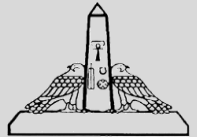


كلية الآداب

حوليات آداب عين شمس المجلد 51 (عدد أكتوبر – ديسمبر 2023)

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

(دورية علمية محكمة)



جامعة عين شمس

تطبيقات التقنيات المكانية (جيوماتكس) في دراسة حركة الكثبان الرملية بمنخفض الخارجة- مصر

محمود محمد عاشور*

أستاذ الجغرافيا الطبيعية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية - كلية الآداب- جامعة عين شمس

معوض بدوي معوض*

أستاذ الجيومورفولوجيا ونظم المعلومات الجغرافية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية - كلية الآداب- جامعة عين شمس

أمير عبد السلام حسين*

باحث دكتوراه بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية - كلية الآداب- جامعة عين شمس

amir.abdelsalam@icloud.com

المستخلص:

تُعد الكثبان الرملية خطرًا جيومورفولوجيا يؤثر على كافة الأنشطة البشرية وخاصة الأنشطة الاقتصادية المتمثلة في تدمير الطرق ومسارات السكك الحديدية والأراضي الزراعية. وتهدف الدراسة الحالية إلى انشاء نموذج نظم معلومات جغرافي للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية في منخفض الخارجة اعتمادًا على بيانات الرفع المساحي الطبوغرافي التفصيلي لعدد أربعة كثبان رملية هلالية النوع والشكل بالإضافة إلى الصور الفضائية المستخرجة من برنامج Google Earth عالية الدقة (0.5 متر). وتناولت الدراسة عملية معايرة وتقييم لدراسة حركة الكثبان الرملية باستخدام الصور الفضائية عالية الدقة مقارنة بالرفع المساحي للكثبان، والتي أوضحت الدراسة أن معامل الثقة بين مخرجات الاسلوبين يبلغ 85%.

واستخدمت الدراسة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء نموذج للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية محل الدراسة اعتمادًا على بيانات الرفع المساحي المتتالي للكثبان الرملية محل الدراسة مع معايرة نتائج النموذج المتوقعة مع نتائج مسحين متتاليين خلال الفترة ما بين 6 فبراير 2018 إلى 6 نوفمبر 2019، علاوة على تطبيق نفس الأسلوب والنموذج على كتيب آخر باستخدام الصور الفضائية عالية الدقة. وانتهت الدراسة إلى أن اجمالي الحركة المتوقعة للكثبان الرملية محل الدراسة تراوح بين 420 – 982 متر عام 2030، وبين 969 – 2278 متر عام 2050، وهو ما يشكل خطرًا على عناصر استخدامات الأرض البشرية المتمثلة في شبكة الطرق وأهمها طريق أسيوط – الخارجة، والمناطق الزراعية والسكنية في منطقة الخارجة والمناطق المحيطة بها.

الكلمات المفتاحية:

حركة الكثبان الرملية، الصحراء الغربية، الخارجة، نظم المعلومات الجغرافية، جيوماتكس

تاريخ الاستلام: 2022/03/01

تاريخ قبول البحث: 2022/04/17

تاريخ النشر: 2023/12/30

مقدمة:

تغطي الصحراء الغربية بمصر ما يقرب من ثلثي مساحة مصر الاجمالية بما يقرب من 681 ألف كم²، ويوضح فحص الخرائط الطبوغرافية مقياس 1:50000 والصور الفضائية من نوع Landsat8 وصور Google Earth، أن الكثبان الرملية تغطي معظم أراضي الصحراء الغربية بما يزيد نسبته عن 36%، ويشغل بحر الرمال العظيم منفردًا نحو 114400 كم² بما يمثل 17% من مساحة الصحراء الغربية والذي يمتد من شمال حافة هضبتي الجلف الكبير وأبو راس جنوبًا إلى الهوامش الجنوبية لمنخفض سيوة شمالًا ومصدر تلك الرواسب هي الصخور الميوسينية التي تتكون منها الأجزاء الشمالية من الصحراء الغربية (Embabi, 2004). وتُعد دراسة بيدنل (Beadnell, 1910) أولى الدراسات لحركة الكثبان الرملية الهلالية في منخفض الخارجة، حيث قام بدراسة 5 كثبان هلالية الشكل متباينة في الحجم والموقع داخل المنخفض باستخدام القياسات الحقلية، وأوضحت الدراسة أن معدل حركة تلك الكثبان يتراوح بين 10.8 – 18.78 متر خلال الفترة الممتدة بين 29 يونيو 1907 و8 يوليو 1908، حيث بلغ متوسط الحركة للكثبان الخمس 15 متر / سنة. وانتهت الدراسة إلى وجود علاقة ارتباط عكسية قوية بين حجم الكثيب ومعدل الحركة، ووضع بيدنل قاعدة مفادها أن "الكثبان الصغيرة تتحرك بمعدل أكبر من الكثبان كبيرة الحجم"، ووجد بيدنل أن الكثبان الهلالية تبدأ في الحركة عند سرعة رياح تبلغ (13 ميل أو 20.8 كم / ساعة) أو ما يعادل 11 عقدة. وانتهت الدراسة إلى أن معدل حركة الكثبان الهلالية يبلغ أقصاه خلال الفترة الممتدة بين أشهر أغسطس وحتى أكتوبر من السنة، وذلك نتيجة لأن تلك الأشهر شهدت فترات طويلة من العواصف الرملية التي تأتي من الشمال. وذلك بعد دراسة سرعة الرياح وحركة الكثبان الشهرية. وانتهت بعد الدراسات الأخرى إلى نتائج مشابهة، وهي أن سرعة الرياح المؤثرة في حركة الرواسب الرملية الكوارتزيتية ذات الحجم المتوسط (0.3 مم) هي سرعة 12 عقدة (Fryberger, 1979).

وتشير دراسة (Embabi, 1979) إلى حركة الكثبان الرملية في منخفض الخارجة خلال الفترة الممتدة بين 20 فبراير 1971 و24 فبراير 1972 باستخدام القياسات الحقلية لعدد 25 كثيبًا مختلفة في الموقع والحجم، بمعدل دراسة كل 3 أشهر. وتراوحت ارتفاعات الكثبان محل الدراسة بين 0.8 – 15.25 متر، وتراوح معدل الحركة بين 20.8 – 100 متر بمتوسط 48.3 متر. وهو معدل حركة أكبر من المعدل الذي انتهى إليه (Beadnell, 1910)، وذلك لأن دراسة امبابي 1979 شملت عدد 15 كثيبًا صغير الحجم بارتفاع أقل من 4 متر، بينما اقتصرت دراسة بيدنل على 5 كثبان متباينة الحجم والموقع. وانتهت الدراسة إلى وجود علاقة عكسية قوية بين حجم الكثيب ومعدل الحركة، ولكنها علاقة غير خطية. وانتهت الدراسة أيضًا إلى أن العوامل المؤثرة في حركة الكثبان الهلالية في منخفض الخارجة تشمل كل من المسافة ومدى استواء السطح، ومتوسط زاوية انحدار جانب الكثيب المواجه للرياح، بالإضافة إلى سرعة الرياح. علاوة على دراسة (Embabi, 1986-1978) إلى حركة الكثبان الرملية في منخفضي الخارجة والداخلية، خلال الفترة الممتدة بين 1930 – 1961 من خلال تحليل الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:25000. حيث قام بقياس ابعاد 50 كثيب هلالى الشكل. وتراوح معدل الحركة للكثبان الرملية في الخارجة بين 4.8 متر – 24 متر بمتوسط 9 متر.

وأوضحت الدراسة أن التغيرات الموسمية في قوة وسرعة الرياح، أثرت على معدل حركة الكثبان، وانتهت الدراسة إلى أن معدل حركة الكثبان الرملية بلغ أقصاه خلال أشهر الصيف والخريف، وهو ما يتفق مع دراسة (Beadnell 1910). وتناولت دراسة Stokes وآخرون (1999) حركة الكثبان الرملية في الخارجة لعدد 20 كتيب هلالى الشكل من خلال تحليل الخرائط الطبوغرافية بمقياس 1:25000 للفترة 1931 - 1961، علاوة على استخدام الأجهزة المساحية من نوع "جهاز تحديد المواقع العالمي الحركي Kinematic Global Positioning System KGPS" خلال عام 1997 - شكل (3-1)، وهي الدراسة الأقرب إلى أسلوب الدراسة الحالية باستخدام الأجهزة المساحية "جهاز المحطة الشاملة Total Station". وأوضحت الدراسة أن هناك بعض التغيرات في معدلات الحركة لكل كتيب على حدة، ووجود علاقة عكسية بين سرعة الكتيب وحجمه. ويوضح الشكل أن معدل حركة الكثبان خلال فترة الدراسة 1930-1997 تراوحت بين 5.8 متر - 10.29 متر / سنة بين الكثبان الكبيرة وصغيرة الحجم.

وسوف تتناول الدراسة بالتحليل حركة الكثبان الرملية الهلالية بمنخفض الخارجة وتطبيق أسلوب الرفع المساحي لعدد أربعة كتبان هلالية مختلفة الحجم والابعاد كنموذج للصحراء الغربية، مع تطبيق نموذج التنبؤ بالحركة المستخرج من الدراسة على منطقة غرب المنيا بعد معايرة النموذج المنتج مع بيانات الرفع المساحي والصور الفضائية، وذلك ليتمكن تعميمه في دراسات حركة الكثبان الرملية المتوقعة في مناطق التنمية المختلفة بالصحراء الغربية وما قد تمثله من أداة لمعاونة متخذي القرار في تحديد مخططات التنمية.

أولاً: طريقة الدراسة.

اعتمدت الدراسة على العديد من التقنيات الحديثة التي من شأنها متابعة حركة الكثبان الرملية في الصحراء الغربية، وتمثل تلك التقنيات في التالي:

1- تقنيات الاستشعار عن بعد

اعتمدت الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بعد من خلال تحليل صور جوجل إيرث Google Earth Pro لمتابعة الحركة ومعدلاتها لما تتميز به من دقة مكانية مرتفعة تصل إلى 0.5 متر، وهو ما يتيح التعرف الدقيق على حدود الكتيب وحساب معدلات الحركة له على فترات زمنية مختلفة ما بين يوليو 2103، ومايو 2019.

2- تقنيات نظم المعلومات الجغرافية

اعتمدت الدراسة على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في بناء نظام معلومات جغرافي متكامل عن حركة الكثبان الرملية بالصحراء الغربية؛ يتضمن إنشاء قاعدة بيانات جغرافية متكاملة تضم بيانات مكانية عن مواقع الكثبان الرملية الهلالية 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 نموذج رياضي prognostic model لتقدير معدلات الحركة وكميات الرمال المتراكمة والتنبؤ المستقبلي بمعدلات الحركة والمناطق المتأثرة من حركة الكثبان في المستقبل وفقاً لمعدلات الحركة الفعلية.

