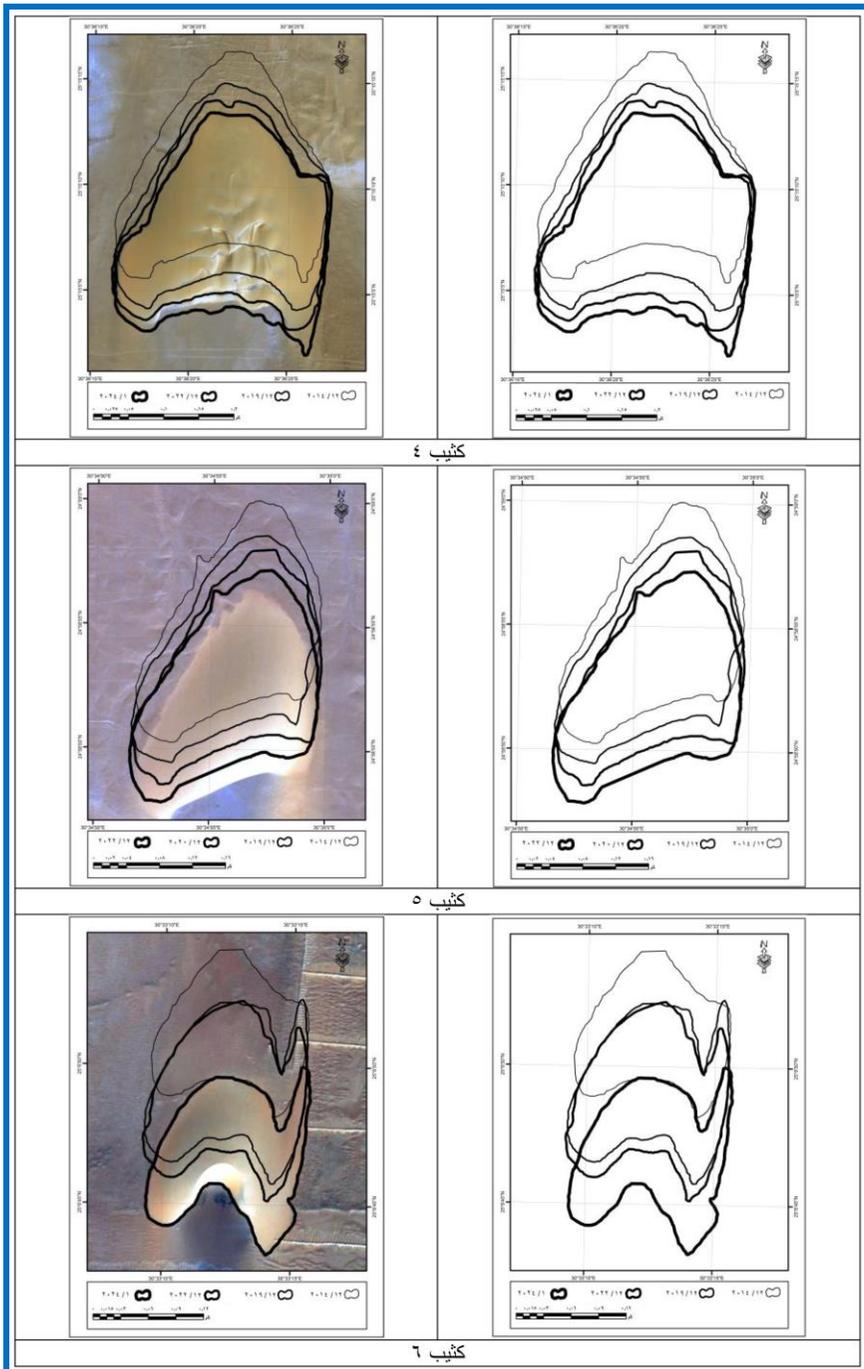
رقم الكتيب	المنطقة	التاريخ	اتجاه الحركة (درجة)	متوسط سرعة تحرك الكتيب (م/ سنة)	مقدار هجرة الكتيب (م/١٠ سنوات)*
١	عزبة طليب	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٣٥٠	٧	٧٠
٢	الظهير الزراعي لمدينة الخارجة	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٥	١٦	١٦٠
٣	الظهير الزراعي لمدينة باريس	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥١٠	١٨	١٨٠
٤	قرية جناح	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥١٠	٩	٩٠
٥	قرية صنعاء	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥١٥	١٠	١٠٠
٦	قرية صنعاء	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٥	١٢	١٢٠
٧	قرية صنعاء	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٢	١٤	١٤٠
٨	عزبة المكس	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٣٥٩	٨	٨٠
٩	عزبة المكس	٢٠١٤/١٢ - ٢٠٢٤/١	٥٣٥٧	١١	١١٠
المتوسط				١١,٦٧	١١٦,٦٧

المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج Google earth Pro.



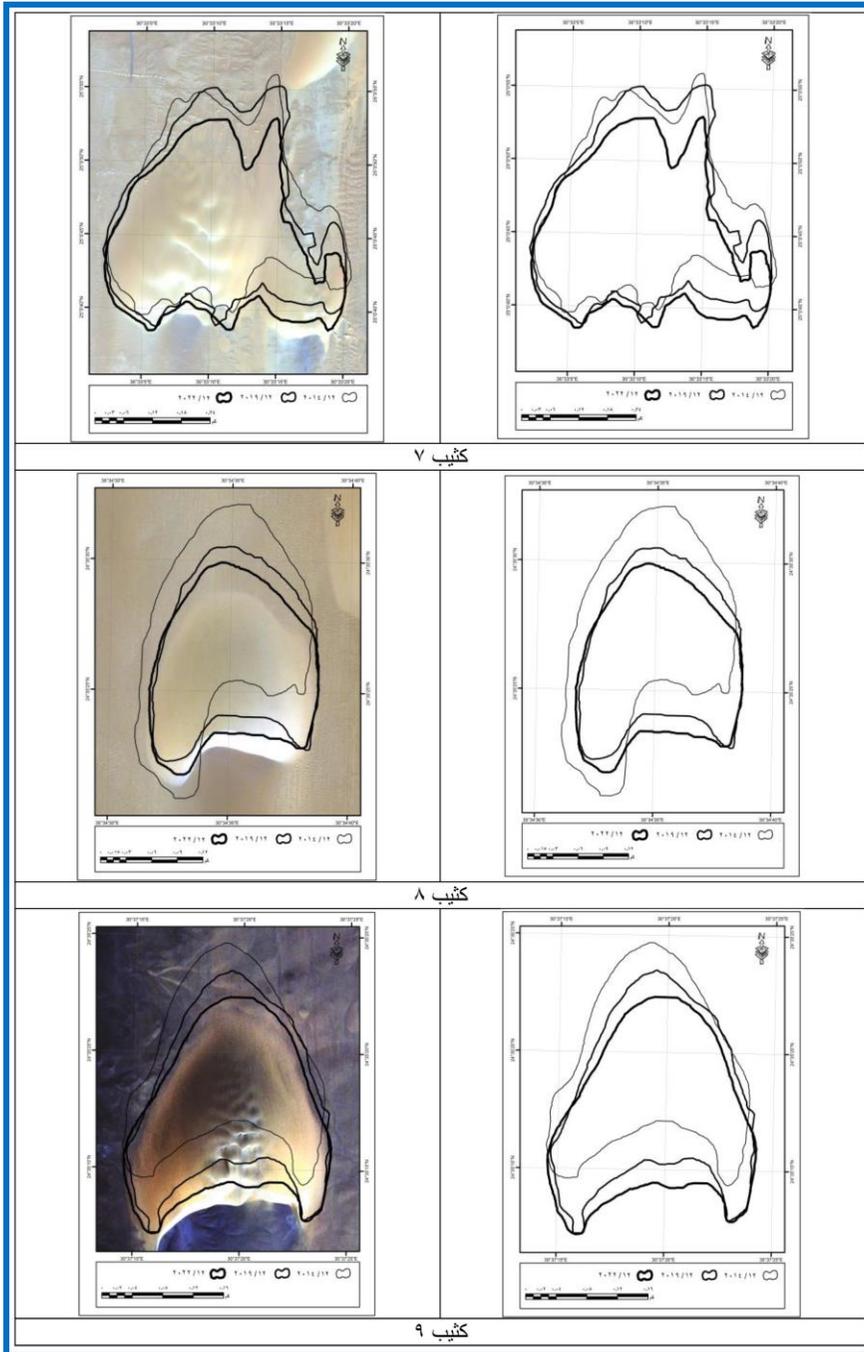
المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامجي Google earth و ARCGIS.

شكل (١١-أ) قياس تحرك وسرعة الكثبان الرملية موضع الدراسة بالوحدات الخارجة



المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامجي Google earth و ARCGIS.

شكل (١١-ب) قياس تحرك وسرعة الكثبان الرملية موضع الدراسة بالوحدات الخارجة



المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامجي Google earth و ARCGIS.

شكل (١١-ج) قياس تحرك وسرعة الكثبان الرملية موضع الدراسة بالوحدات الخارجة

### ٣- التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية:

يتضح من دراسة وتحليل التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الرمال على الأراضي الزراعية والمناطق العمرانية بالوحدات الخارجة والموضحة بالأشكال (١٢- أ، ب، ج، و١٣) وصورة (١) أن تلك المناطق تنقسم من حيث تأثرها بالزحف العمراني إلى ثلاث فئات أولها: المناطق المهددة فعلياً بخاطر زحف الرمال عليها، وثانيها المناطق التي سوف تهددها الكثبان الرملية مستقبلاً وهي المناطق التي تتجه نحوها الكثبان الرملية، والمناطق غير المهددة بزحف الرمال وهي المناطق غير الواقعة في مسار الكثبان الرملية، ويتضح من دراسة وتحليل وقياس مساحات تلك الفئات الثلاث السابقة الواردة بالجدول (٨) حجم وخطورة مشكلة زحف الرمال بالوحدات الخارجة حيث تهدد الكثبان الرملية ما جملته ٩٢.٠٥٪ من مساحة الأراضي الزراعية والمناطق العمرانية بالمنخفض وفيما يأتي تفاصيل الفئات الثلاث:

(١) المناطق المهددة حالياً بزحف الرمال: تبلغ مساحتها ١٠٦٢٤٥.٤٧ فدان بنسبة تقدر بحوالي ٧٤.٤١٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمنخفض، وتشمل معظم المنيرة (المحاريق سابقاً) والشركة ٥٥ ومدينة الخارجة وبورسعيد وجناح ١ وناصر الثورة وجناح ٧ وبولاق وصنعاء بقسم الخارجة (وتمثل ٨٥٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالقسم)، وكل القرى بمركز باريس (وتمثل ٥٢٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمركز).

(٢) المناطق التي سوف تهددها الكثبان الرملية: تبلغ مساحتها ٢٥١٨٣.٤٨ فدان بنسبة تقدر بحوالي ١٧.٦٤٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمنخفض، وتشمل الشركة ٥٣ والشركة ١٧ والشركة ٨ وشمال مدينة الخارجة وجنوب بورسعيد وجنوب جناح وناصر الثورة وجناح ٧ بقسم الخارجة (وتمثل ١١٪ من مساحة

المناطق الزراعية والعمرانية بالقسم)، وكل القرى بمركز باريس (وتمثل ٤٠٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمركز).

جدول (٨) مساحات المناطق الزراعية والعمرانية المهدة حالياً ومستقبلياً بزحف

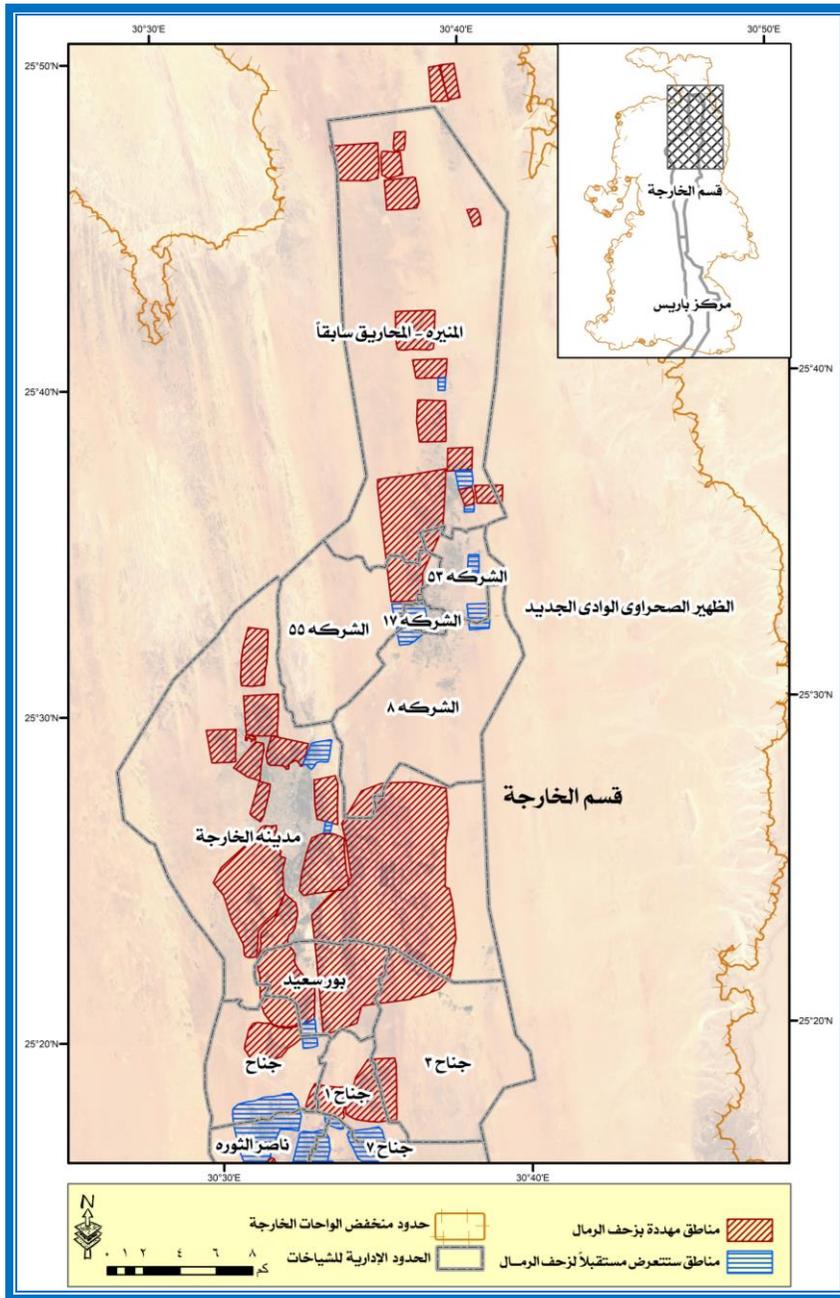
الرمال بمنخفض الواحات الخارجة (٢٠٢٤م)

البيان	المناطق المهدة بزحف الرمال			اجمالي الزراعات والعمران بالمنطقة
	المناطق التي تتعرض لزحف الرمال	المناطق التي ستعرض لزحف الرمال	المناطق غير المهدة بزحف الرمال	
المساحة (فدان)	١٠٦٢٤٥,٤٧	٢٥١٨٣,٤٨	١٣١٤٢٨,٩٥	١٤٢٧٧٤,٦٣
النسبة %	٧٤,٤١	١٧,٦٤	٩٢,٠٥	١٠٠

المصدر: اعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS.

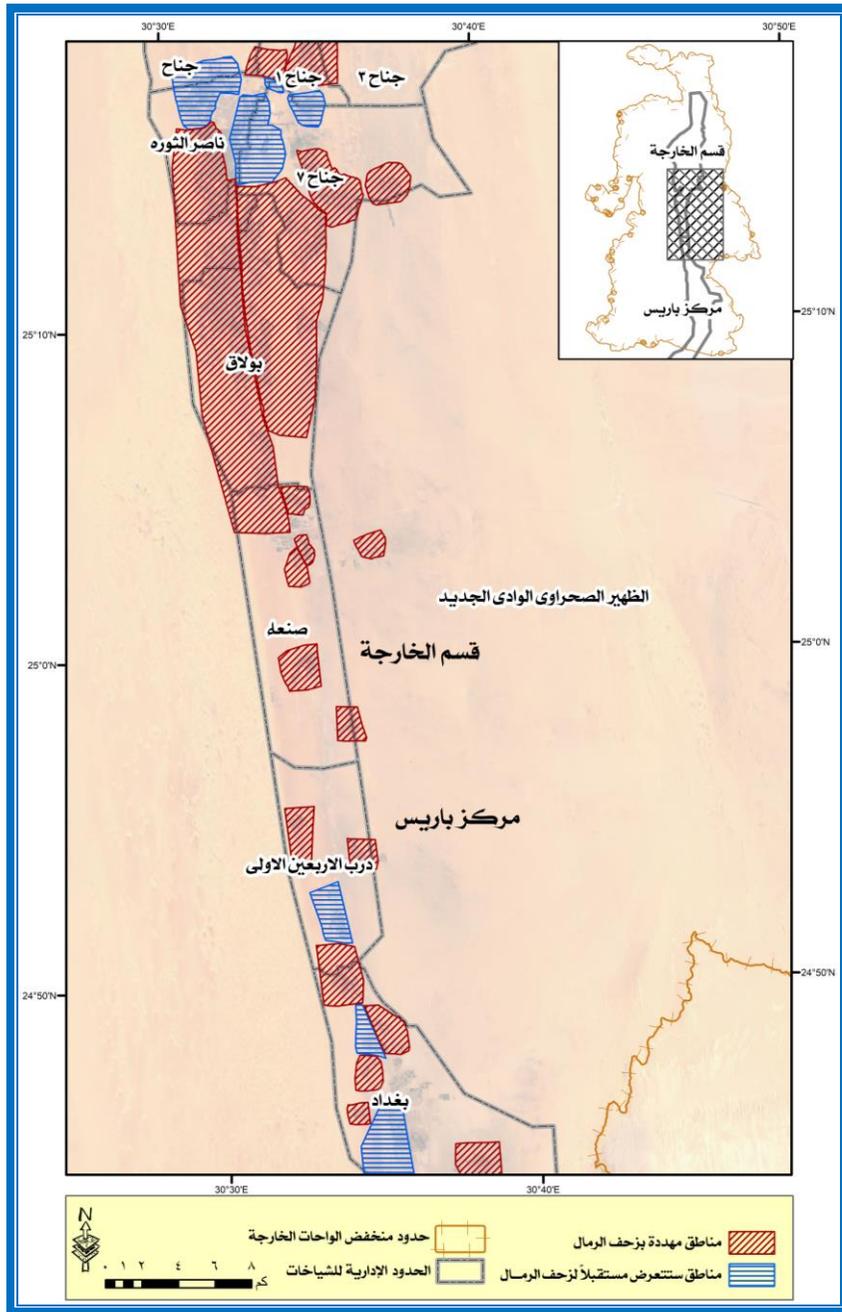
(٣) المناطق غير المهدة بزحف الرمال (لا حالياً ولا مستقبلياً): تبلغ مساحتها ١١٣٤٥.٦٨ فدان بنسبة تقدر بحوالي ٧.٩٥٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمنخفض، وتشمل بعض المناطق بقرى الشركة ٥٣ والشركة ٨ ومنطقة قلب مدينة الخارجة وبعض المناطق بقرية بورسعيد وجناح ٧ بقسم الخارجة (وتمثل ٤٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالقسم)، وبعض المناطق بقرى بغداد ومدينة باريس بمركز باريس (وتمثل ٨٪ من مساحة المناطق الزراعية والعمرانية بالمركز).

ولمواجهة هذا الزحف على الأراضي الزراعية يقوم المزارعون بعمل أسيجة من نبات البوص أو سعف النخيل أو من الأشجار حول المزارع لحمايتها من أخطار زحف الكثبان الرملية. صورة (٢)



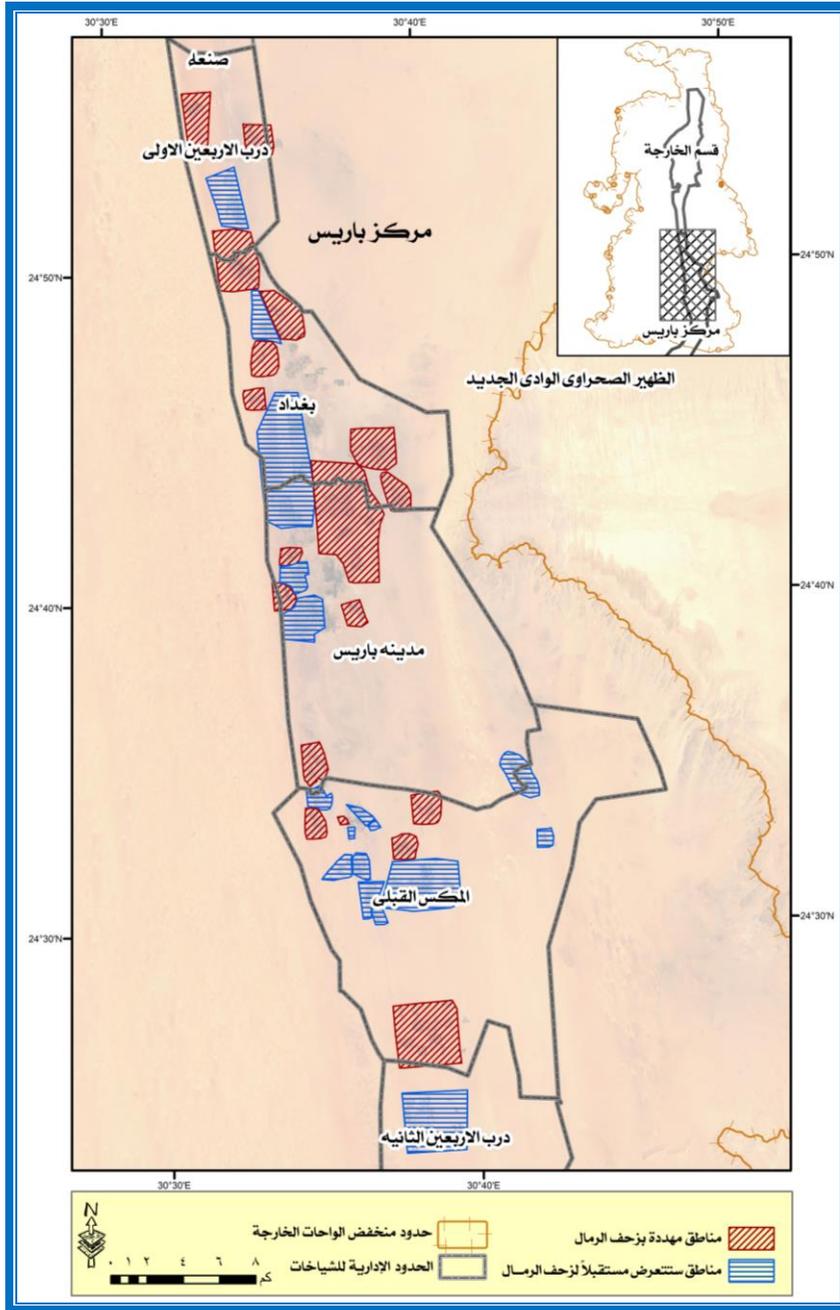
المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٢- أ) التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الرمال على الزراعات والعمران بالجزء الشمالي من الواحات الخارجة (٢٠٢٤م)