3- الرصد الميداني

اعتمدت الدراسة على أسلوب الرفع المساحي التفصيلي لعدد 4 كثبان رملية هلالية بمنخفض الخارجة تتباين أعمارها وأبعادها الهندسية لتمثل كافة مراحل نمو الكثبان الهلالية للتمكن من حساب معدلات الحركة وفقاً للمراحل العمرية المختلفة لها، وذلك باستخدام أجهزة الرصد المساحي المختلفة بتثبيت روبيرات ونقاط ثابتة معلومة الإحداثيات وعمل رفع مساحي تفصيلي طبوغرافي. وذلك لمتابعة معدلات الحركة والتغير وتقدير كميات الرمال المتحركة والمتراكمة في منطقة الدراسة. وتم اختيار يوم الثلاثاء الموافق 6 فبراير 2018 لأجراء الزيارة الميدانية والرفع المساحي في منطقة الخارجة، لتتوافق مع توقيت تصوير القمر الصناعي لاندسات 8 الذي يقوم بتصوير المنطقة كل 16 يوماً.

وتم استخدام جهاز Total station من نوع Topcon بدقة قياس تصل إلى 1 ملم، وذلك للقيام بعملية الرفع المساحي الطبوغرافي التفصيلي للكثبان الرملية الهلالية الأربعة في المنطقة، ويكون ذلك الرفع المساحي كمرجع للرفع المساحي التالي لدراسة التغير في حجم الرمال المتراكمة على الكثبان ومعدلات الحركة. وتم أخذ عينات رملية من قمة الكتيب والواجهة ظهر الكتيب لتحليلها.

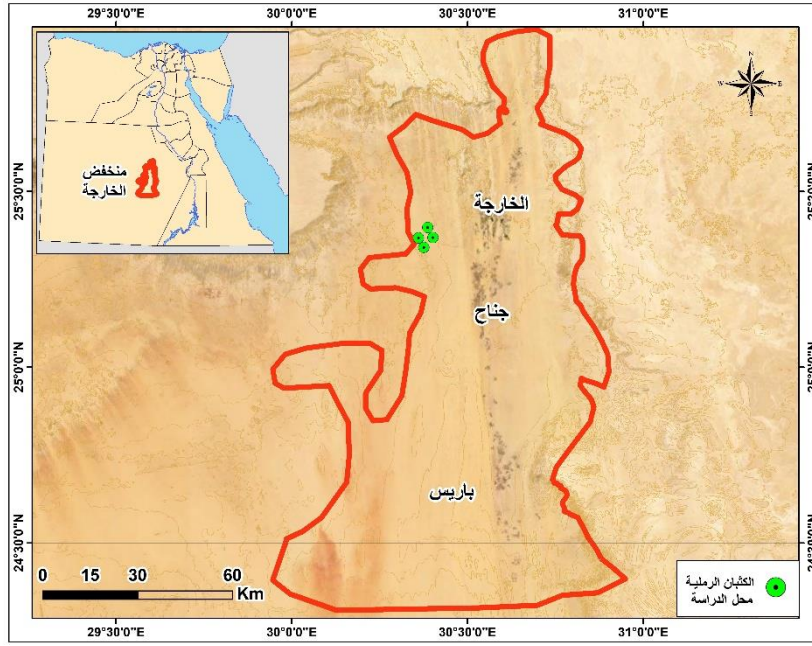
وتهدف الدراسة الميدانية إلى متابعة تغيرات بعض الظواهرات من خلال عملية الرصد المتكرر للظاهرة في أكثر من دراسة ميدانية. ورصد العديد من أوجه الأخطار الجيومورفولوجية المتمثلة في زحف الكثبان الرملية على الأراضي الزراعية والطرق والمناطق المأهولة بالسكان، وقياس قطاعات الكثبان الرملية ميدانياً.

ثانياً: الخصائص الجغرافية العامة لمنخفض الخارجة.

1- الخصائص الطبيعية.

يمتد منخفض الخارجة بين دائرتي عرض 24، 26 درجة شمالاً، وخطي طول 29 درجة و55 دقيقة، و30 درجة و58 دقيقة شرقاً، وتبلغ مساحة المنخفض 12250 كم²، ومنسوب أدنى نقطة 2 متر، ومنسوب أعلى نقطة 471 متر، ويبلغ عمق المنخفض عن الهضبة المجاورة 470 متر (الخريطة الطبوغرافية للخارجة 1 : 50000). ويمكن وصف منخفض الخارجة بأنه منخفض طولي ضيق، يبلغ أقصى طول له من الشمال إلى الجنوب ما يقرب من 185 كم، ويبلغ أقصى عرض له 101 كم، ولا تزيد مساحة الأراضي الزراعية في المنخفض عن 1% من جملة مساحته - شكل (1).

وتستمد الواحات الخارجة مواردها المائية من خلال مجموعة من الآبار التي تستمد مياهها عن طريق طبقتين متشبعتين بالمياه الجوفية وتتكون من صخور الحجر الرملي النوبي الحاملة للمياه. والتي يتفق كل من Zittel & Bull، على أن تلك الطبقة الحاملة للمياه تستمد مياهها من الأمطار التي تتساقط على المناطق المدارية المرتفعة الواقعة بالقرب من حوض بحيرة تشاد. ويرجح كل من (كيتون وطومبسون وجاردنر) (Caton et al, 1932) أن سُمك طبقة الحجر الرملي النوبي يبلغ حوالي 130 متر.



شكل (1) منخفض الخارجة

2- الخصائص البشرية

تمتد مراكز العمران على طول طريق درب الأربعين القديم بالمنخفض وتتركز حيثما وجدت المياه. وتعد مدينة الخارجة أكبر هذه المراكز العمرانية التي يتواجد حولها عدد كبير من الآبار ومعظمها من النوع الضحل، أبرزها عين الطويل والتي تقع شرقي المدينة، وعين ختافيش في جنوبها الغربي. وتتمثل مراكز العمران الأخرى في قرية جناح والتي تقع على بُعد 11.5 كم جنوب غربي مدينة الخارجة، إضافة إلى قرية بولاق والتي تبعد عن الخارجة حوالي 25 كم، وتتراكم الرمال في غربها بشكل كبير. وتقع قرية المحاريق إلى الشمال من مدينة الخارجة بحوالي 25 كم، بينما تشمل القرى الجنوبية عدد من القرى أهمها قرية باريس وهي أكبر قرى الخارجة في عدد السكان بعد مدينة الخارجة ويليهما قرية بولاق. وتبعد قرية باريس عن الخارجة حوالي 85 كم وعلى منسوب 76 متر فوق سطح البحر. ويُعد بئر عين الحوش وعين أنفالا أهم موارد المياه للقرية.

ثالثاً: التوزيع الجغرافي للكثبان الرملية في الخارجة

تسود الكثبان الهلالية البسيطة والمركبة في منخفض الخارجة. حيث تنتظم الكثبان الهلالية على هيئة نطاقات طولية موازية للمحور الطولي (الشمالي - الجنوبي) لمنخفض الخارجة، وبعضها في شكل كثبان منفردة أو منعزلة في أغلب المناطق. ويعتمد هذا التوزيع على عدم انتظام شكل السطح وتوزيع الغطاء النباتي، ويتراوح ارتفاع هذه الكثبان بين 10 - 20 متر (نبيل امبابي، 1985). وتتركز الكثبان الرملية في منطقة الخارجة في الأجزاء الشرقية والوسطى من المنخفض وعلى الهضبة الشمالية.

وتشكل رواسب الرمال في قاع المنخفض نمطاً من الخطوط الرملية المتقطعة المتقاربة من الشمال إلى الجنوب والتي تتكون إلى حد كبير من الكثبان الرملية. حيث تتدفق الرمال من كثيب غارد أبو محرك على الهضبة الشمالية إلى المنخفض،

وتتوجه في شكل خطوط منفصلة على طول المنحدر (Bagnold, 1941; Gifford et al., 1979; Embabi, 1982).

وبما أن الرياح تأتي إلى داخل المنخفض باستمرار من الشمال، فإن كثبان الخارجة تتجه جنوباً.

تظهر الكثبان الهلالية على طول الجانب الغربي من غرد أبو محرك - شكل (2)، وتزداد عدداً وكثافة في اتجاه منصرف الريح تدريجياً وصولاً إلى الهوامش الجنوبية للغرد، حيث تختفي الكثبان الطولية عند دائرة عرض 26 30 درجة شمالاً. وتتميز الكثبان الهلالية بأنها تتوزع على شكل سلاسل متوازية، وتضم كثباناً صغيرة وكبيرة الحجم. وتشير الخصائص المورفولوجية إلى أن هاتين المجموعتين تمثلان أجيال مختلفة من الكثبان الهلالية. حيث تظهر سلاسل من الكثبان الهلالية كبيرة الحجم التي تتراوح فيها المسافة بين قرني الكثيب ما بين 0.5-1 كم، والتي تُعد أقدم من الكثبان الهلالية الصغيرة والتي يتراوح عرضها بين 100-250 م.

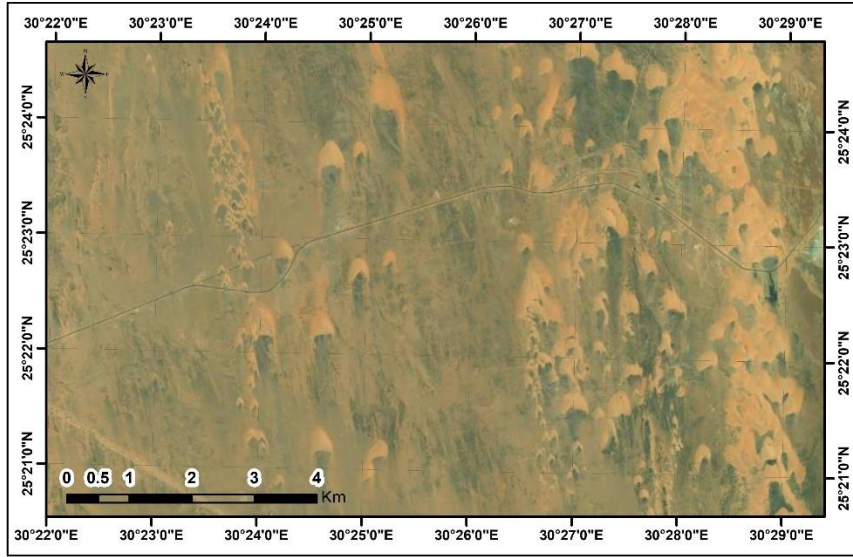
ومن دراسة الخرائط الطبوغرافية والصور الفضائية يلاحظ أن هناك نمطين رئيسيين لتوزيع الكثبان الرملية في منطقة الخارجة. أحدهما نمط متجمع ومتداخل، وهو النمط السائد في منطقة الكثبان الهلالية المتاخمة الشرقية المتاخمة للهوامش الغربية للخارجة. بينما النمط الأقل انتشاراً وهو النمط المنعزل أو الكثبان الهلالية المنفردة، وهو النمط السائد في النطاق الغربي لمنطقة الكثبان الهلالية. وبوجه عام، يلاحظ أن الكثبان الرملية الهلالية تأخذ النمط المنعزل أو المنفرد بالاتجاه جنوباً وتأخذ النمط المتجمع والمتداخل بالاتجاه نحو الشمال.

رابعاً: الخصائص المورفولوجية للكثبان الرملية في الخارجة.

من خلال الدراسة الميدانية لمنخفض الخارجة والرفع المساحي لعدد 4 كثبان هلالية الشكل متباينة الحجم، خلال الفترة من فبراير 2018 - نوفمبر 2019 باستخدام الأجهزة المساحية "المحطة الشاملة Total Station" - أشكال (3)، (4، 5)، ومن خلال جدول (1) وجد أن الكثبان الرملية محل الدراسة تتباين في ارتفاعها ما بين (2 - 11 متر)، وتراوح طولها بين (30.7 - 122.4 متر)، ويتراوح عرضها بين (40.3 - 103.3 متر). وتبعاً للمرحلة العمرية، فإن الكثيبين رقم (1، 3) يعتبران في مرحلة النضج Maturity وذلك وفقاً لخصائص كل منهما من حيث الارتفاع والطول والعرض. ويعد الكثيب رقم (2) في مرحلة الشباب المتأخر Late Youth، والكثيب رقم (4) الذي تحول من المرحلة الأولية Initial إلى مرحلة الشباب المبكر Early Youth وذلك خلال الفترة من أكتوبر 2018 إلى نوفمبر 2019، أي خلال 13 شهراً فقط.

ويشير جدول (1) إلى التغير في مساحة وحجم الرمال للكثبان الرملية محل الدراسة، ومنه يلاحظ أن بعض الكثبان تعرضت مساحتها للتناقص وهما الكثيب رقم (1، 2) حيث انخفضت مساحة الكثيب رقم (1) ما بين 21 إلى حوالي 19 ألف متر² ما بين مسحين فبراير وأكتوبر 2018 أي خلال 8 أشهر، وبمعدل تناقص -271 متر² / شهر، وما لبث أن تزايدت مساحته في المسح التالي في نوفمبر 2019 ليزيد عن 23 ألف متر² خلال 13 شهراً، وبمعدل زيادة 327 متر² / شهر، وبلغ المعدل العام لزيادة المساحة خلال فترة الدراسة من فبراير 2018 إلى نوفمبر 2019 ما يقرب من 99 متر² / شهر. وانخفضت مساحة الكثيب رقم (2) ما بين 2000 متر² في أكتوبر 2018 إلى 1877 متر² في نوفمبر 2019،

وبمعدل تناقص -9.5 متر²/شهر. ويلاحظ من جدول (1) أن الكثيبين (3، و4) زادت مساحتهما خلال فترة الدراسة، حيث سجلا معدل زيادة 15.6، و33 متر²/شهر للكثيبين على التوالي.



شكل (2) الكثبان الهلالية غرب الخارجة

المصدر: Google Earth, 2019

وشهدت الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة تغيرًا وزيادة في حجم الرمال خلال فترة الدراسة ما بين فبراير 2018 إلى نوفمبر 2019، حيث بلغ حجم زيادة الرمال (7090، 1964، 310 متر³/شهر) للكثبان 1، (2 و3)، 4 على الترتيب للفترة من أكتوبر 2018 إلى نوفمبر 2019. وبلغ حجم زيادة الرمال العام للكثيب رقم (1) 3913 متر³/شهر للفترة من فبراير 2018 إلى نوفمبر 2019، وتعرض الكثيب لانخفاض في حجم الرمال خلال الفترة من فبراير إلى أكتوبر 2018 وبلغت كمية الانخفاض-1250 متر³/شهر.

1- أطوال قرون الكثبان

يبلغ متوسط أطوال قرون الكثبان ككل 20 متر. ويبلغ متوسط أطوال القرون الغربية والشرقية للكثبان 38 و48.6 متر على التوالي وذلك من خلال الدراسة الميدانية في الرفع المساحي ليوم 6 أكتوبر 2018. ويرتبط ذلك إلى حد كبير بزوايا التقاء الرياح السائدة بالكثبان ونمط توزيع الكثبان، حيث إنه غالباً ما تلتحم الأذرع الشرقية بالكثبان التالية في حين تجد الأذرع الغربية حيز مكاني تستطيل فيه.

2- التباعد ما بين قرون الكثبان

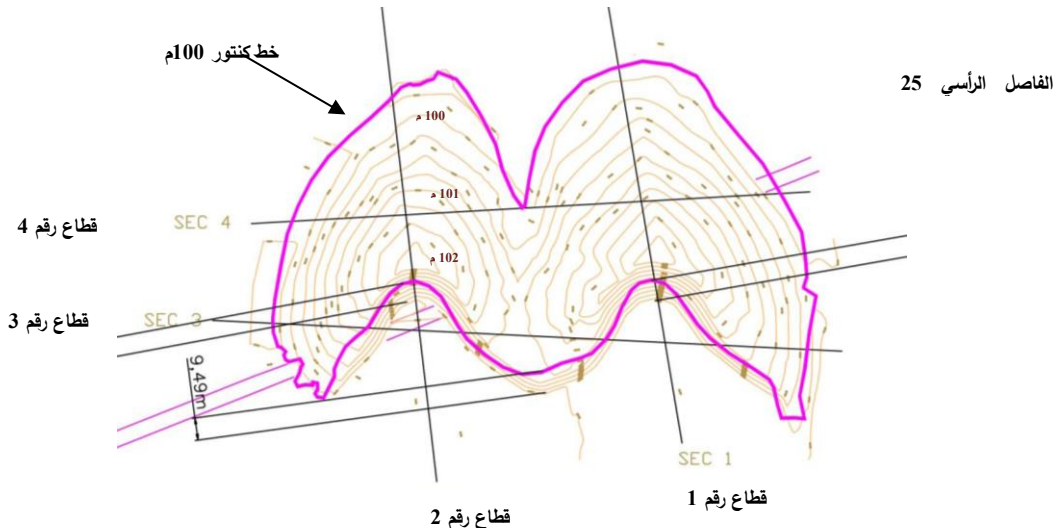
يتراوح مقدار التباعد ما بين أطراف قرون الكثبان الهلالية في منخفض الخارجة بين (25 - 160 متر).

جدول (1) تطور الخصائص المساحية للكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة للفترة فبرابر 2018 - نوفمبر

2019

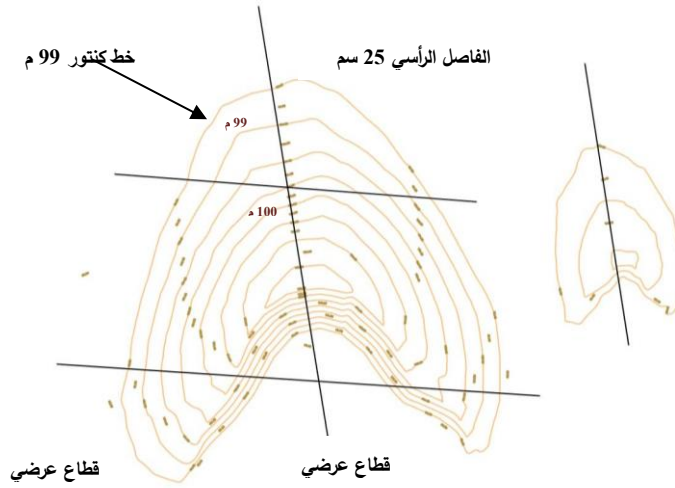
تاريخ المسح				
كثيب رقم 4	كثيب رقم 3	كثيب رقم 2	كثيب رقم 1 (الجزء الغربي)	كثيب رقم 1 (الجزء الشرقي)
-	-	-	21242	
920	8917	2000	19077	
1351	9120	1877	23328	
-	-	-	9.5	11
2	8.25	2.25	9.25	9.75
2.2	8.4	2.8	9.9	10.6
-	-	-	96.3	119.5
30.7	118	40.2	100.3	121.6
33.4	122.1	42.4	106.6	122.4
-	-	-	90.1	92.7
46.2	72.7	40.3	97.1	103
44.7	78.4	44.1	85	103.3
-	-	-	88	108.7
0	92.4	31.3	99	107
0	91.8	27.8	99.5	101.5
-	-	-	89000	
822	26500		79000	
4848	45913	6118	171168	
-	-	-	Maturity	Maturity
Initial	Maturity	Late youth	Maturity	Maturity
Early Youth	Maturity	Late youth	Maturity	Maturity

* المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.

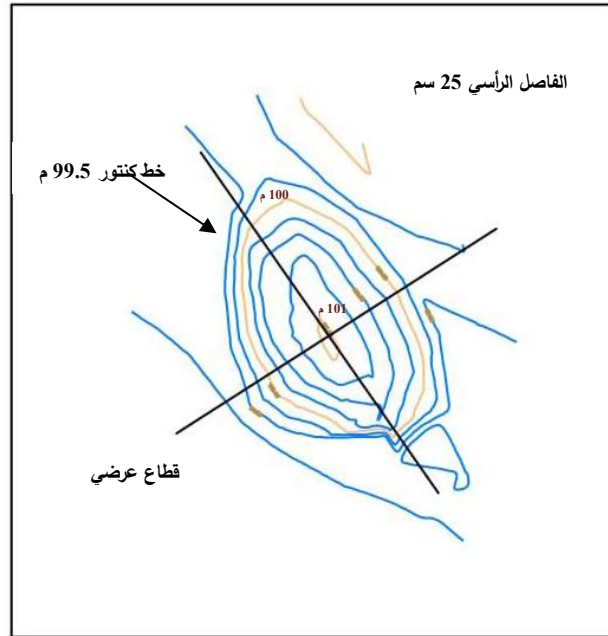


شكل (3) الخصائص المساحية لكثيبين هلاليين متلاحمين رقم 1 بمنخفض الخارجة

المصدر: الدراسة الميدانية عام 2018.



شكل (4) الخصائص المساحية للكثيبين الهلاليين أرقام 2، 3 بمنخفض الخارجة
المصدر: الدراسة الميدانية عام 2018.



شكل (5) الخصائص المساحية للكثيب رقم 4 بمنخفض الخارجة
المصدر: الدراسة الميدانية عام 2018

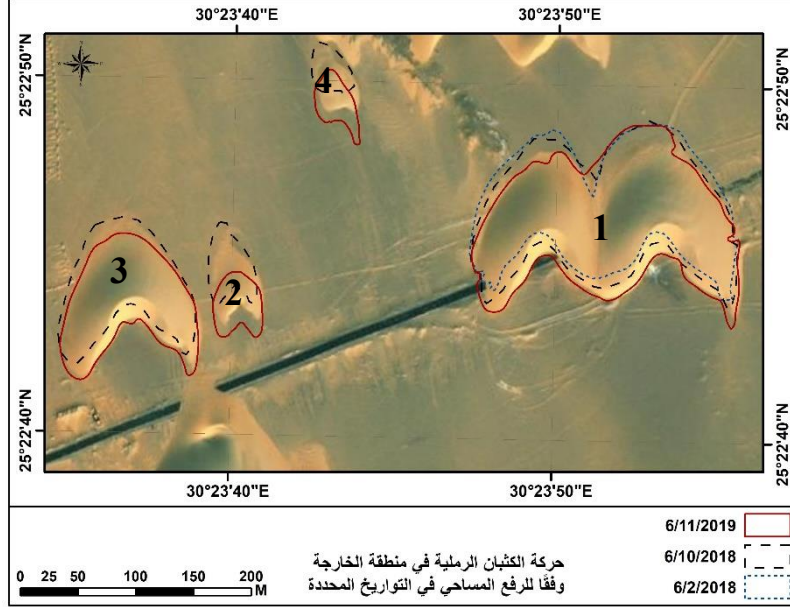
3- الارتفاع

يتراوح ارتفاع الكثبان في منخفض الخارجة بين (0.9 – 15.2 متر). ويستدل من قيم ارتفاعات الكثبان بالإضافة إلى الأبعاد السابقة على ضخامة الكثبان وهي سمة مميزة لكثبان الخارجة (نبيل امبابي، 1985).