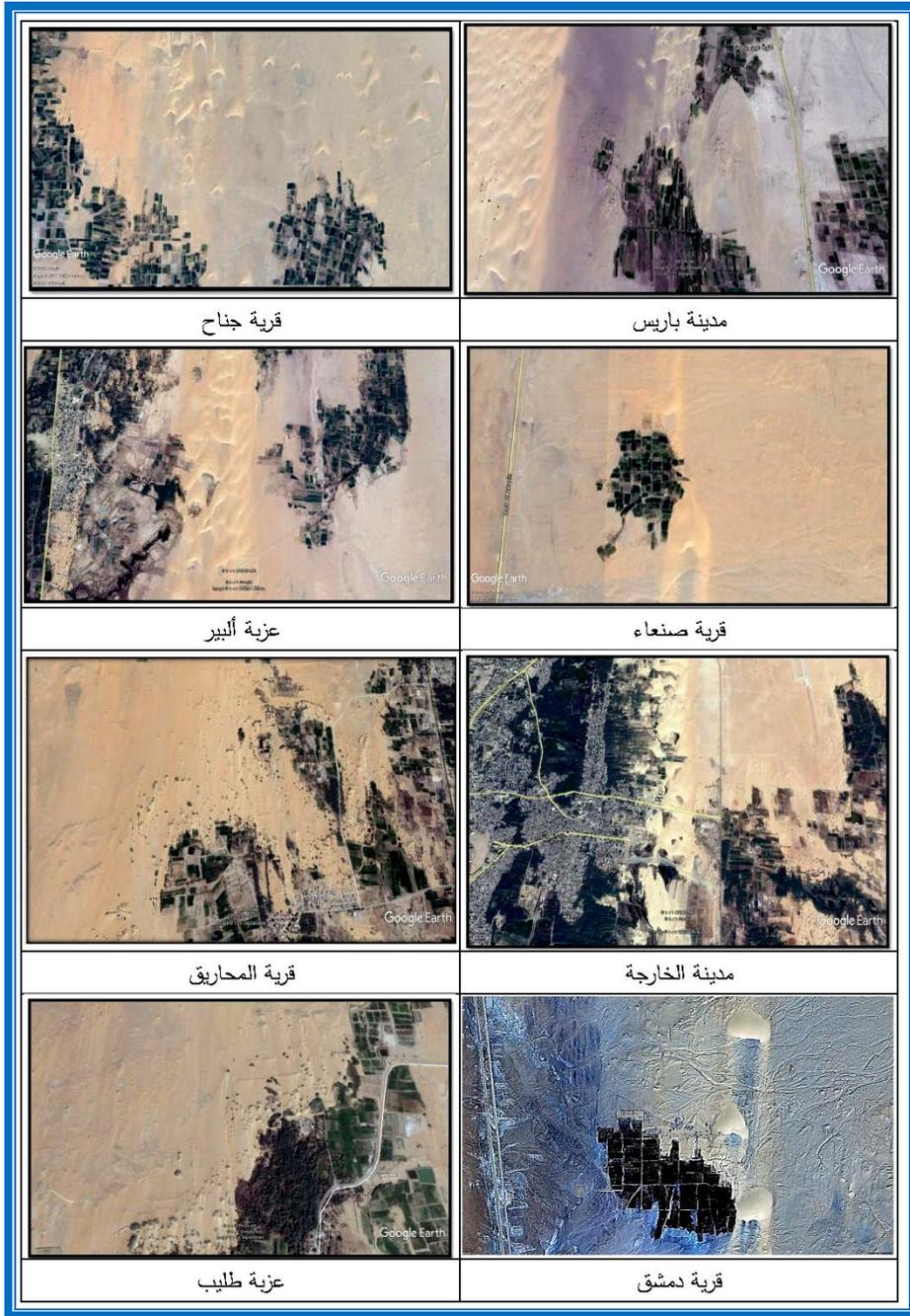
المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٢- ب) التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الرمال على الزراعات والعمران بالجزء الأوسط من الواحات الخارجة (٢٠٢٤م)



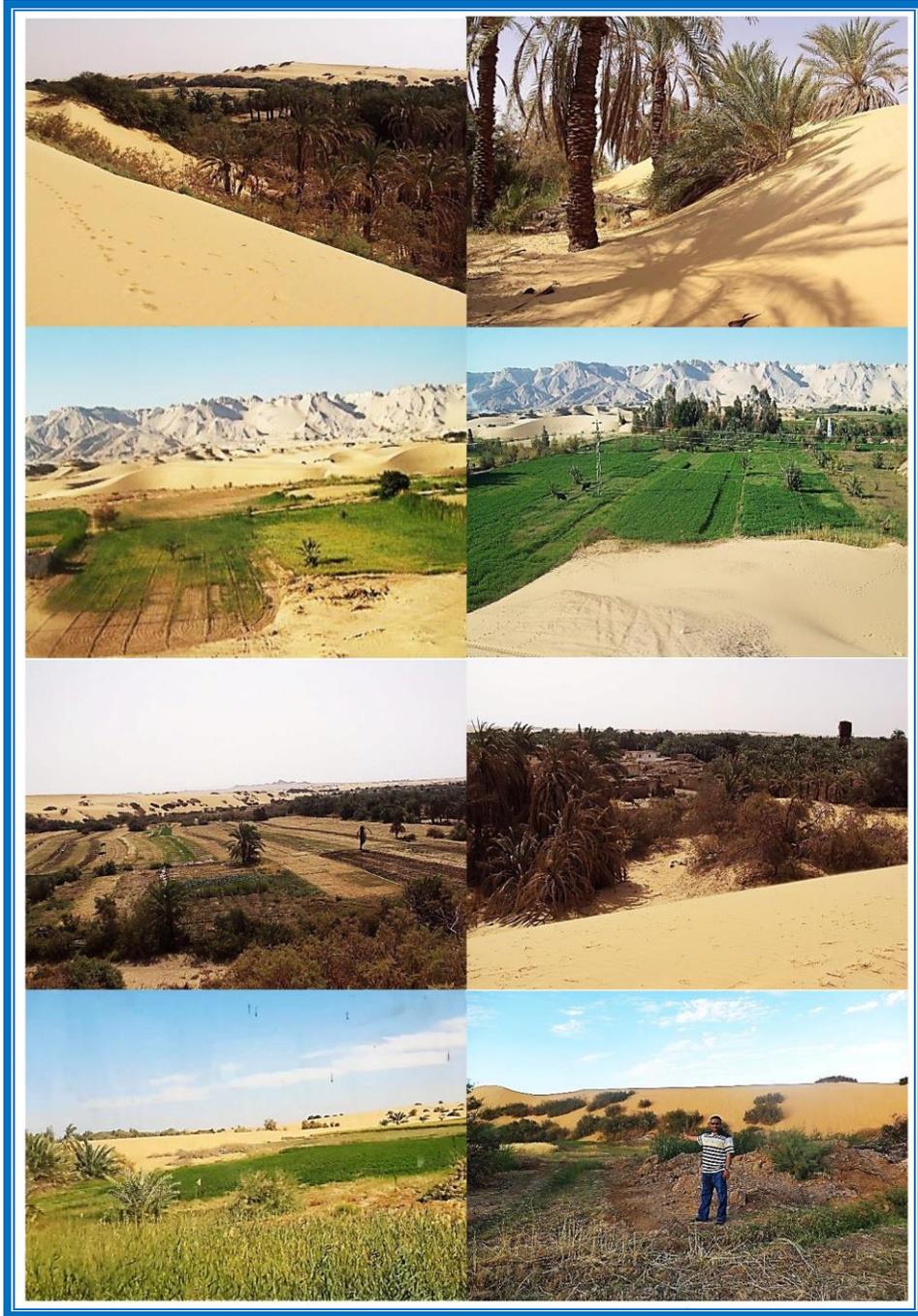
المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٢- ج) التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الرمال على الزراعات والعمران بالجزء الجنوبي من الواحات الخارجة (٢٠٢٤م)



المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج Google Earth.

شكل (١٣) نماذج من زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية بالوحدات الخارجة



المصدر: الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة (٢٠١٧-٢٠٢٣م).

صورة (١) زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية بمنخفض الخارجة



المصدر: الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة (٢٠١٧-٢٠٢٣م).

صورة (٢) ممارسات حماية الأراضي الزراعية من زحف الكثبان الرملية بالوحدات الخارجة

#### ٤- التوزيع الجغرافي لمخاطر زحف الكثبان الرملية على المناطق الأثرية والطرق:

تتعرض المناطق الأثرية مثلها مثل المناطق الزراعية والعمرانية لمخاطر زحف الرمال والكثبان الرملية عليها حيث يتعرض دير المنيرة وجبانة البجوات بشمال المنخفض لأخطار زحف الرمال عليهما وذلك لوقوعهما في مسارات حركة تلك الكثبان ما يستدعي ضرورة التعامل معها لحماية تلك المناطق من أخطارها. صورة (٣)

أما عن الطرق بالمنخفض فقد اتضح من التحليل الجغرافي لمدى تعرضها لزحف الكثبان الرملية (شكلي ١٤ و ١٥ و صورة ٤) أنها تنقسم إلى ثلاث فئات هي:

#### ١- طرق تتعرض حالياً لزحف الرمال:

وذلك لوقوعها في مسارات حركة الكثبان الرملية مباشرة وتعرضها لزحف مستمر من الكثبان الرملية ما يؤدي لقطع العديد منها وعدم استخدامه وشق طرق بديلة في مسارات أبعد عن حركة الكثبان، وتعتبر الطرق العرضية (الطرق ذات المحور الشرقي - غربي) هي الأكثر عرضة لأخطار الكثبان الرملية وأهمها طريق الخارجة- الداخلة، وطريق الأقصر - باريس.

#### ٢- طرق يمكن أن تتعرض مستقبلاً لزحف الرمال:

وتشمل الطرق التي تقع في مسارات حركة الكثبان الرملية لكنها لم تصل إليها حتى الآن ومنتوق وصولها لها مستقبلاً لعدم وجود عائق يحول دون ذلك وتتمثل في طريق أسيوط - الخارجة.

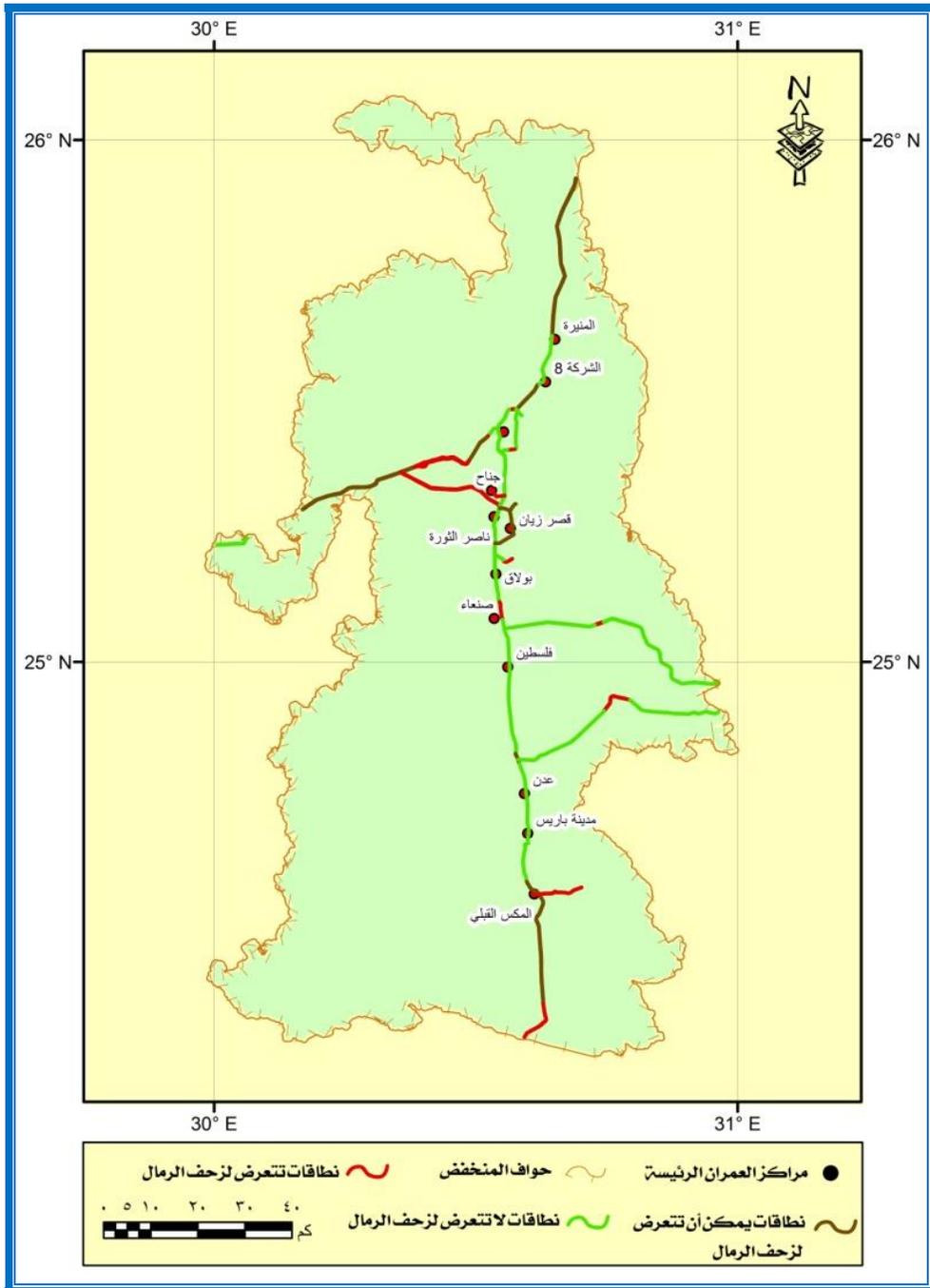
#### ٣- طرق لا تتعرض لزحف الرمال:

وتضم هذه الفئة الطرق التي لا تقع في مسارات حركة الكثبان الرملية أو هناك عائق يعوق دون وصولها لها بشكل نهائي وتتمثل في: طريق الخارجة باريس، ومعظم أجزاء طريق الأقصر - باريس.