خامساً: حركة الكثبان الرملية في الخارجة.

اعتمدت عملية حساب معدلات حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة على الدراسة الميدانية التي تمت خلال ثلاث توقيتات مختلفة (جدول 2)، لعدد 4 كثبان رملية هلالية الشكل ذات أحجام مختلفة (شكل 6). وقد وقع الاختيار على تلك الكثبان الأربعة لتكون ممثلة لجميع مراحل دورة حياة الكثبان الهلالية. واعتمدت الدراسة على المساحة الأرضية للكثبان

محل الدراسة باستخدام جهاز المحطة الشاملة Total station للقيام بعملية الرفع المساحي الطبوغرافي التفصيلي، وذلك على مدى فترات الدراسة الميدانية الثلاث، للخروج بمعدلات دقيقة لحركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة على مدى إحدى وعشرون شهرًا خلال الفترة من فبراير 2018 إلى نوفمبر 2019.



شكل (6) حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة

المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.

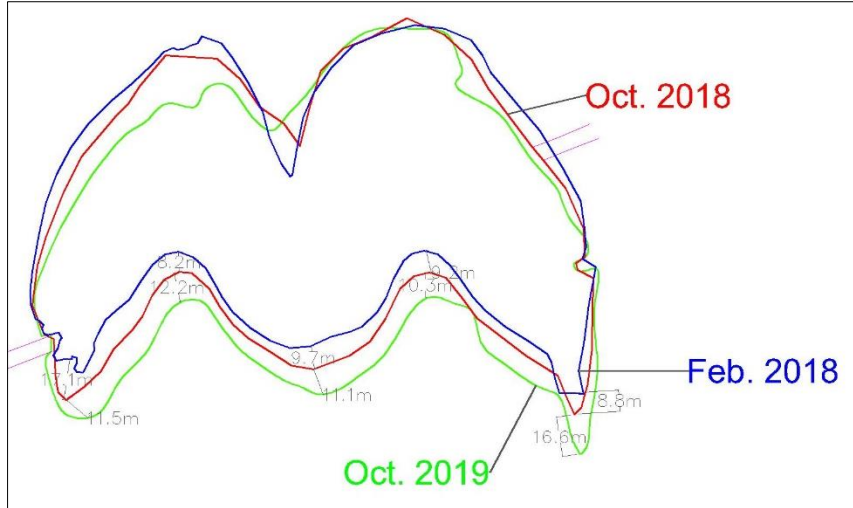
يشير جدول (2) والأشكال (7، 8، 9) إلى معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة، ومن خلالهما يتضح أن معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة تراوحت بين (0.9 – 2.5 متر / شهر) والتي اختلفت ما بين الكثبان كبيرة وصغيرة الحجم، وكذلك بين أجزاء الكثيب الواحد للفترة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019. حيث يلاحظ أن الكثبان كبيرة الحجم (1، و3) سجلت أقل معدلات للحركة 1، و1.3 متر/شهر للفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019 على الترتيب، وهو ما يرجع إلى كبر حجم الكثيب وما يحتويه من رمال تعمل على ببطء معدلات الحركة كما يتضح من خلال جدول (1)، حيث بلغت مساحة الكثيب رقم (1) ما يقرب من 23 ألف متر² وبلغ إجمالي حجم الرمال ما يقرب من 171 ألف متر³، بينما بلغت مساحة الكثيب رقم (3) ما يقرب من 9000 متر² وبلغ إجمالي حجم الرمال ما يقرب من 46 ألف متر³. بينما سجلت الكثبان الصغيرة (2، و4) أعلى معدلات للحركة (2.3، و2.5 متر/شهر) للفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019 على الترتيب، وهي الكثبان التي بلغت مساحاتها ما يقرب من 1877، و1351 متر²، وبلغ حجم الرمال ما يقرب من 6118، و4848 متر³ للكثيبين على الترتيب.

جدول (2) معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة للفترة فبراير 2018 - نوفمبر 2019

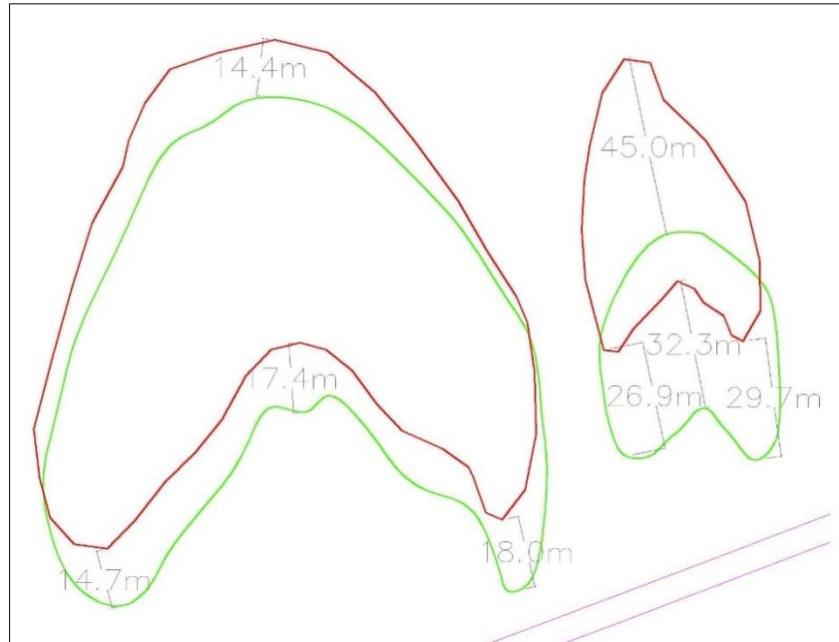
تاريخ المسح		كثيب رقم 1 (الجزء الشرقي)	كثيب رقم 1 (الجزء الغربي)	كثيب رقم 2	كثيب رقم 3	كثيب رقم 4
2018/10 - 2018/02	8.7	10.9	-	-	-	-
2019/11 - 2018/10	16.6	12	29.7	18	44	44
اجمالي الفترة 2018/02 - 2019/11	25.3	22.9	29.7	18	44	44
2018/10 - 2018/02	10.9	12.5	-	-	-	-
2019/11 - 2018/10	12	9	26.9	14.7	31.4	31.4
اجمالي الفترة 2018/02 - 2019/11	22	21.5	26.9	14.7	31.4	31.4
2018/10 - 2018/02	9.19	8.5	-	-	-	-
2019/11 - 2018/10	10.6	12.4	32.3	17.4	26.3	26.3
اجمالي الفترة 2018/02 - 2019/11	19.8	20.9	32.3	17.4	26.3	26.3
2018/10 - 2018/02	1.20	1.33	-	-	-	-
2019/11 - 2018/10	1.0	0.9	2.3	1.3	2.6	2.6
اجمالي الفترة 2018/02 - 2019/11	1.1	1.09	2.3	1.3	2.6	2.6

* المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.

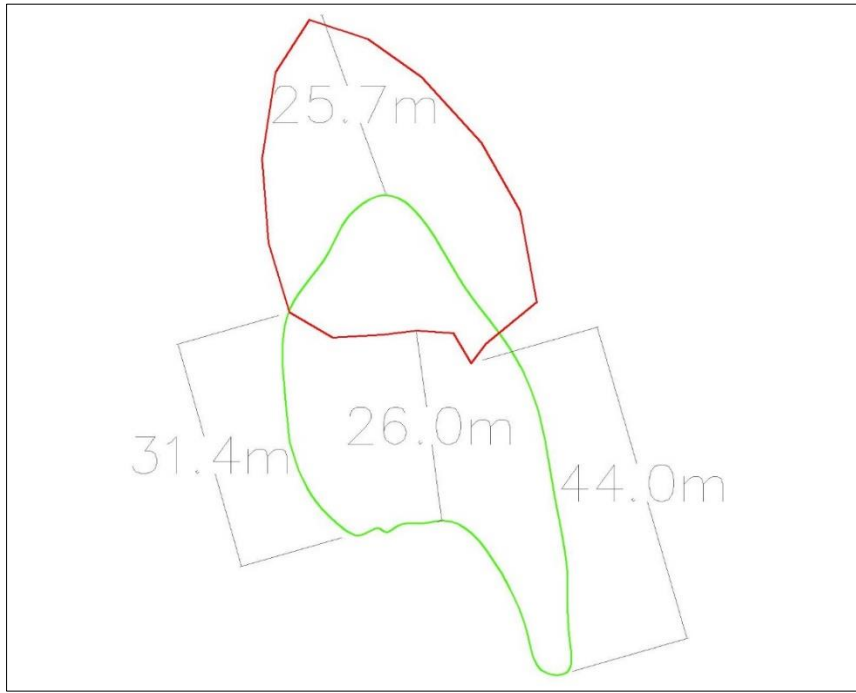
وتباينت معدلات الحركة على مستوى أجزاء الكثيب الواحد، حيث سجلت مناطق القرن الشرقي للكثبان أعلى معدلات الحركة والتي بلغت (16.6، 29.7، 18، 44 متر) للكثبان (1، 2، 3، 4) على الترتيب للفترة من أكتوبر 2018 - نوفمبر 2019. يليها مناطق باطن الكثيب والتي سجلت (12.4، 32.3، 17.4، 26.3) للكثبان محل الدراسة على الترتيب. وكانت مناطق القرن الغربي للكثيب سجلت أدنى معدلات الحركة بين أجزاء الكثيب الواحد والتي بلغت (9، 26.9، 14.7، 31.4) للكثبان محل الدراسة على الترتيب. ويستثنى من ذلك منطقة القرن الغربي للكثيب رقم (4) والتي سجلت معدل للحركة أعلى من منطقة باطن الكثيب، وهو ما يمكن ارجاعه إلى أن الكثيب المذكور كان قد تحول بين مرحلتى Initial و Early Youth والتي تشهدت عملية نمو مناطق قرون الكثبان الهلالية حتى تأخذ الشكل النموذجي فتزيد معدلات نمو منطقة قرون الكثيب وحركتها عن منطقة باطن الكثيب في تلك المرحلة من عمر الكثبان الهلالية.



شكل (7) معدل حركة الكثيب رقم (1) خلال الفترة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019



شكل (8) معدل حركة الكثيبين رقم (2، و3) خلال الفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019



شكل (9) معدل حركة الكثيب رقم (4) خلال الفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019

* المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.

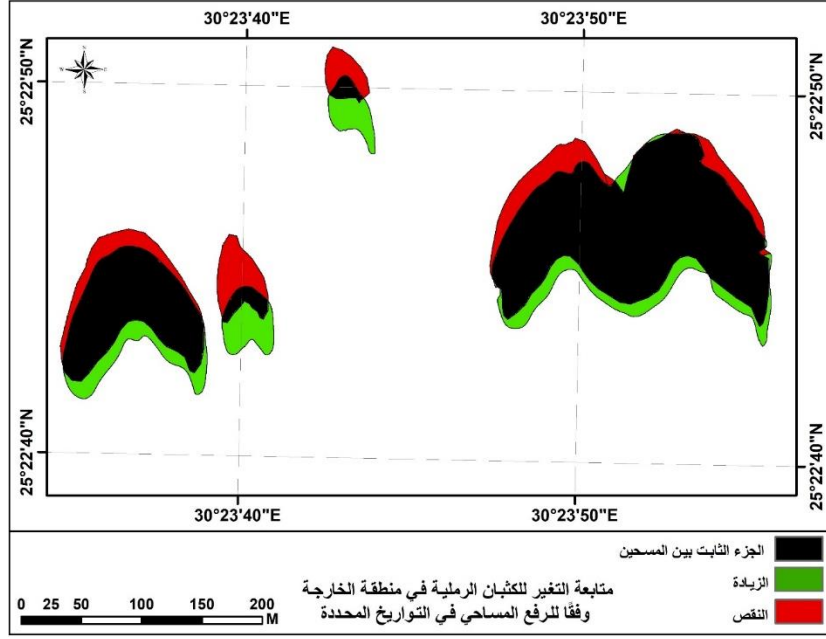
ويشير شكل (10) إلى عملية متابعة التغير Change Detection للكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة وحجم الزيادة والنقص الذي حدث في أبعاد الكثبان خلال فترة الدراسة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019 وفقاً لبيانات الرفع المساحي. ويلاحظ منهما أن إجمالي المساحة المنتقصة من الكثبان الرملية محل الدراسة نتيجة الحركة خلال الفترة المذكورة بلغت 8312 متر²، بينما بلغ إجمالي المساحة المكتسبة للكثبان محل الدراسة الناتجة عن الحركة خلال الفترة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019 حوالي 6824 متر². وهو ما يمكن تفسيره بأن الكثبان الرملية الهلالية محل الدراسة في منطقة الخارجة تزداد مساحتها وتزداد معدلات نموها أثناء حركتها الدائمة والمستمرة. وبلغت مساحة الأجزاء الثابتة في أجسام الكثبان الرملية محل الدراسة والتي لم ينالها نصيب من الحركة ما يقرب من 28786 متر²، وتناسبت مساحة تلك الأجزاء الثابتة من أجسام الكثبان طردياً مع حجمها، وهو ما يظهر من جدول (3).

جدول (3) معدلات التغير في حجم الكثبان الرملية بالمتر² محل الدراسة في منطقة الخارجة للفترة فبراير 2018 –

نوفمبر 2019

رقم الكثيب	الزيادة	النقصان	الثبات
كثيب رقم 1	2776	4525	20525
كثيب رقم 2	1299	1422	560
كثيب رقم 3	1734	1531	7365
كثيب رقم 4	1014	835	336

* المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.



شكل (10) متابعة التغير والاجزاء الثابتة للكثبان الرملية محل الدراسة خلال الفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019
* المصدر: الدراسة الميدانية أعوام 2018، و2019.

ويشير جدول (4) وشكل (11) إلى معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة اعتماداً على قياسات من المرئيات والصور الفضائية من خلال برنامج Google Earth Pro خلال الفترة من يوليو 2013 – مايو 2019، وذلك لأنه يتيح صور فضائية بدقة تصل إلى 0.5 متر للخلفية الواحدة. ومن خلاله يتضح أن معدلات الحركة تراوحت بين (1.2 – 3 متر/شهر) وذلك للكثبان محل الدراسة للفترة من فبراير 2017 – مايو 2019 وهي الفترة الأقرب لفترة الدراسة الميدانية ويتاح لها صور على برنامج Google Earth. واختلفت تلك المعدلات بين الكثبان من حيث حجمها ومساحتها، حيث سجل الكتيب رقم (1) بجزئيه الشرقي والغربي – وهو أكبر الكثبان الرملية محل الدراسة حجماً ومساحةً - معدلات حركة بلغت (1.2 متر/شهر) خلال الفترة من فبراير 2017 – مايو 2019. بينما سجل الكتيب رقم (2) معدل حركة بلغ (3 متر/شهر) خلال الفترة نفسها، وهو ما يرجع إلى صغر حجم الكتيب ومساحته.

وتقاربت معدلات الحركة على مستوى أجزاء الكتيب الواحد عند متابعة الحركة من خلال صور Google Earth، حيث سجلت مناطق القرن الشرقي للكثبان أعلى معدلات الحركة والتي بلغت (40.8، 80.8، 36.3 متر) للكثبان (1، 2، 3) على الترتيب للفترة من فبراير 2017 – مايو 2019. يليها مناطق باطن الكتيب والتي سجلت (28.5، 81.7، 34.6) للكثبان (1، 2، 3) على الترتيب. وكانت مناطق القرن الغربي للكتيب سجلت أدنى معدلات الحركة بين أجزاء الكتيب الواحد والتي بلغت (31.4، 81.6، 36.2) للكثبان (1، 2، 3) على الترتيب، وعلى ذلك يلاحظ أن منطقة القرن الغربي للكتيب رقم 2 سجلت اجمالي حركة أكبر من منطقة باطن الكتيب بمعدلات طفيفة وهو ما يرجع إلى أن الكتيب في مرحلة الشباب المتأخر ويتسم بسرعة الحركة مع اكتمال النمو لباقي أجزاء الكتيب.

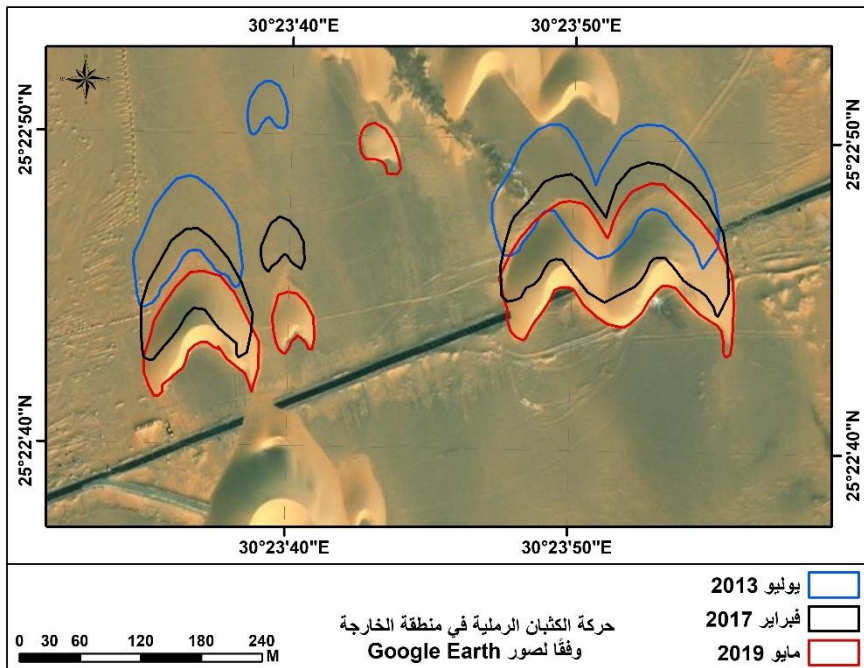
وبمقارنة معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة والتي تم استخراجها من خلال بيانات الرفع المساحي (جدول 2) وبيانات صور Google Earth (جدول 4)، ومن خلال شكل (12) الذي يوضح مقارنة معدلات

حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة من خلال بيانات الرفع المساحي للفترة من فبراير 2018 - نوفمبر 2019 ولمدة 13 شهر، وبيانات صور Google Earth للفترة من فبراير 2017 - مايو 2019 ولمدة 27 شهر.

جدول (4) معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة للفترة يوليو 2013 - مايو 2019

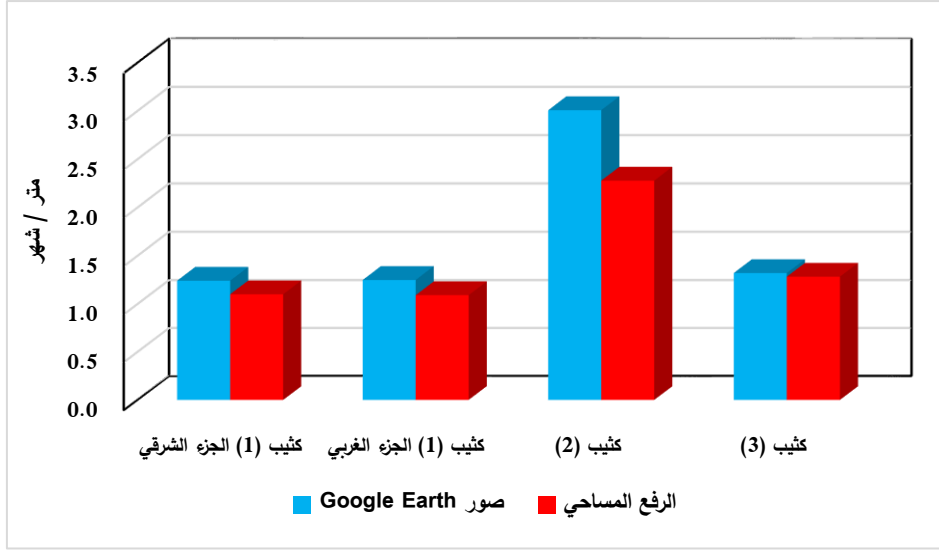
تاريخ المسح	كثيب رقم 1 (الجزء الشرقي)	كثيب رقم 1 (الجزء الغربي)	كثيب رقم 2	كثيب رقم 3
2017/02 - 2013/07	49.8	44.0	140.4	69.5
2019/05 - 2017/02	40.8	31.4	80.4	36.3
2019/05 - 2013/07	90.6	73.0	220.8	104.6
2017/02 - 2013/07	44.0	45.8	136.6	53.5
2019/05 - 2017/02	31.4	41.2	81.6	36.2
2019/05 - 2013/07	73.0	85.8	219.0	89.5
2017/02 - 2013/07	48.4	48.0	135.5	57.0
2019/05 - 2017/02	28.5	28.7	81.7	34.6
2019/05 - 2013/07	77.0	77.3	218.0	91.6
2017/02 - 2013/07	1.1	1.1	3.2	1.4
2019/05 - 2017/02	1.2	1.3	3.0	1.3
2019/05 - 2013/07	1.3	1.3	3.6	1.6

* المصدر: صور Google Earth للفترة من يوليو 2013 - مايو 2019.



شكل (11) حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة

المصدر: صور Google Earth للفترة من يوليو 2013 - مايو 2019.