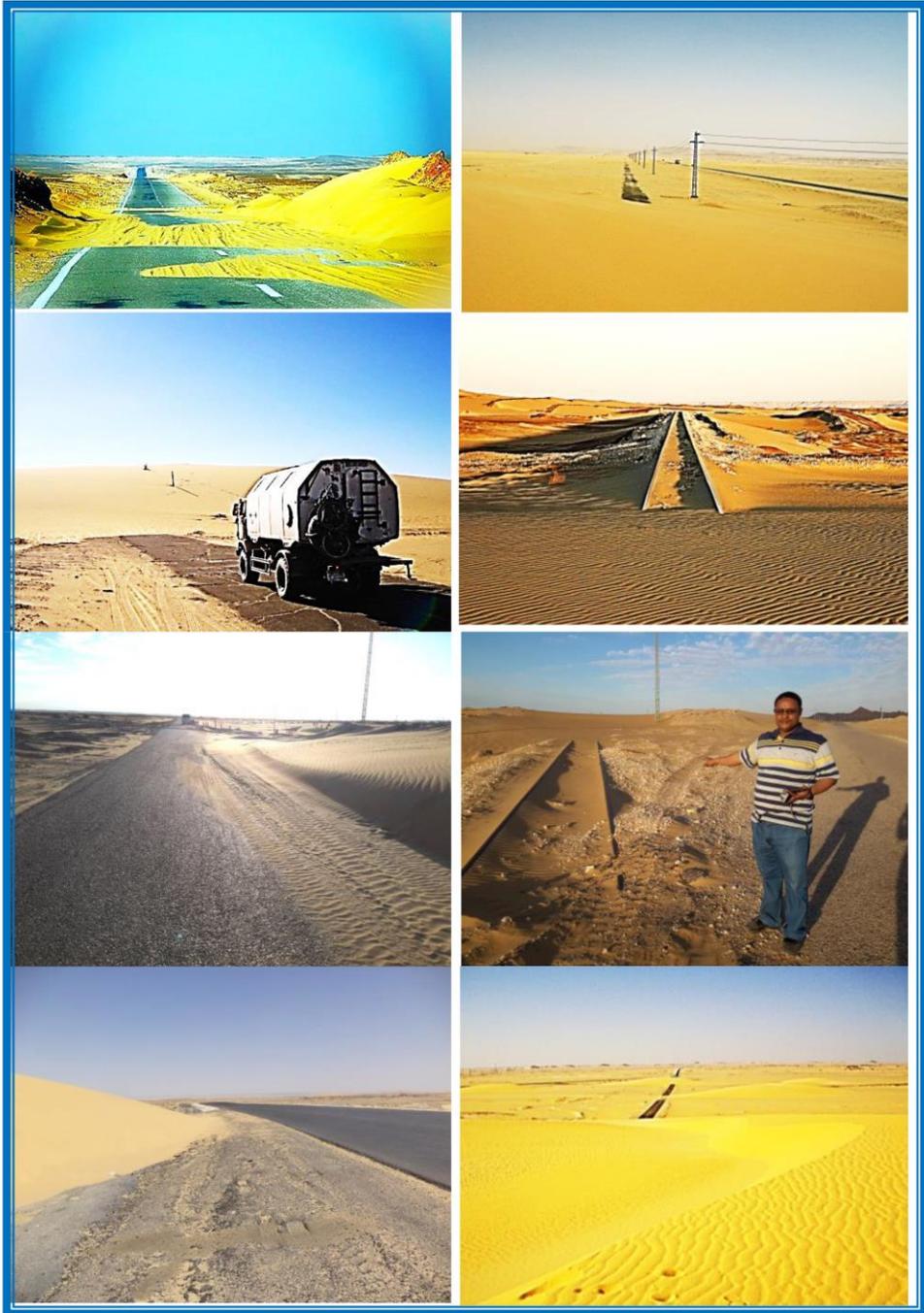
المصدر: الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة (٢٠١٧-٢٠٢٣م).

صورة (٣) تعرض المناطق الأثرية بمنخفض الخارجة لزحف الرمال



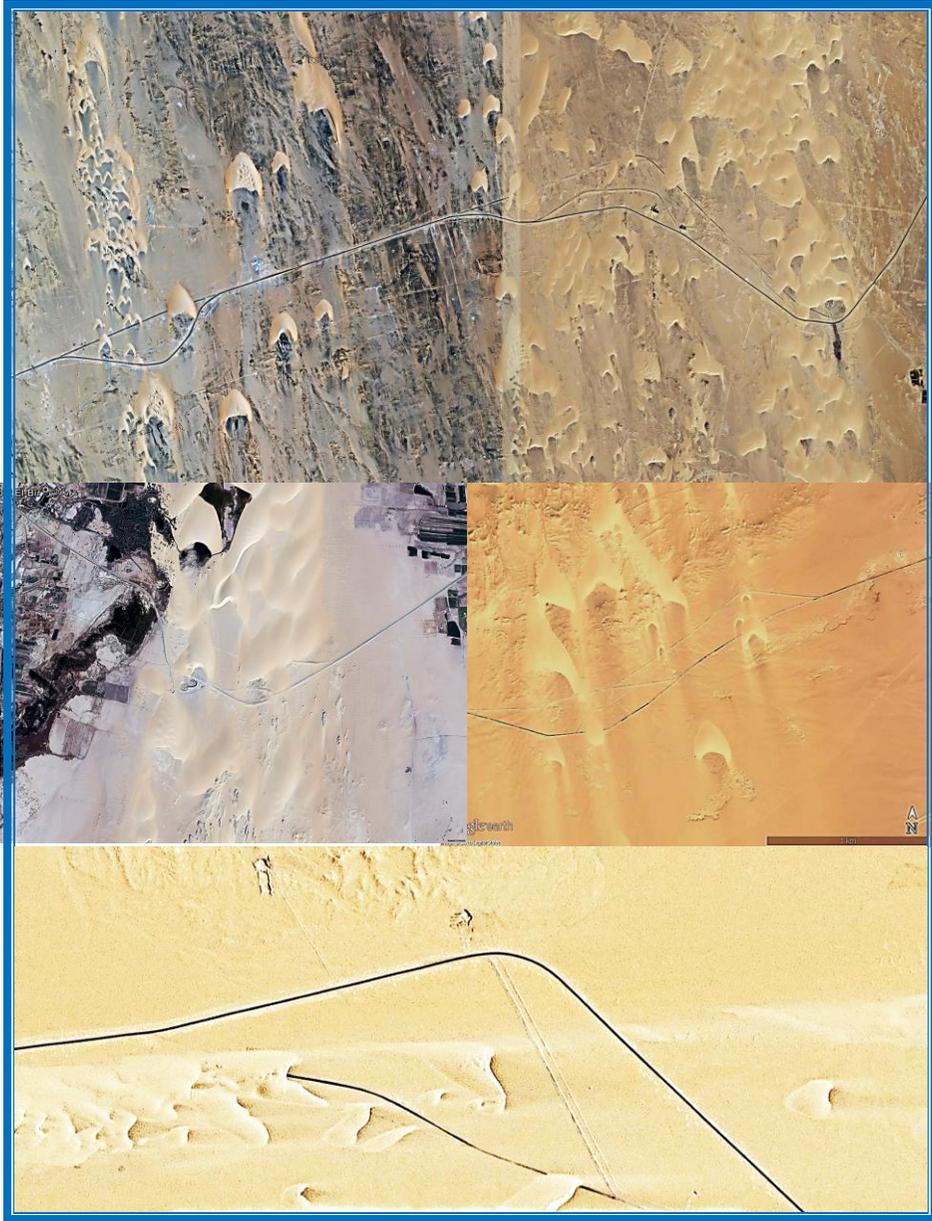
المصدر: إعداد الباحث باستخدام تطبيق ArcGIS.

شكل (١٤) التقييم الجغرافي لدرجات تعرض الطرق لزحف الرمال بمنخفض الخارجة



المصدر: الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة (٢٠١٧-٢٠٢٣م).

صورة (٤) جانب من تعرض الطرق والسكك الحديدية لزحف الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة



المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج Google Earth.

شكل (١٥) جانب من زحف الكثبان الرملية على الطرق بمنخفض الخارجة

## ٥- معامل خطورة الكثبان الرملية المقترح ( Sand Dunes vulnerability ) (Index):

تقترح الدراسة صياغة معامل يستخدم في تقدير خطورة زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية، والمناطق العمرانية، والطرق والمناطق الأثرية (وفي هذه الحالة يسمى معامل خطورة التعرض للكثبان الرملية "Dune vulnerability Index")، كما يمكن استخدامه في تقييم مدى خطورة الكثبان الرملية نفسها بتصنيفها حسب مقدار الخطر الذي تشكله (وفي هذه الحالة يسمى معامل خطورة الكثبان الرملية " Sand Dunes vulnerability Index")، ويتميز هذا المعامل بالميزات الآتية:

- ١- يعتمد على بيانات الاستشعار عن بعد المتاحة للجميع وبالمجان.
  - ٢- لا يحتاج لبيانات مناخية أو لحسابات معقدة.
  - ٣- سهل التطبيق ونتائجه دقيقة وتعبر عن الواقع.
  - ٤- يمكن تطبيقه على جميع المناطق المعرضة لأخطار زحف الكثبان الرملية بأنواعها (مناطق زراعية، عمرانية، آثار ... إلخ).
  - ٥- يمكن تطبيق على الكثبان الرملية نفسها لتحديد معامل خطورة الكتيب لكي يمكن تصنيفها وفق مستوى خطورتها وتحديد آلية التعامل معها.
- وتتراوح القيمة النهائية للمعامل بين (صفر - ١٠٠٠) ووفقاً لهذه القيمة يتم تقسيم المناطق المعرضة لزحف الكثبان الرملية/ الكثبان الرملية نفسها إلى خمس فئات من الخطورة هي:

- ١- فئة عدم وجود خطورة (قيمة المعامل صفر - > ٢٠٠)
- ٢- فئة الخطورة المنخفضة (قيمة المعامل ٢٠١ - > ٤٠٠).
- ٣- فئة الخطورة المتوسطة (قيمة المعامل ٤٠١ - > ٦٠٠).
- ٤- فئة الخطورة العالية (قيمة المعامل ٦٠١ - > ٨٠٠).
- ٥- فئة الخطورة الكارثية (قيمة المعامل ٨٠١ - > ١٠٠٠).

ويقوم هذا المعامل على أربعة معايير رئيسية هي:

١- الوقت اللازم لوصول الكثيب للمنطقة (المناطق الزراعية / العمرانية/ الآثار/ الطرق ... إلخ) (Time required to threaten):

٢- مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة المهدة ( Sand coverage Percentage). (Percentage).

إمكانية وصول الكثيب للمنطقة: وتتضمن معيارين رئيسيين هما

٣- مدى انحراف اتجاه حركة الكثيب بالنسبة للزراعات/ المناطق العمرانية/ الطريق (درجة)

(Sand direction inclination).

٤- مدى وعورة السطح أمام الكثيب (Surface Roughness Scale).

ويوضح الجدول (٩) الأوزان النسبية لكل من تلك المعايير في قيمة المعامل النهائية.

جدول (٩) المعايير الرئيسية والوزن النسبي لها لحساب المعامل

م	المعيار	الوزن النسبي للمعيار بالمعامل
١	الوقت اللازم لوصول الكثبان الرملية للأراضي الزراعية بمنطقة الدراسة (Time required to threaten) (*)	٣٠٪
٢	مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة المهدة (**) (Sand coverage Percentage)	٢٠٪
٣	مدى انحراف اتجاه حركة الكثيب بالنسبة للزراعات/ المناطق العمرانية/ الطريق (درجة) (Sand direction inclination)	٣٠٪
٤	مدى وعورة السطح أمام الكثيب (Surface Roughness Scale)	٢٠٪
	<b>الإجمالي</b>	<b>١٠٠٪</b>

المصدر: إعداد الباحث.

## منهجية تطبيق المعامل:

تقوم فكرة المعامل على إعداد طبقة لكل معيار رئيسي يتم فيها تقسيم منطقة الدراسة لمجموعة مربعات ويتم تقييم قيمة المعيار بكل مربع ثم يتم عمل تطابق ( Super imposed) للطبقات الأربع الخاصة بالمعايير بجمع قيمهم معاً للحصول على الطبقة النهائية التي تمثل قيمة المعامل النهائية، وقد تم تطبيق المعامل على منخفض الخارجة من خلال اتباع المنهجية الآتية والموضحة بجدول (١١) والتي تتضمن ست عشرة تحليلاً تتم داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتتمثل تلك المنهجية في:

- ١- تصنيف المرئية الفضائية الأحدث لاستخراج الكثبان الرملية بالمنخفض.
- ٢- تصنيف المرئية الفضائية الأحدث لاستخراج الأراضي الزراعية بالمنخفض.
- ٣- تحليل المرئية الفضائية الأحدث وملفات الارتفاعات الرقمية لقياس أبعاد الكثبان الرملية بالمنخفض وتحديد أحجامها.
- ٤- تحديد مساحة المناطق المعرضة لزحف الكثبان الرملية بالمنخفض.
- ٥- تصنيف مدى وعورة السطح أمام الكثيب (Surface Roughness Scale).
- ٦- تحديد كمية الرمال المتضمنة في الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة.
- ٧- تحديد معدل حركة الكثبان الرملية خلال المدة (٢٠١٤ - ٢٠٢٤م) من خلال تحليل مدى التغير Change Detection في المرئيتين الفضائيتين.

٨- تقسيم منطقة الدراسة والأراضي الزراعية بها لمربعات وقياس الخصائص الأربعة الآتية بكل مربع وتحديد قيمتها وأوزانها النسبية من خلال الدرجات والأوزان النسبية الواردة بجدول (١٠):

(أ) تحديد الوقت اللازم لوصول الكثبان للمنطقة (المناطق الزراعية / العمرانية/ الآثار/ الطرق ... إلخ) (Time required to threaten) وتم حسابه باستخدام معدل حركة الكثيب (م/ سنة) والمسافة بين الكثيب والمنطقة المهدة (م)، ومدى وجود عوائق في طريق الكثيب من عدمه، ومدى استواء السطح وانحداره في اتجاه حركة الكثيب (منصرف الرياح).

(ب) تحليل المرئية الفضائية الأحدث لتحديد مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة (Sand coverage Percentage).

(ج) تحديد مدى انحراف اتجاه حركة الكثيب بالنسبة للزراعات/ المناطق العمرانية/ الطريق (بالدرجة) (Sand direction inclination).

(د) تحليل ملف الارتفاعات الرقمية لتحديد إمكانية وصول الكثيب للمنطقة من خلال قياس مدى وعورة السطح أمام الكثيب (Surface Roughness Scale).

٩- عمل تطابق لأوزان الطبقات الأربعة السابق (Superimposed) بجمع قيمة كل مربع في الطبقات الأربعة السابقة.

١٠- ضرب الأوزان النسبية للمربعات بطبقة ١٦ في القيمة الثابتة (١٠) للحصول على القيمة النهائية للمعامل.

### جدول (١٠) درجات معامل خطورة الكثبان الرملية المقترح

إمكانية وصول الكثيب للمنطقة		مدى انحراف اتجاه حركة الكثيب بالنسبة للزراعات/ المناطق العمرانية/ الطريق (درجة)		مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة المهدهة (**)		الوقت اللازم لوصول الكثيب للمنطقة (المناطق الزراعية / العمرانية/ الأثار/ الطرق ... الخ) (*)		درجة خطورة الكثيب (Dune vulnerability)
مدى وعورة السطح أمام الكثيب (Surface Roughness) (Scale)	القيمة	الوزن النسبي في المعامل النهائي	القيمة	الوزن النسبي في المعامل النهائي	القيمة	الوزن النسبي في المعامل النهائي	القيمة	
صفر-٣,٩٪	سطح وعور ويوجد به عوائق كبيرة صفر- >٢٠٪	صفر-٥,٩٪	حركة الكثيب عكسية (أي أن الكثيب يبتعد عن المنطقة) باتحراف من ٩٠ درجة فأكثر	صفر-٣,٩٪	كمية الرمال تكفي لتغطية المنطقة بنسبة أقل من ٢٠٪	صفر-٥,٩٪	أكثر من ٤ سنوات	عدم وجود خطورة صفر- >٢٠٠
٧,٩-٤٪	سطح وعور / يوجد به عوائق كبيرة >٢٠- ٤٠٪	١١,٩-٦٪	حركة الكثيب تتحرف عن المنطقة بما مقداره >٤٥-٩٠ درجة	٧,٩-٤٪	كمية الرمال تكفي لتغطية المنطقة بنسبة >٢٠-٤٠٪	١١,٩-٦٪	>٣	خطورة منخفضة ٢٠١- >٤٠٠
١١,٩-٨٪	سطح متوسط الوعورة / به عوائق متوسطة >٤٠-٦٠٪	١٧,٩-١٢٪	حركة الكثيب باتجاه المنطقة باتحراف >٢٢,٥-٤٥ درجة	١١,٩-٨٪	كمية الرمال تكفي لتغطية المنطقة بنسبة >٤٠-٦٠٪	١٧,٩-١٢٪	>٢	خطورة متوسطة ٤٠١- >٦٠٠
١٥,٩-١٢٪	سطح مستوي إلى حد ما مع وجود عوائق صغيرة >٦٠-٨٠٪	٢٣,٩-١٨٪	حركة الكثيب باتجاه على المنطقة باتحراف ١٠- >٢٢,٥ درجة	١٥,٩-١٢٪	كمية الرمال تكفي لتغطية المنطقة بنسبة >٦٠-٨٠٪	٢٣,٩-١٨٪	>١	خطورة عالية ٨٠١- >١٠٠٠
٢٠-١٦٪	سطح مستوي ولا توجد به عوائق >٨٠- ١٠٠٪	٣٠-٢٤٪	حركة الكثيب عمودية على المنطقة باتحراف أقل من ١٠ درجات	٢٠-١٦٪	كمية الرمال تكفي لتغطية المنطقة بنسبة >٨٠-١٠٠٪	٣٠-٢٤٪	أقل من سنة	خطورة كارثية ١٠٠٠ > ٨٠١

المصدر: إعداد الباحث.

(\*) بحسب باستخدام معدل حركة الكثيب (م/سنة) والمسافة بين الكثيب والمنطقة المهدهة، ومدى وجود عوائق في

طريق الكثيب من عدمه، ومدى استواء السطح وانحداره في اتجاه حركة الكثيب (منصرف الرياح).

(\*\*) مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة المهدهة = (حجم الكثيب "م<sup>٣</sup>" / مساحة المنطقة "م<sup>٢</sup>") X

١٠٠

## جدول (١١) التحليلات المطلوبة والطبقات المستخدمة والنتيجة عنها لحساب المعامل

م	التحليل	الطبقات المستخدمة في التحليل	الطبقة الناتجة
١	تصحيح وجمع المرئية الفضائية الأولى لمنطقة الدراسة (المرئية الأحدث) لعام ٢٠٢٤ م	-	طبقة ١
٢	تصحيح وجمع المرئية الفضائية الثانية لمنطقة الدراسة (المرئية الأقدم) لعام ٢٠١٤ م	-	طبقة ٢
٣	ملف الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة	-	طبقة ٣
٤	تصنيف الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة	طبقة ١ + ٢	طبقة ٤
٥	تصنيف الأراضي الزراعية بمنطقة الدراسة	طبقة ١	طبقة ٥
٦	تحديد حجم الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة	طبقة ١ + ٢	طبقة ٦
٧	تحديد مساحة المناطق المعرضة لزحف الكثبان الرملية	طبقة ١	طبقة ٧
٨	تصنيف مدى وعورة السطح أمام الكتيب (Surface Roughness Scale)	طبقة ٢	طبقة ٨
٩	تحديد كمية الرمال المتضمنة في الكثبان الرملية بمنطقة الدراسة	طبقة ٦	طبقة ٩
١٠	تحليل مدى التغير في المرئيتين الفضائيتين لمعرفة معدل حركة الكثبان الرملية خلال المدة (٢٠١٤ - ٢٠٢٤ م)	طبقة ١ + ٢	طبقة ١٠
١١	تقسيم منطقة الدراسة والأراضي الزراعية بها لمربعات وقياس الخصائص الأربع الآتية بكل مربع وتحديد قيمتها	طبقة ١	طبقة ١١
١٢	تحديد الوقت اللازم لوصول الكثبان الرملية للأراضي الزراعية بمنطقة الدراسة (Time required to threaten)	طبقة ١٠ + ٤ + ٥	طبقة ١٢
١٣	تحديد مدى تغطية كمية الرمال المتجهة لمساحة المنطقة المهددة (Sand coverage Percentage)	طبقة ٦ + ٧	طبقة ١٣
١٤	تحديد مدى انحراف اتجاه حركة الكتيب بالنسبة للزراعات/ المناطق العمرانية/ الطريق (درجة) (Sand direction inclination)	طبقة ٤ + ٥	طبقة ١٤
١٥	تحديد مدى وعورة السطح أمام الكتيب (Surface Roughness Scale)	طبقة ٨	طبقة ١٥
١٦	عمل تطابق لأوزان الطبقات الأربع السابق (super imposed) بجمع قيمة كل مربع في الطبقات الأربع السابقة	طبقة ١٢ + ١٣ + ١٤ + ١٥	طبقة ١٦
١٧	ضرب الأوزان النسبية للمربعات بطبقة ١٦ في القيمة الثابتة (١٠) للحصول على القيمة النهائية للمعامل	طبقة ١٦	طبقة ١٧

المصدر: إعداد الباحث.

### نتائج تطبيق المعامل:

يتضح من نتائج تطبيق معامل خطورة الكثبان الرملية المقترح بمنخفض الخارجة (جدول ١٢) والتوزيع الجغرافي التوزيع الجغرافي لهذا المعامل على أرجاء المنخفض عام ٢٠٢٤ (الأشكال ١٦-أ، ب، ج، د) ما يأتي، كما يوضح جدول (١٣) آليات التعامل المقترحة مع كل فئة من فئات الخطورة:

١- تمثل فئة الخطورة العالية (٦٠١ - > ٨٠٠) أعلى فئات الخطورة بالمنخفض وتتعرض لها ٥٣.٠٣٪ من مساحة الأراضي الزراعية بالمنخفض، وتتوزع تلك الفئة في الأراضي الزراعية بالهوامش الشرقية والغربية لمناطق الشركة ٥٢ والشركة ٨ والشركة ٥٥ وشمال وشرق مدينة الخارجة، وشرق بورسعيد ومنطقة جناح ١ وشرق وغرب جناح ٧ وشرق قريتي بولاق وصنعاء، وشمال وجنوب منطقة عين جرمشين، وشمال شرق قرية فلسطين وشمال غرب قرية جرمشين، ومعظم أراضي عزبة عين برقص، ومنطقة بغداد، وشمال وجنوب مدينة باريس ومناطق عزب المكس البحري والمكس القبلي والطرفاية وبرام، ويمكن التعامل مع هذه الفئة عبر تثبيت الكثيب (تسوية الكثيب- إقامة الحواجز/ الأسيجة أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب)، وتثبيت الكثيب (إعادة تشكيل الكثيب- حفر الخنادق أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب).

٢- تلي تلك الفئة فئة الخطورة المتوسطة (٤٠١ - > ٦٠٠) حيث تتعرض لها ٢١.٤٩٪ من مساحة الأراضي الزراعية بالمنخفض، وتتوزع تلك الفئة في الأراضي الزراعية بعزبة طليب والشركة ٥٢ والشركة ٨ وبعض أراضي بورسعيد، وقرى الجزائر وصنعاء وعين جرمشين وفلسطين ومدينة باريس، ويمكن التعامل مع هذه الفئة عبر تثبيت الكثيب (إعادة تشكيل الكثيب- حفر الخنادق أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب).