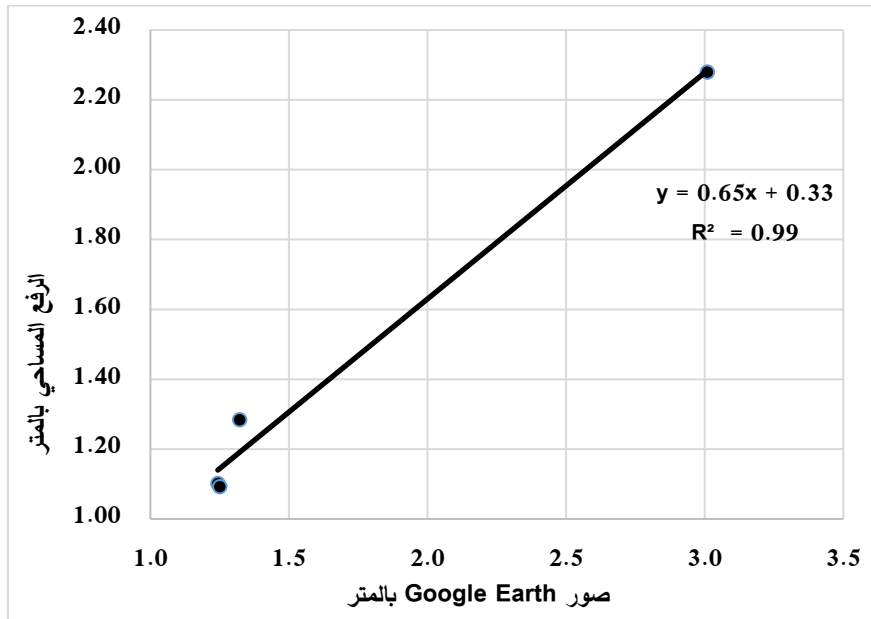


شكل (12) مقارنة معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة من خلال بيانات الرفع المساحي

(2019/11 – 2018/2) وصور Google Earth (2019/5 – 2017/2)

المصدر: بيانات جدول (2، 3).

ويلاحظ منهما تقارب معدلات الحركة المستخرجة من الأسلوبين وبشكل خاص للكثبان كبيرة الحجم والمتوسطة – والكثبان أرقام 1، و3، وهي كثبان تم تصنيفها في مرحلة الكهولة Old والنضج Maturity – مع الوضع في الاعتبار اختلاف المدة الزمنية بين الأسلوبين وكذلك فترة الدراسة، حيث كان الاختلاف بين الأسلوبين في معدلات الحركة لكليهما ما بين 2سم/شهر، و21سم/شهر ما بين نتائج الأسلوبين لمعدلات الحركة للكثيبين. وبمقارنة نتائج معدلات الحركة للكثبان صغيرة الحجم – كثيب رقم 2، والذي تم تصنيفه في مرحلة الشباب المتأخر Late Youth – حيث كان الاختلاف بين الأسلوبين في معدلات الحركة بلغ 72 سم/شهر. وهي معدلات مرتفعة خاصة في متابعة حركة الكثبان صغيرة الحجم سريعة الحركة، حيث يبلغ الفارق بين الأسلوبين ما يقرب من المتر الواحد للشهر، وهو ما يرجع إلى أن أسلوب الرفع المساحي أكثر دقة في متابعة حركة الكثبان وكذلك متابعة التغير في خصائصها المختلفة حيث يصل معدل الخطأ في ذلك الأسلوب إلى مليمترات معدودة، وانخفاض دقة أسلوب متابعة الحركة من خلال صور Google Earth والذي يصل فيه معدل الخطأ إلى أمتار قليلة. ووفقاً لذلك أمكن تطبيق عملية معايرة Calibration لمخرجات الأسلوبين المتبعين في دراسة معدلات الحركة (الرفع المساحي، وصور Google Earth) وهو ما يتضح من شكل (13) والذي يشير إلى عملية المعايرة بين نتائج الأسلوبين المتبعين في الدراسة والتي حققت معامل ثقة يبلغ 85% بين مخرجات الأسلوبين.



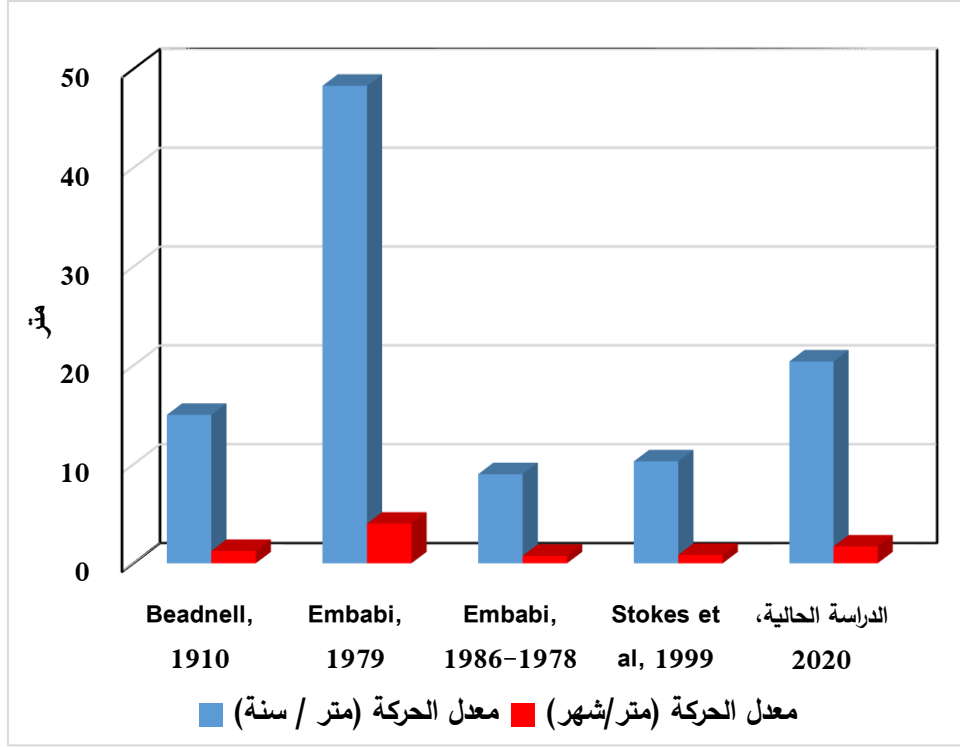
شكل (13) معايرة بيانات معدلات حركة الكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة من خلال بيانات الرفع المساحي (2019/11 – 2018/2) وصور Google Earth (2019/5 – 2017/2)

المصدر: بيانات جدول (2، 4).

ويشير جدول (5)، وشكل (14) إلى معدلات حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة مقارنة بين الدراسة الحالية بالرفع المساحي للفترة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019 والدراسات السابقة في محاولة للتعرف على تطور معدلات الحركة وسماتها سواء كانت تتسم بالسرعة أم البطء، مع الوضع في الاعتبار اختلاف أساليب حساب معدلات الحركة والفترات الزمنية التي تغطيها كل دراسة بين الدراسات المختلفة.

جدول (5) مقارنة معدلات حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة للفترة بين الدراسات المختلفة

معدل الحركة (متر/شهر)	معدل الحركة (متر / سنة)	الدراسة
1.25	15	Beadnell, 1910
4	48.3	Embabi, 1979
0.75	9	Embabi, 1986-1978
0.85	10.3	Stokes et al, 1999
1.7	20.3	الدراسة الحالية، 2020



شكل (14) مقارنة معدلات حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة بين الدراسات المختلفة

المصدر: بيانات جدول (5).

ويتضح من خلال جدول (5) وشكل (14) أن معدلات حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة تباينت باختلاف أسلوب الدراسة المتبع في كل منهما علاوة على الفترة الزمنية والأدوات المستخدمة. ويلاحظ منهما أن الدراسة الحالية التي تعتمد على أسلوب الرفع المساحي الدقيق باستخدام جهاز المحطة الشاملة Total Station والذي يبلغ معامل الدقة فيها مليمترات معدودة، فإن بيانات معدلات الحركة الناتجة عن هذه الدراسة تمثل معدلات متوسطة بين الدراسات السابقة، حيث يبلغ معدل حركة الكثبان الرملية في الدراسة الحالية 20.4 متر/سنة، بينما يبلغ المعدل أدناه في دراسة Embabi, 1986-1978 بمعدل 9 متر/سنة، ويبلغ المعدل أقصاه في دراسة Embabi, 1979 بمعدل 48.3 متر/سنة. ويمكن تفسير هذا التباين في معدلات حركة الكثبان الرملية الهلالية في منطقة الخارجة إلى تباين أحجام الكثبان التي تم تطبيق الدراسة عليها في كل من الدراسات السابقة والحالية، حيث اعتمدت بعض الدراسات السابقة على عدد كبير من الكثبان الرملية صغيرة الحجم التي عملت على زيادة معدل الحركة العام للدراسة عن المعدل الطبيعي، بينما عملت الدراسة الحالية على التوازن بين الكثبان الرملية التي تم التطبيق عليها من ناحية الحجم، حيث تم اختيار عدد 4 كثبان هلالية الشكل نصفها كبير الحجم والنصف الآخر صغير الحجم – كما تم إيضاحه سابقاً – مما جعلها ممثلة لمعدل حركة الكثبان في منطقة الخارجة.

سادساً: التنبؤ بحركة الكثبان الرملية في الخارجة.

اعتمدت عملية التنبؤ بحركة الكثبان الرملية المستقبلية في منطقة الخارجة على انشاء نموذج معلومات جغرافي لتقدير حركة الكثبان المتوقعة اعتماداً على بيانات الرفع المساحي الطبوغرافي التفصيلي والدراسة الميدانية التي تمت خلال ثلاث توقيتات مختلفة (جدول 2)، لعدد 4 كثبان رملية هلالية الشكل ذات أحجام مختلفة (شكل 8).

ويشير شكل (15) إلى مخرجات عملية التنبؤ بالحركة في الخارجة وفقاً للنموذج المنشأ في بيئة عمل برنامج "ArcGIS 10.7" وهو ما يتضح من شكل (19)، اعتماداً على المعادلات التالية:

(1) حساب مسافة الحركة بين مركزي الكثيب في الرفع المساحي القديم والرفع المساحي الجديد:

$$DisTotal = \sqrt{(Xdif)^2 + (Ydif)^2}$$

حيث:

$DisTotal$ = إجمالي مسافة الحركة بين الرفع المساحي القديم والحديث.

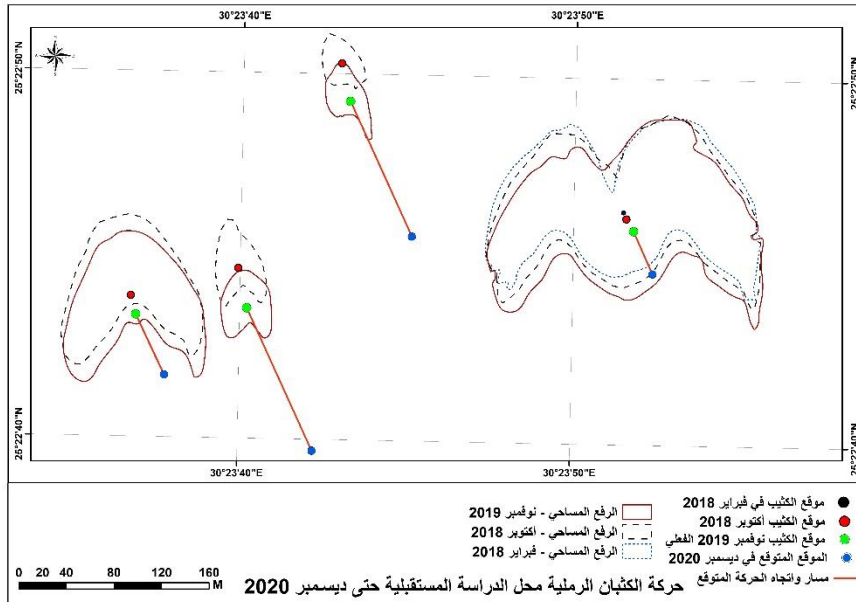
$Xdif$ = فارق الاحداثي بين خطوط الطول للموقع القديم والجديد للكثيب.

$Ydif$ = فارق الاحداثي بين دوائر العرض للموقع القديم والجديد للكثيب.

(2) حساب اتجاه الحركة

$$MoveAngle = \tan^{-1}(Ydif / Xdif)$$

(El-Magd, et al, 2013)

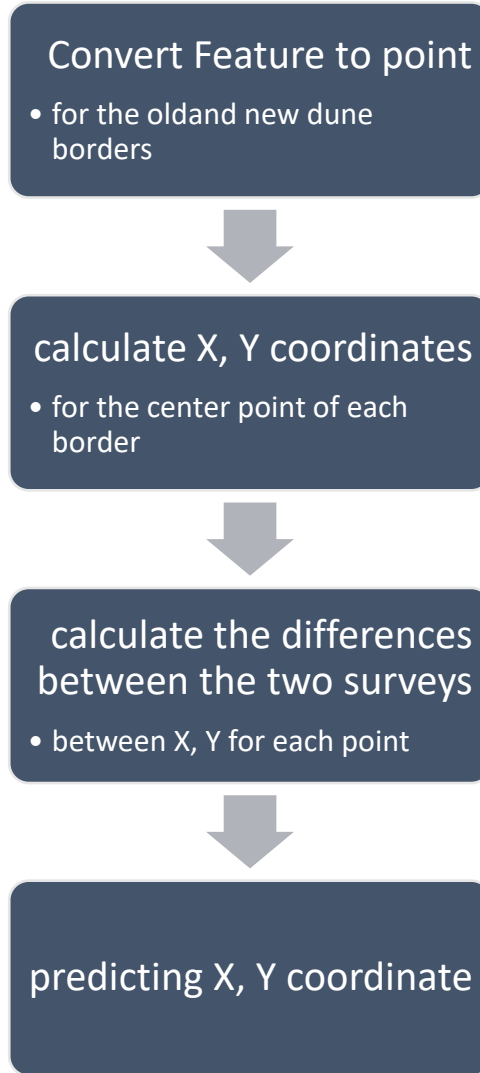


شكل (15) حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة المتوقعة في ديسمبر 2020

المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.

حيث تم ادخال بيانات المواقع المكانية للكثبان الرملية محل الدراسة الناتجة عن الرفع المساحي إلى نموذج نظم المعلومات الجغرافية الذي تم إنشاؤه في شكل نقاط تعبر عن مركز الكثيب، وذلك عن طريق استخدام أداة To Point في صندوق الأدوات Arc Toolbox، حتى يتم تطبيق المعادلات السابقة وحساب معدلات الحركة آلياً. أعقب ذلك استخدام

معادلات التنبؤ بالحركة والتي اعتمدت على أسلوب (Nandi et al, 2016) EPR End Point Rate، وتطويعها للاستخدام في التنبؤ بحركة الكثبان الرملية في الدراسة الحالية.



شكل (16) نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية

وأعقب تطبيق تلك المعادلات الرياضية ملحق رقم (1) داخل نموذج نظم المعلومات الجغرافية شكل (16)، تنفيذ عملية معايرة نتائج النموذج مع بيانات الرفع المساحي الفعلي، حيث تم تشغيل النموذج المقترح باستخدام الرفع المساحي للكثيب رقم 1 في فبراير 2018، والرفع المساحي في أكتوبر 2018 للتنبؤ بموقع الكثيب في نوفمبر 2019 كنتاج للنموذج. وأعقب ذلك حساب معامل مربع الخطأ RMSE Root Mean Square Error بين الموقع الناتج من النموذج والموقع الفعلي للكثيب من الرصد المساحي في نوفمبر 2019 شكل (17)، وذلك من خلال المعادلة التالية:

(4) معامل الخطأ RMSE

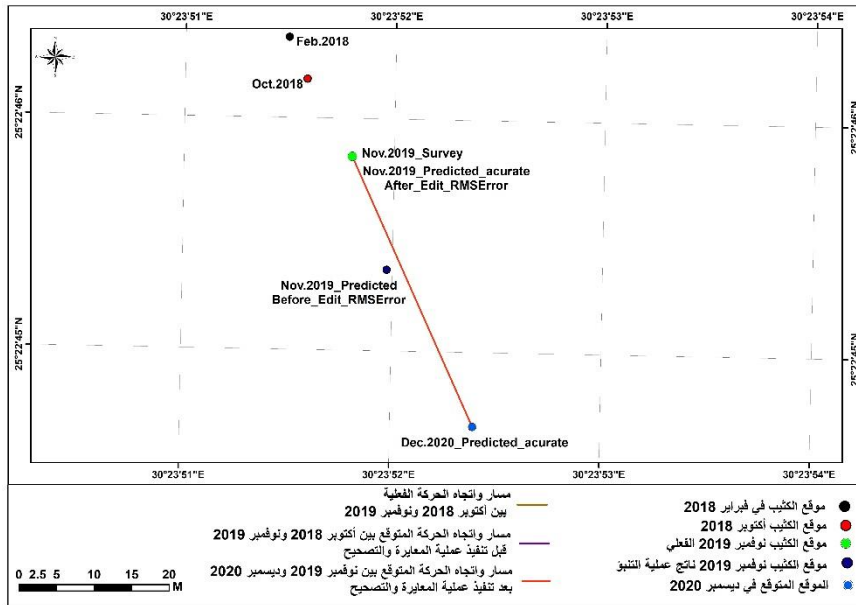
$$RMSE = \sqrt{(X_{Mod} - X_{Org})^2 + (Y_{Mod} - Y_{Org})^2}$$

حيث:

X_{Mod} و Y_{Mod} = إحداثيات الموقع المستخرج من النموذج

X_{Org} و Y_{Org} = إحداثيات الموقع الحقيقي المستخرج من الرفع المساحي أو الصور الفضائية

وأعقب ذلك تعديل النموذج بعد عملية المعايرة وتصحيح الخطأ، حيث بلغ معامل الخطأ في الاحداثي X (0.0000191918)، ومعامل الخطأ في الاحداثي Y (0.000005361047). ونتج عن ذلك تطابق الموقع المستخرج من نموذج التنبؤ مع الموقع الحقيقي من الرفع المساحي. ثم أعقب ذلك تطبيق معامل التنبؤ لمواقع الكثبان محل الدراسة حتى ديسمبر 2020، وهو ما يتضح من شكل (18). وتوضح الاشكال (21، 22) حركة الكثبان الرملية في منطقة الدراسة المتوقعة في ديسمبر 2030، و2050 على التوالي، ويوضح جدول (5) معدلات حركة الكثبان الرملية المتوقعة في منطقة الدراسة للفترة 2020-2050.



شكل (17) معامل الخطأ RMSE لنموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية وعملية تصحيح الخطأ

المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.

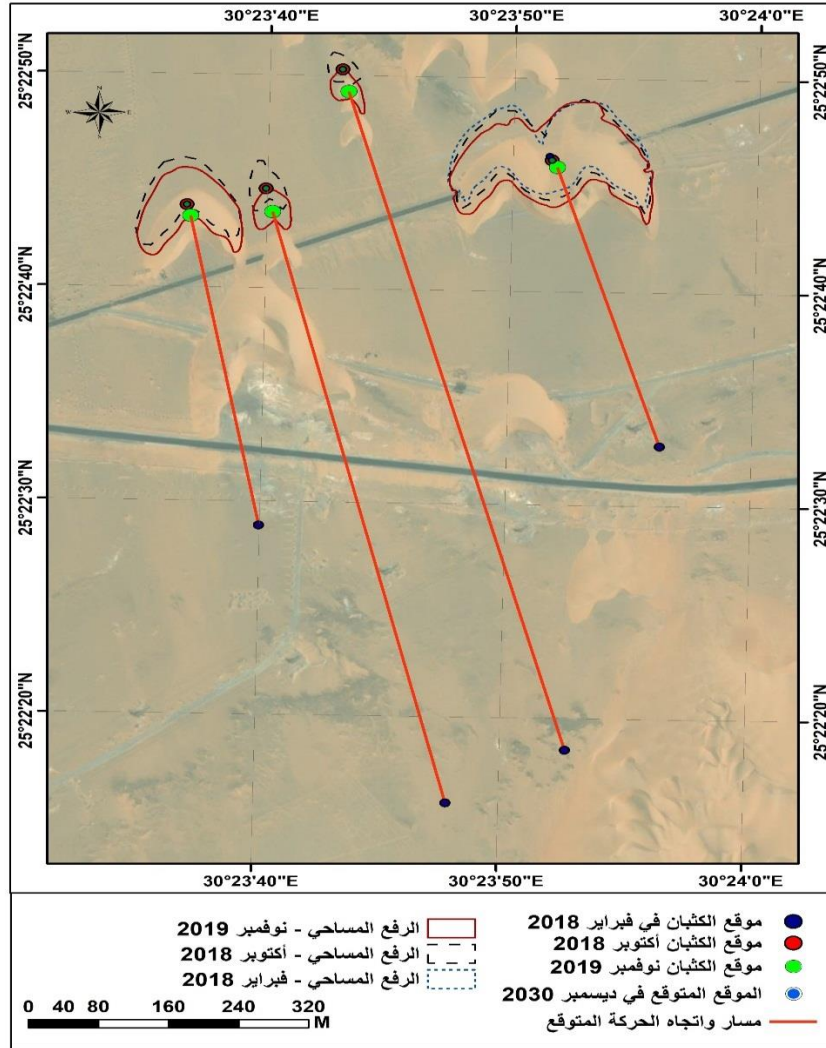
ويشير جدول (6) والاشكال (18، 19، 20) إلى معدلات حركة الكثبان الرملية المتوقعة في منطقة الخارجة في ديسمبر 2020، و2030، و2050 في حالة ثبات كل العناصر والمتغيرات البيئية مثل سرعة واتجاه الرياح وتمائل ظروف السطح ومعامل الرطوبة الجوية وكميات الامطار. ومن خلالهما يلاحظ أن إجمالي الحركة المتوقعة تراوحت بين 960 متر إلى 2.2 كم في 2050، وتراوح إجمالي الحركة بين 420 متر إلى 980 متر في 2030، وبين 39 متر إلى 125 متر في ديسمبر 2020. وذلك للكثبان الرملية الأربعة محل الدراسة في منطقة الخارجة، وهي التي تأثرت بحجم الكثيب وسرعته.