٣- ثم فئة الخطورة المنخفضة ( $201 > 400$ ) حيث تتعرض لها ١٤.٤٠٪ من مساحة الأراضي الزراعية بالمنخفض، وتتوزع تلك الفئة في الأراضي الزراعية بأقصى شمال المنخفض شمال عين أم القصور، وجنوب عزبة طليب، وأراضي جنوب وغرب المنيرة، وعزبة الشركة ٥٥ وجنوب الشركة ٨، وشمال وجنوب مدينة الخارجة، وأراضي قرى ناصر وبولاق وجناح ٧، وبعض الأراضي بمدينة باريس، ويمكن التعامل مع هذه الفئة عبر تثبيت الكثيب (تسوية الكثيب- إقامة الحواجز/ الأسيجة أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب).

٤- ثم فئة الخطورة الكارثية ( $801 > 1000$ ) حيث تتعرض لها ١٠.٨٥٪ من مساحة الأراضي الزراعية بالمنخفض، وتتوزع تلك الفئة في بعض المناطق الزراعي شرقي الشركة ٨ وعزبة أم الغنائم والأراضي الزراعية جنوب مدينة الخارجة وبمنطقة قرية جناح وغرب قرية بور سعيد وغرب قرية ناصر وبولاق والمناطق الواقعة على الهوامش الشرقية والغربية لقرية فلسطين وقرية جرمشين وبورسعيد وشمال شرق مدينة باريس وجنوبها الشرقي ومنطقة جنوب المكس القبلي ومنطقة درب الأربعين الثانية، ويمكن التعامل مع هذه الفئة عبر تثبيت الكثيب (تسوية الكثيب- إقامة الحواجز/ الأسيجة أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب)، وتثبيت الكثيب (إعادة تشكيل الكثيب- حفر الخنادق أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب)، إضافة لنقل وإزالة الكثيب.

٥- وأخيراً فئة عدم وجود خطورة (صفر  $> 200$ ) وهي أقل فئات خطورة التعرض للكثبان الرملية بالمنخفض مساحة حيث تتعرض لها ٠.٢٣٪ من مساحة الأراضي الزراعية بالمنخفض، وتتوزع تلك الفئة في بعض الأراضي الزراعية جنوب المنيرة.

جدول (١٢) نتائج تطبيق معامل خطورة الكثبان الرملية المقترح بمنخفض الخارجة

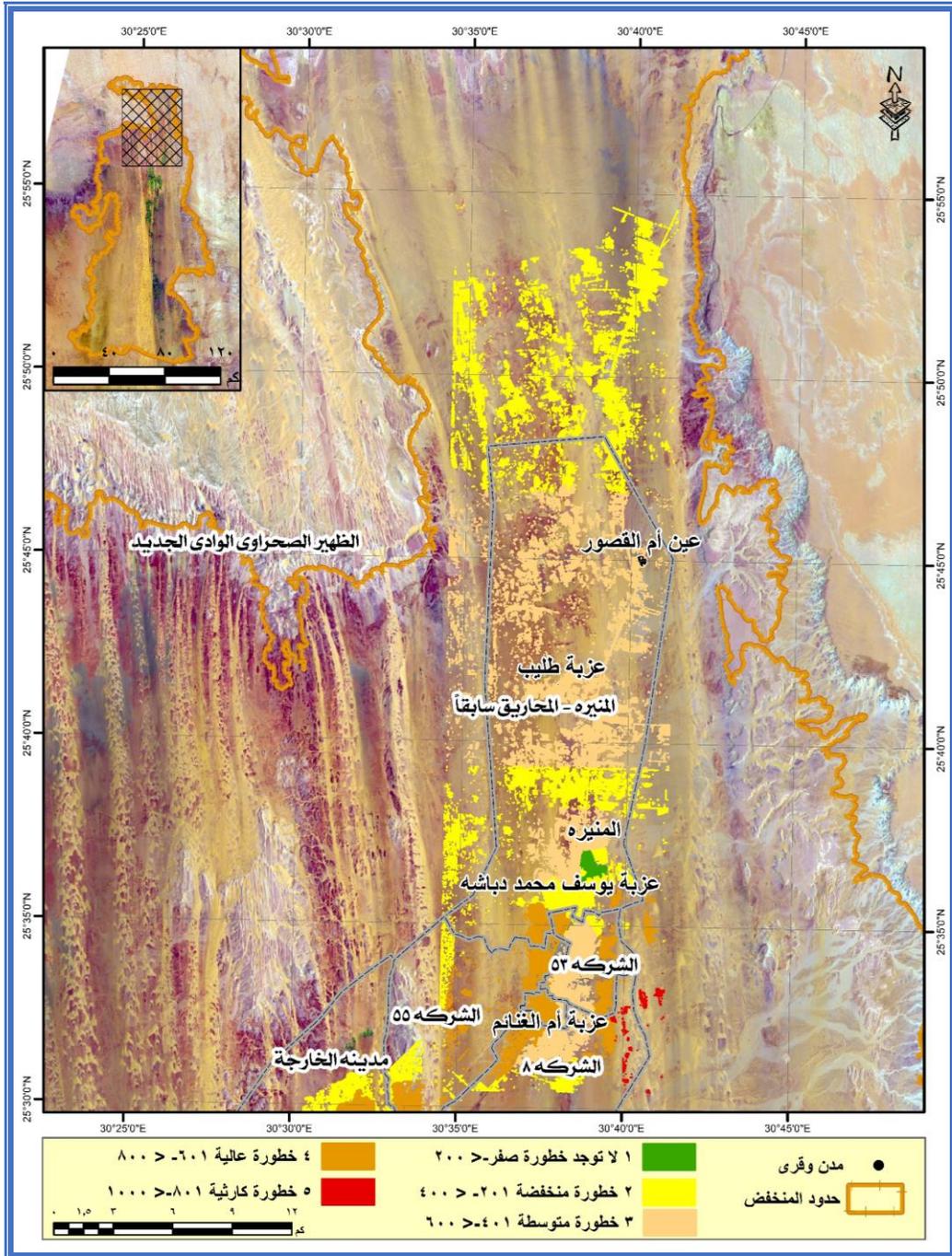
م	فئة الخطورة	المساحة (م <sup>٢</sup> )	المساحة (فدان)	النسبة المئوية %
١	عدم وجود خطورة صفر - > ٢٠٠	٦٠٠٥٠٨	١٤٢.٩٥	٠.٢٣
٢	خطورة منخفضة ٢٠١ - > ٤٠٠	٣٨٤٠٨٣٤٣	٩١٤٣.٠٤	١٤.٤٠
٣	خطورة متوسطة ٤٠١ - > ٦٠٠	٥٧٣١٥١٦٧	١٣٦٤٣.٧٧	٢١.٤٩
٤	خطورة عالية ٦٠١ - > ٨٠٠	١٤١٤٣٦٦٦٠	٣٣٦٦٨.٧٤	٥٣.٠٣
٥	خطورة كارثية ٨٠١ - > ١٠٠٠	٢٨٩٢٦٠٨١	٦٨٨٥.٨٠	١٠.٨٥
	الإجمالي	٢٦٦٦٨٦٧٥٩	٦٣٤٨٤	١٠٠

المصدر: إعداد الباحث، اعتماداً على برنامج ArcGIS ونتائج تحليلات نظم المعلومات الجغرافية.

جدول (١٣) آليات التعامل المقترحة مع الفئات المختلفة لمعامل خطورة الكثبان الرملية

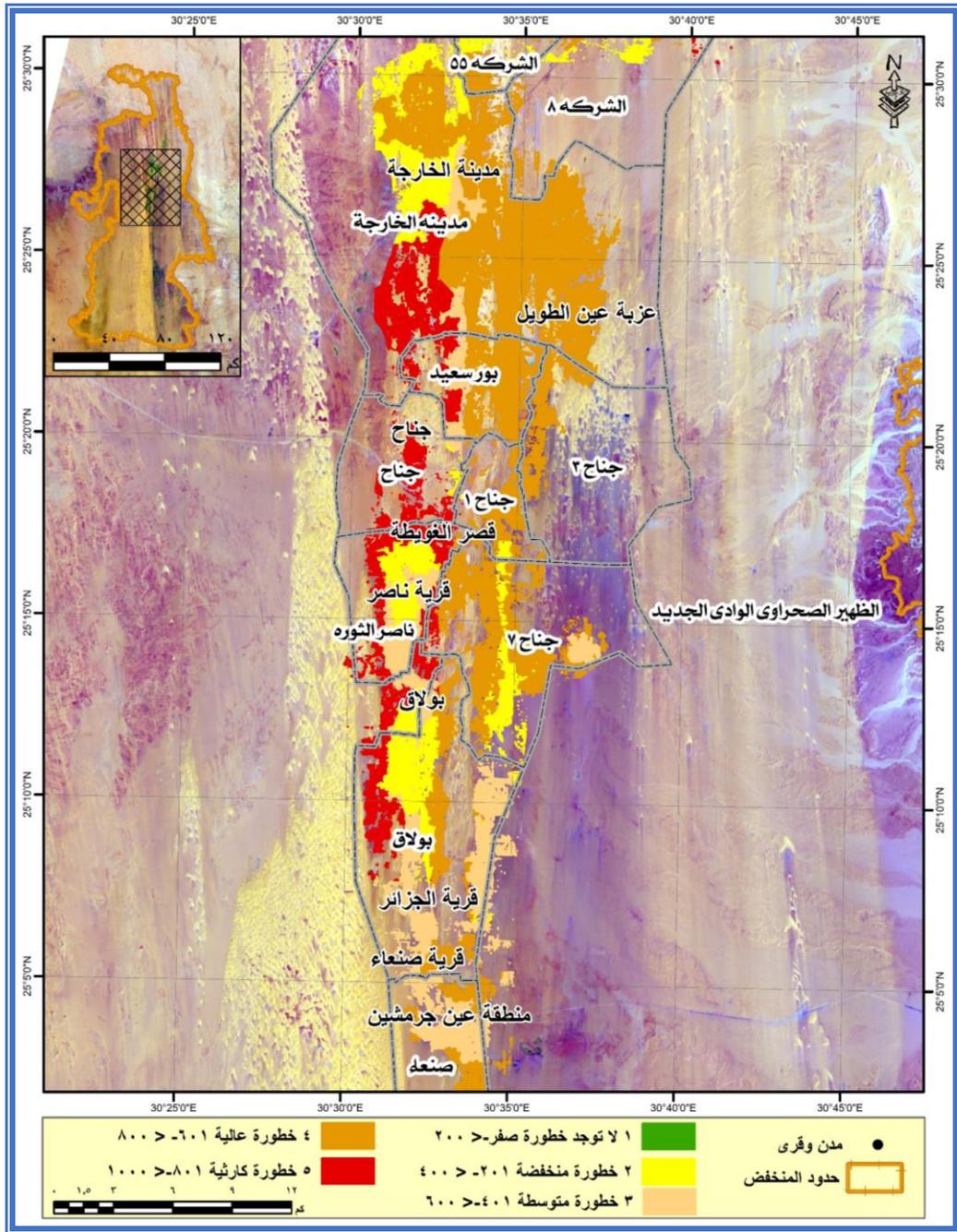
م	فئات خطورة الكثيب (Dune vulnerability)	طريقة التعامل مع الكثيب
١	لا توجد خطورة صفر - > ٢٠٠	---
٢	خطورة منخفضة ٢٠١ - > ٤٠٠	١- تثبيت الكثيب (تسوية الكثيب- إقامة الحواجز/ الأسيجة أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب).
٣	خطورة متوسطة ٤٠١ - > ٦٠٠	١- تشتيت الكثيب (إعادة تشكيل الكثيب- حفر الخنادق أمام الكثيب- معالجة سطح الكثيب).
٤	خطورة عالية ٦٠١ - > ٨٠٠	١- تثبيت الكثيب. ٢- تشتيت الكثيب.
٥	خطورة كارثية ٨٠١ - > ١٠٠٠	١- تثبيت الكثيب. ٢- تشتيت الكثيب. ٣- نقل وإزالة الكثيب.

المصدر: إعداد الباحث، وطرق التعامل بالاعتماد على Cooke, R.U. & Doornkamp, J.C., 1990, P.266.



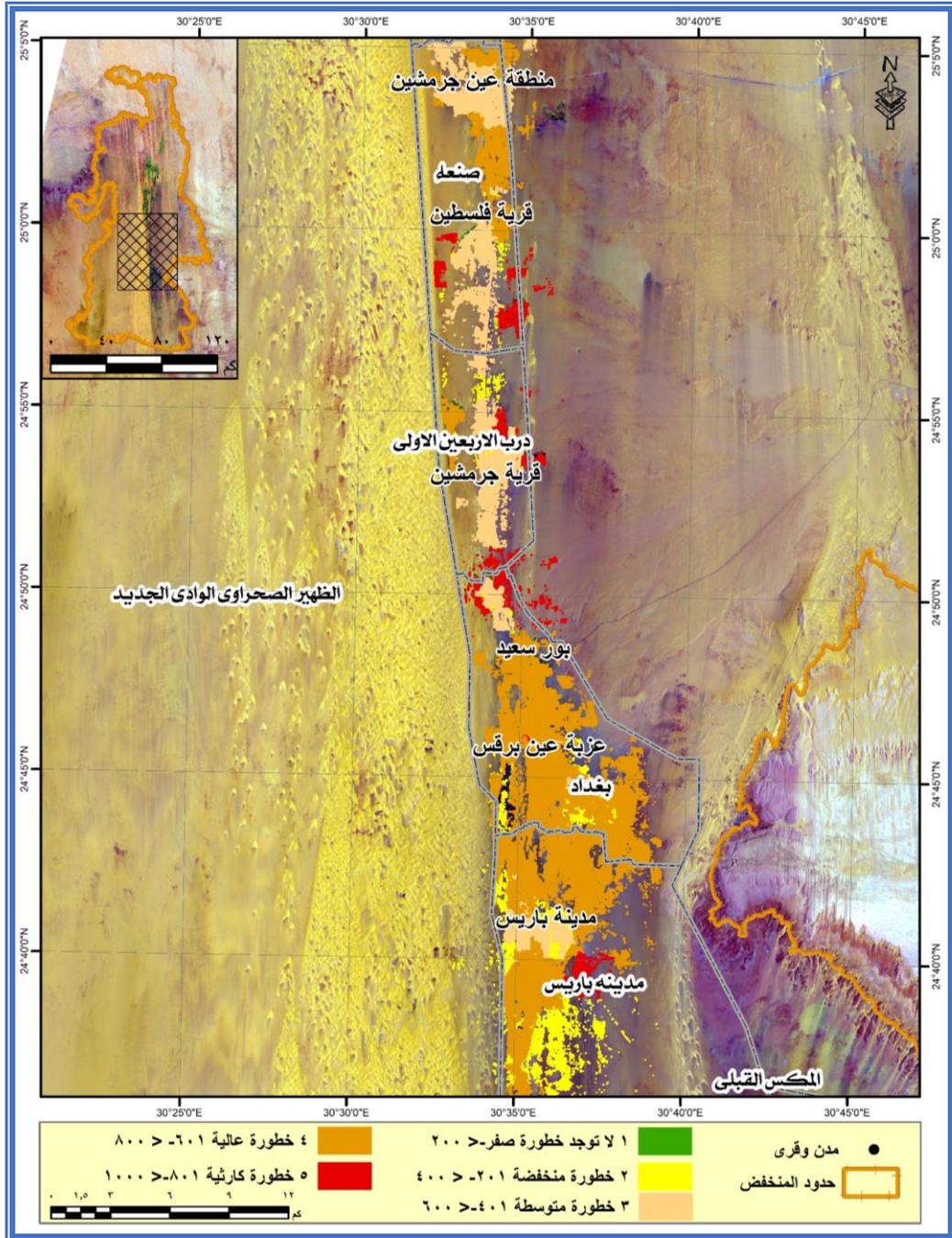
المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٦-أ) التوزيع الجغرافي لمعامل خطورة التعرض للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ٢٠٢٤م



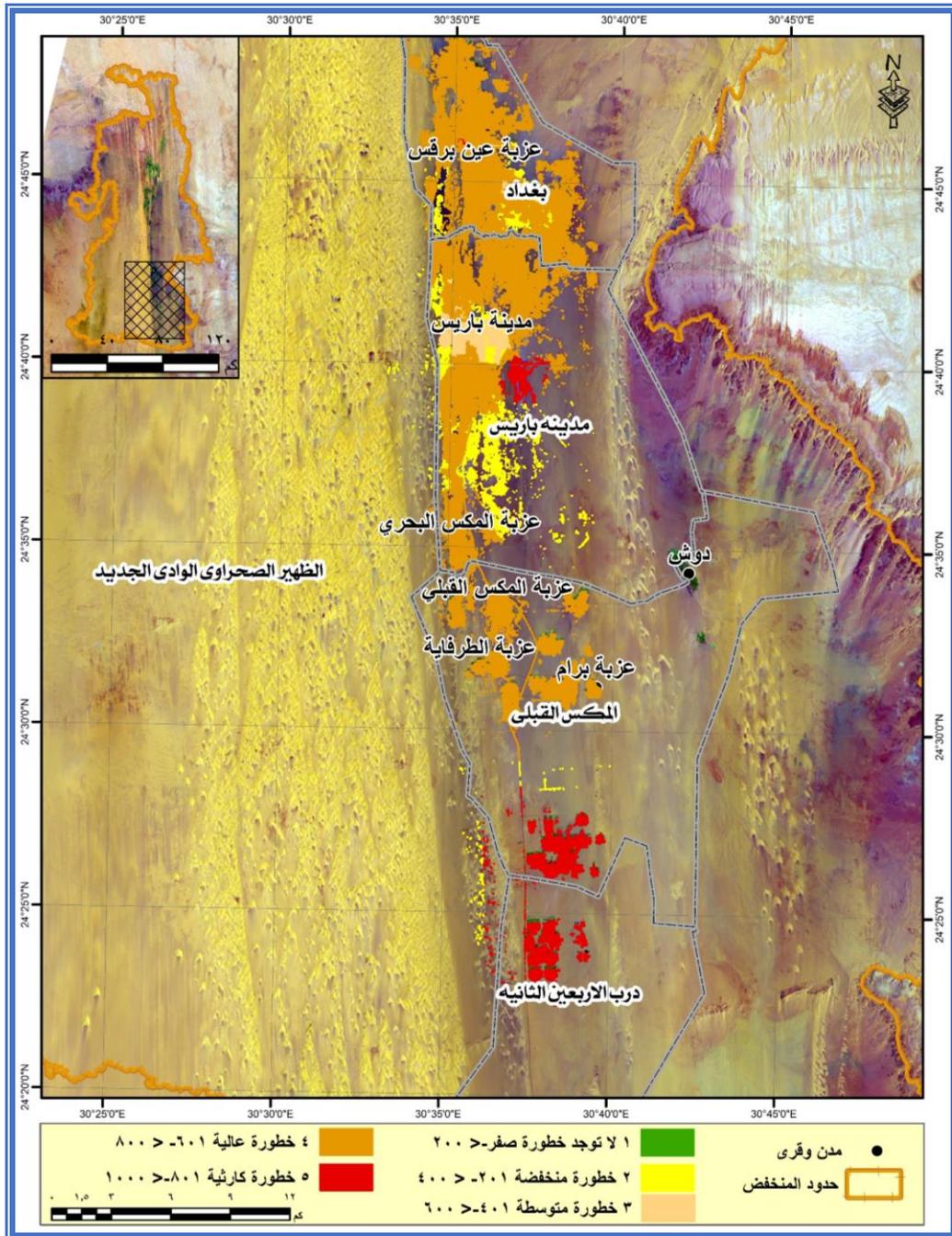
المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٦-ب) التوزيع الجغرافي لمعامل خطورة التعرض للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ٢٠٢٤م



المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٦-ج) التوزيع الجغرافي لمعامل خطورة التعرض للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ٢٠٢٤م



المصدر: إعداد الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS.

شكل (١٦-د) التوزيع الجغرافي لمعامل خطورة التعرض للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ٢٠٢٤م

## الخاتمة

### (أ) النتائج:

تناولت الدراسة التحليل المورفومتري للكثبان الرملية بمنخفض الخارجة ودراسة أبعادها ومعدلات حركتها، ثم تم دراسة التوزيع الجغرافي لأخطار زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية والطرق والمناطق الأثرية بالمنخفض بالطرق التقليدية، ثم توصلت لاقتراح معامل يتضمن تطبيق تقنيات الجيوماتكس المختلفة (نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والمساحة ونظم تحديد المواقع العالمية) في التقييم الجغرافي لمدى خطورة زحف الكثبان الرملية وتقييم درجة خطورة التعرض للكثبان الرملية للأراضي الزراعية أو الطرق أو المناطق العمرانية المتعرضة لزحف الكثبان الرملية، وتم تحديد خطوات ومنهجية تطبيق المعامل، وتحديد آلية بسيطة للتعامل مع كل درجة من درجات الخطر.

كما تم تطبيق المعامل لتقييم خطورة التعرض لزحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية بمنخفض الخارجة، وقد اتضح أن الغالبية العظمى من أراضي المنخفض الزراعية تتعرض لخطورة زحف الكثبان الرملية بدرجاته المختلفة.

### (ب) التوصيات:

توصي الدراسة بزيادة الاهتمام بمعالجة مشكل زحف الكثبان الرملية بالمنخفض لما لها من تأثيرات ضارة على التربة والإنتاج الزراعي به. كما توصي الباحثين باستخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والبرمجة والذكاء الاصطناعي في تطوير وبرمجة أداة جاهزة (Tool) داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية يمكن استخدامها لتطبيق معامل خطورة الكثبان الرملية المقترح في أية منطقة من العالم بسهولة ويسر، تتضمن تقليل الخطوات والمهام التي يقوم بها الباحث حتى يصل إلى النتائج المرجوة وتزيد من دقتها.

## الملاحق

ملحق (١) المعدل الشهري والسنوي لنسب تكرارية هبوب الرياح بمنخفض الخارجة خلال المدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)

الاتجاه	الشهر	سنوي												
		يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	
الرياح الشمالية (صفر و ٣٦٠°)	٣٠.٤	٣٣.١	٣٦.٧	٤٠.٢	٤٧.٣	٥٤.٩	٣٩.٦	٤٠.٥	٥٤.٥	٥١.٩	٤٨.٣	٣٩.٤	٤٣.٢	٤٣.٨٣
الرياح الشمالية الشرقية (٤٥°)	١٨.١	١٧.٣	١٥.٢	١٥.٣	١٤.٤	١٠.٤	٧.٨	١٠.٠	٩.١	١٥.٧	١٦.٣	١٩.٠	١٤.٠	١٤.٣٠
الرياح الشرقية (٩٠°)	٢.٢	١.٩	١.٥	١.٦	٠.٧	٠.٦	١.٠	١.٢	٠.٧	٠.٩	١.٤	١.٥	١.٣	١.٢٩
الرياح الجنوبية الشرقية (١٣٥°)	٤.١	٤.٢	٣.٧	٤.٤	٢.١	٠.٨	١.٣	١.١	٠.٧	٠.٨	١.٢	٢.٨	٢.٢	٢.٣١
الرياح الجنوبية (١٨٠°)	١.٨	٢.٨	٢.٤	٣.٠	١.٤	٠.٢	٠.٣	٠.٤	٠.٣	٠.٤	٠.٦	١.٥	١.٢	١.٢٨
الرياح الجنوبية الغربية (٢٢٥°)	٤.٦	٣.٩	٣.٦	٣.٥	١.٨	٠.٧	١.١	١.١	٠.٧	٠.٧	١.٢	٢.٢	٢.١	٢.١٥
الرياح الغربية (٢٧٠°)	٤.٧	٣.٧	٣.٦	٣.١	٢.٠	٠.٩	٢.٠	٢.١	٠.٩	٠.٩	١.١	١.٧	٢.٤	٢.٤٤
الرياح الشمالية الغربية (٣١٥°)	٣١.٧	٣١.٢	٣١.٠	٢٧.٢	٢٩.٣	٣٠.٧	٤٦.٠	٤١.٧	٣٢.١	٢٦.٩	٢٧.١	٢٧.٢	٣١.٨	٣٢.٤٠
سكون الرياح	٢.٤	١.٩	٢.٣	١.٧	١.٠	٠.٨	٠.٩	١.٩	١.٠	١.٣	٢.٢	٣.٤	١.٨	----

المصدر: المعدلات المناخية للمدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م) بيانات غير منشورة، الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية.

ملحق (٢) المتوسط الشهري لسرعة الرياح وعدد الأيام ذات الأحداث المتعلقة بها  
بمنخفض الخارجة خلال المدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م)

الشهر	المتوسط الشهري لسرعة الرياح (م/ث)	المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات الرمال المثارة	المتوسط الشهري لعدد الأيام ذات العواصف الرملية/ الغبارية
يناير	٣.٧	٦.٦	٠.١
فبراير	٣.٦	٧	٠.١
مارس	٤.١	١٠.٧	٠.١
أبريل	٤.٤	١٢.٢	٠.٣
مايو	٤.٦	١١.٢	٠.٤
يونيو	٥.١	١٢.٩	٠
يوليو	٣.٩	٥.٥	٠
أغسطس	٣.٧	٥.٦	٠.٣
سبتمبر	٤.٦	٨.٣	٠.٣
أكتوبر	٤.٣	٨.٨	٠
نوفمبر	٣.٨	٥.٤	٠
ديسمبر	٣.٥	٦.٣	٠.٣
المجموع السنوي	٤.١	١٠٠.٥	١.٩

المصدر: المعدلات المناخية للمدة (١٩٩٠ - ٢٠٢٠م) بيانات غير منشورة، الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية.

ملحق (٣) جانب من العمل الميداني لقياس أبعاد وخصائص وحركة الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة باستخدام تقنيات القياس والرصد المختلفة (اليديوية والآلية)



المصدر: الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة (٢٠١٧-٢٠٢٣م).

ملحق (٤) تقديرات معدل حركة الكثبان الرملية بمنخفض الواحات الخارجة بالدراسة الحالية ومقارنتها بالدراسات السابقة لنفس المنطقة

المصدر	معدل حركة الكثبان (م/ سنة)	المدة الزمنية	مصادر الدراسة	المكان
الدراسة الحالية	١١.٦٧ (١٧.٩٢ - ٦.٨٥)	٢٠٢٤ - ٢٠١٤	دراسات حقلية وخرائط صور أقمار صناعية	الواحات الخارجة
Beadnell (1910)*	١٥	١٩٠٨ - ١٩٠٩	دراسات حقلية (١٩٠٨/١٩٠٧)	الواحات الخارجة
Ashri (1973)*	١٢	١٩٧١	صور جوية (١٩٦١/١٩٤٤)	الواحات الخارجة
Embabi (1979)*	١٠٠-٢٠	١٩٧٨	دراسات حقلية (١٩٧١/١٩٧٠)	الواحات الخارجة
Sharaky et al. (2002)*	١٤ - ٠.٥	١٩٩٠	دراسات حقلية	الواحات الخارجة
El Gammal and Cherif, (2006)*	١١.٥	١٩٧٤، ٢٠٠١ - ١٩٨٤	صور أقمار صناعية (١٩٧٤، ١٩٨٤ - ٢٠٠١)	النهاية الجنوبية لغرد أبو المحاريق شمال منخفض الخارجة
Issawi & El-Hinnawi, 1982	٤٠٠٠-٣٠٠٠	١٩٧٢/١٩٥٨	صور جوية - صور أقمار صناعية	الواحات الخارجة
Embabi, 1976- 1977	٢٤.٢-٤.٨	١٩٦١/١٩٣٠	خرائط طبوغرافية	الواحات الخارجة
M.A. Hamdan et al. , 2016,	٩٦.١-١٢.٥	٢٠٠٢/٢٠٠١	دراسات حقلية	الواحات الخارجة

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على القياسات الميدانية وتحليلات نظم المعلومات الجغرافية ونتائج الدراسات السابقة نقلاً عن: \*M.A. Hamdan et al. , 2016, P.59

## المصادر والمراجع

### أولاً: المصادر والمراجع العربية:

- ١- أماني حسين محمد حسن (٢٠٠٣م)، المشكلات البيئية بمنخفض الخارجة دراسة جغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا بكلية الآداب جامعة أسيوط.
- ٢- جودة التركماني (٢٠١١)، أشكال السطح: دراسة في أصول الجيومورفولوجيا، ط٣، دار الثقافة العربية، القاهرة.
- ٣- شحاتة سيد أحمد طلبه (أبريل ٢٠٠٢)، المخاطر المناخية على الزراعة في المدينة المنورة، مجلة العقيق، مج ٢٠، ع ٣٩، ٤٠، ١٠٥ - ١٥٣، المدينة المنورة، السعودية.
- ٤- شربات بشندي عطية (٢٠١٨م)، مشكلات التربة في منخفض الخارجة: دراسة جغرافية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه، كلية الآداب- جامعة القاهرة.
- ٥- طارق محمد أبو الفضل وصفاء محمد مالك، درجة حرارة الهواء والتربة بالوحدات الخارجة - دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام تقنيات الجيوماتكس، مجلة كلية الآداب بقنا، ٢٠٢٣م.
- ٦- محمود عبد الفتاح محمود عبد اللطيف عنبر (٢٠١٥م)، الأخطار المناخية والبيئية في منخفض الواحات البحرية: دراسة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.
- ٧- مسعد سلامة مندور (٢٠٠٥م)، المشكلات المناخية في الواحات البحرية دراسة في المناخ التطبيقي، ندوة التنمية والبيئة في الصحاري المصرية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب جامعة القاهرة.

- ٨- ناصر عبد الستار عبد الهادي، أنماط الأشكال الرملية بقاع منخفض الخارجة: تحليل جيومورفولوجي، مجلة الدراسات الإنسانية والأدبية، كلية الآداب- جامعة كفر الشيخ، مج. ١٩، ع ١٤، يونيو ٢٠١٩م.
- ٩- نبيل سيد إمبابي (١٩٧٧): مشكلات استغلال المياه الجوفية في واحات صحراء مصر الغربية مع الإشارة بوجه خاص إلى الواحات الخارجة والداخلية، مجلة معهد البحوث والدراسات العربية، العدد ٨، القاهرة.
- ١٠- نبيل سيد إمبابي (١٩٧٩): حركة الكثبان الرملية الهلالية وآثرها على العمران والتعمير في منخفض الواحات الخارجة، مجلة بحوث الشرق الأوسط، مركز بحوث الشرق الأوسط، جامعة عين شمس، العدد ٦، القاهرة.
- ١١- نبيل سيد إمبابي ومحمود محمد عاشور، الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر، الجزء الثاني، جامعة قطر، ١٩٨٥.
- ١٢- نورة عبد التواب السيد، خصائص رمال الكثبان الهلالية في منخفض الخارجة (صحراء مصر الغربية): دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية، مجلة قطاع الدراسات الإنسانية، جامعة الأزهر - كلية الدراسات الإنسانية، العدد ٢٣، يونيو ٢٠١٩م.

### ثانياً: المصادر والمراجع غير العربية:

- 1- Ashri, A.H., 1973. The movement of the Sand Dune at Kharga Oasis. Egypt. Journal of Geol. 17, 37-46.
- 2- Bagnold, R.A. 1941: The physics of blown sand and desert dunes, Methuen, London.
- 3- Beadnell, H.J.L., (1909) An Egyptian Oasis of Kharga in the Libyan Desert, Murray, London.
- 4- Beadnell, L., 1910. The sand dunes of the Libyan Desert. Geogr. Journal 35, 379-395.

- 5- Cooke, R.U. & Doornkamp, J.C., 1990, *Geomorphology in Environmental Management*, Oxford University, Oxford.
- 6- El Gammal, E.A., Cherif, O.H., 2006. Use of remote sensing for the study of the hazards of Ghard Abu Muharik Sand Dune Field, Western Desert, Egypt. *The 2nd International Conf. on Water Resources and Arid Environment. NARS, Cairo*, pp. 1–20.
- 7- Embabi, N.S., 1976-1977 Slope form of barchan dunes in Kharga and Dakhla depressions. *Bulletin de la Société de Géographie d'Égypte*, Tome 49–50:13–27
- 8- Embabi, N.S., 1979. Barchan dune movement and its effect on economic development at the Kharga Oasis depression (in Arabic). *Journal of Middle East Research Centre* 11, 141–155.
- 9- Finkel, H.J., 1959. The barchans of southern Peru. *J. Geol.* 67, 614–647.
- 10- Fryberger, S.G., 1979. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. U.S.G.S. Prof. Paper 1052, pp. 137–170.
- 11- Gutiérrez, M., Gutiérrez, F., 2013. Climatic geomorphology. In: Shroder, J. (Editor in Chief), James, L.A., Harden, C.P., Clague, J.J. (Eds.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 13, *Geomorphology of Human Disturbances, Climate Change, and Natural Hazards*.
- 12- Issawi, B.B. & El-Hinnawi, M. (1982): *Kharga Oasis - A case study (western desert - Egypt)*. Impact of some environmental factors on development. *Romatsensing Center. Acad. Sci. Res. and Techn.*, Cairo, Egypt.
- 13- Khalaf, F.I., Al-Ajmi, D., 1993. Aeolian processes and sand encroachment problems in Kuwait. *Geomorph.* 6, 111–134.
- 14- Long, J.T., Sharp, R.P., 1964. Barchan-dune movement in Imperial Valley, California. *Geol. Soc. Am. Bull.* 75, 149–156

- 15- M.A. Hamdan, A.A. Refaat , M. Abdel Wahed (2016) Morphologic characteristics and migration rate assessment of barchan dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt, *Geomorphology*, Elsevier, Vol. 257, P.P. 57–74 .
- 16- McKee, E. D. (1979). A Study of Global Sand Seas. Professional Paper, Reston, VA: US Geological Survey.
- 17- Paver, G.L. & Pretorius, D.A. (1954): Report on hydrology investigations in Kharga and Dakhla Oases. Unpublished report, de L'Institut du Desert d'Egypt, No. 4, Cairo.
- 18- Sauermann, G., Rognon, P., Poliakov, A., Herrmann, H.J., 2000. The shape of the barchan dunes of Southern Morocco. *Geomorph.* 36, 47–62.
- 19- Sharaky, A.M., Labib, T.M., Philip, G., 2002. Sand dune movement and its effect on cultivated lands in Africa: case study: Dakhla Oasis, Western Desert, Egypt. *Land Degradation in Egypt and Africa (23–24 March 2002)*, Cairo University, pp. 1–15.
- 20- Stokes S, Goudie A, Ballard J, Gifford C. Sameih S, Embabi N. El-Rashidi, (1999) Accurate dune displacement and morphometric data using kinematic GPS. *Zeitschrift für Geomorphologie N E. Suppl.-Bd. 116, Aeolian Geomorphology, Papers from the 4th International*

## Geographical assessment of Sand dune encroachment Hazards in El-Kharga Oasis Depression: A study in Climatic geomorphology using Geomatics

### Abstract:

This research addresses the impact of the climate of El Kharga Oasis Depression in general, and wind in particular, on the movement and encroachment of sand dunes. It also aims to establish an index for assessing the Hazards of sand dune encroachment on agricultural lands in the depression using a scientific approach that combines climatic geomorphology and geomatics techniques.

The study includes an analysis of the climatic and geomorphological factors that influence the movement of sand dunes, such as wind speed and direction, and the size and distribution of sand dunes. Geomatics techniques, including Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), and Global Positioning Systems (GPS), were used to monitor and assess the movement of sand dunes and to formulate an index for evaluating exposure levels to the Hazards of dune encroachment.

The results showed that most of agricultural lands in the depression are subjected to varying degrees of sand dune encroachment. The study recommends taking gradual procedures to address this Hazard, such as establishing vegetative barriers and windbreaks, treating and stabilizing dune surfaces, dispersing them, and eventually transporting or removing them. Additionally, the study proposes developing a ready-to-use tool within the GIS environment to apply the proposed index to any area.

In conclusion, this study provides important insights for decision-makers and researchers on how to assess the risk levels of sand dune encroachment, highlighting the beneficial applications of geomatics techniques in geomorphological studies.

### Keywords:

Winde unimodal, Dust storms, Sandstorms, Drift potential, Wind Threshold, Sand Dunes vulnerability Index