جدول (6) حركة الكثبان الرملية في منطقة الخارجة المتوقعة في 2030 – 2050

رقم الكثيب	معدل الحركة المتوقع بالمتر 2020	معدل الحركة المتوقع بالمتر 2030	معدل الحركة المتوقع بالمتر 2050
1	39	420	969
2	132	876	2240
3	56	454	1267
4	125	982	2278

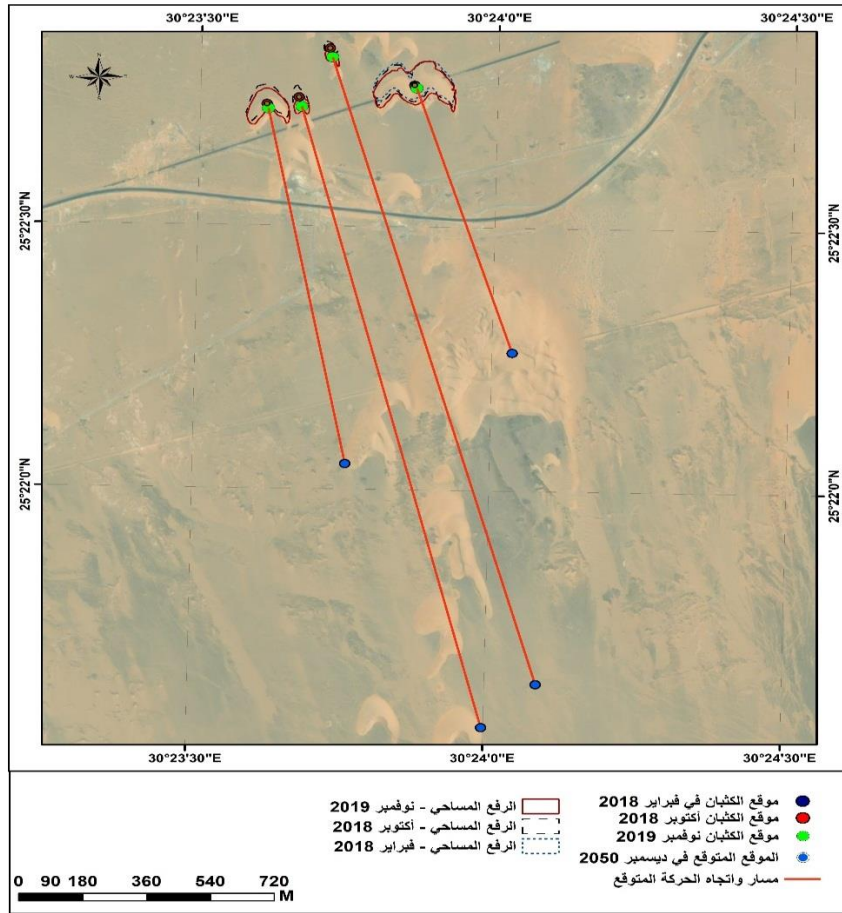
* المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.

وبتطبيق نموذج نظم المعلومات الجغرافية المنشأ على الكثيب الهلالي ذو الموقع الغربي للكثبان الرملية محل الدراسة للتنبؤ بحركته المتوقعة حتى عام 2030 بمسافة إجمالية تبلغ 225 متر - شكل (20)، لما يشكله من خطورة على مسار طريق أسيوط - الخارجة، علاوة على التأكيد على صحة النموذج المستخدم. ويلاحظ من الشكل أن الكثيب يشكل درجة كبيرة من الخطورة على مسار طريق أسيوط - الخارجة ويعبره في 2027 بمسافة إجمالية 190 متر. حيث تم رفع حدود الكثيب من خلال الصور الفضائية المستخرجة من برنامج Google Earth في التواريخ المحددة.



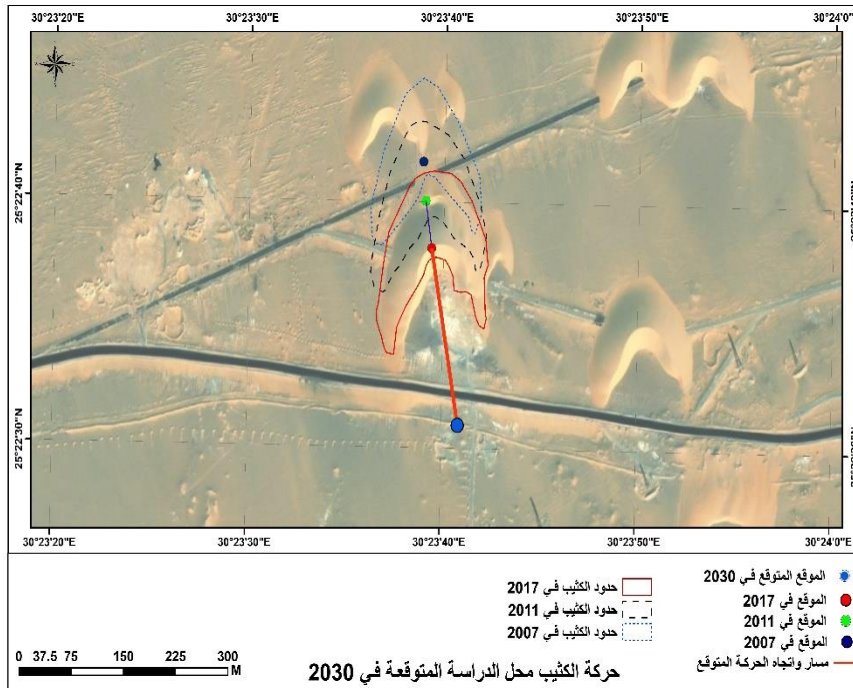
شكل (18) حركة الكثبان الرملية محل الدراسة المتوقعة في 2030

المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.



شكل (19) حركة الكثبان الرملية محل الدراسة المتوقعة في 2050

المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.



شكل (20) حركة الكثيب الرمي غرب الكثبان الرملية محل الدراسة المتوقعة في 2030

المصدر: مخرجات نموذج نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بحركة الكثبان الرملية.

حدود وفاعلية النموذج المستخدم:

يعتمد النموذج المستخدم في الدراسة في التنبؤ بحركة الكثبان الرملية على مواقع الكثبان خلال فترات زمنية متباينة، سواء تم الحصول على تلك المواقع من خلال الفرع المساحي أو من خلال الصور الفضائية عالية الدقة. وذلك بافتراض ثبات كافة العوامل المؤثرة على حركة الكثبان الرملية خلال فترة الدراسة وما سبقتها وأهمها اتجاه وسرعه الرياح ودرجات الحرارة ومعدلات الرطوبة وتدخل العنصر البشري. ويمكن مستقبلاً إدخال بعض المتغيرات على النموذج لزيادة دقة المخرجات، وتتمثل في عناصر حجم الكثيب وكمية الرمال.

نتائج وتوصيات الدراسة:

انتهت الدراسة إلى أن معدلات الحركة للكثبان الرملية محل الدراسة في منطقة الخارجة تراوحت بين (0.9 – 2.5 متر / شهر) والتي تباينت ما بين الكثبان كبيرة وصغيرة الحجم، وكذلك بين أجزاء الكثيب الواحد للفترة من فبراير 2018 – نوفمبر 2019. وأن الكثبان كبيرة الحجم (1، 3) سجلت أقل معدلات للحركة ما بين 1، و1.3 متر/شهر للفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019 على الترتيب، وهو ما يرجع إلى كبر حجم الكثيب وما يحتويه من رمال تعمل على بطء معدلات الحركة. بينما سجلت الكثبان الصغيرة (2، 4) أعلى معدلات للحركة ما بين 2.3، و2.5 متر/شهر للفترة من أكتوبر 2018 – نوفمبر 2019 على الترتيب. وبلغ متوسط حركة الكثبان الرملية محل الدراسة 20.4 متر / سنة ما يعادل 1.7 متر / شهر، وهو ما يتوافق مع دراسات كل من (Beadnell, 1910; Embabi, 1979 & 1986-1978; Stokes et al, 1999). وانتهت الدراسة إلى أن إجمالي الحركة المتوقعة للكثبان محل الدراسة قد تراوحت بين 420 – 982 متر عام 2030، وبين 969 – 2278 متر عام 2050، وهو ما يشكل خطراً على عناصر استخدامات الأرض البشرية المتمثلة في شبكة الطرق وأهمها طريق أسبوط – الخارجة، والمناطق الزراعية والسكنية في منطقة الخارجة والمناطق المحيطة بها.

وتوصي الدراسة بالمزيد من البحث والتطوير للنموذج المقترح بإضافة بعض المتغيرات والعناصر التي تزيد من دقة النتائج المستخرجة منه.

Abstract**Applications of spatial techniques (geomatics) in studying the movement of sand dunes in the Kharga Depression - Egypt****Mahmoud Muhammad Ashour, Moawad Badawy Moawad, Amir Abdul Salam Hussein**

Dune movements are geomorphological hazards that affects all human activities, especially economic activities represented by the destruction of roads, railway tracks and agricultural lands. The current study aims to use spatial techniques to monitor and predict the movement of sand dunes in the Kharga Depression-Egypt for four barchan dunes. The study based mainly on detailed land survey, satellite images extracted from Google Earth Pro with high resolution (0.5 metres) and GIS. The study dealt with a calibration and evaluation process to study the movement of sand dunes using high-resolution satellite images compared to land surveying using total station and GNSS. The study showed that the confidence factor between the outputs of the two methods is 85%.

Prediction of the future barchans movement was carried out using GIS spatial model based on the land survey and satellite images during the period between February 6, 2018 and November 6, 2019.

The study concluded that the total expected movement of the sand dunes ranged between 420 - 982 meters in 2030, and between 969 - 2278 meters in 2050, which poses a threat to the major roads, of which the most important is the Assiut-Kharga high way, and agricultural and residential areas in the Kharga and its surrounding areas.

Key words:

Sand Dunes, Western Desert, GIS, Kharga, Land Survey, Geomatics

المصادر والمراجع:

أولاً المراجع باللغة العربية:

نبيل سيد امبابي، 1985، حركة الكثبان الرملية الهلالية وأثرها على العمران والتعمير في منخفض الخارجة، مجلة الشرق الأوسط، العدد 6، جامعة عين شمس.

ثانياً المراجع باللغة الإنجليزية:

Alpha, T., R., Galloway, J., P., Starrat., Sc., W., 1998, Sand Dunes Computer animations and paper models, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, <https://pubs.usgs.gov/of/1998/0131a/report.pdf>

Bagnold, R.A, 1941, The physics of blown sand and desert dunes. Methuen and Co. Ltd., London, 266 p.

Ball, J., 1900, Kharga Oasis: Its Topography and Geology, Cairo.

Ball, J., 1927, Problems of the Libyan Desert, Geography Journal, Vol. 70.

Beadnell, H., J., L., 1910, The Sand dunes of the Libyan desert, Geography Journal, Vol. 35: 379-395.

Beadnell, H.J.L, 1909, An Egyptian oasis: An account of the oasis of Kharga in the Libyan Desert! Murray, London, 248 p.

Caton, G., Th, Gardner. E., W, 1932, The prehistoric geography of Kharga Oasis, Geography Journal, Vol. LXXX.

- El-Magd, O. Hassan and S. Arafat, 2013, "Quantification of Sand Dune Movements in the South Western Part of Egypt, Using Remotely Sensed Data and GIS," Journal of Geographic Information System, Vol. 5 No. 5, 2013, pp. 498-508. doi: 10.4236/jgis.2013.55047.
- Embabi N, 1979, Barchan dune movement & its effect on economic development in the Kharga Oases Depression, the Western Desert, Egypt (in Arabic). J. Middle East Research Center 6:51–84
- Embabi N, 1982, Barchans of the Kharga Depression. In: El-Baz F, Maxwell T (eds.) Desert landforms of Southwest Egypt: A basis for comparison with Mars. NASA, Washington DC, pp 141–155.
- Embabi N, 1986–1987, Dune movement in the Kharga and Dakhla Oases Depressions, the Western Desert, Egypt. Bulletin de la Société de Géographied'Égypte, 59-60:35–70.
- Embabi N, 2004, The Geomorphology of Egypt landforms and evolution, Vol 1, The Nile valley and the Western desert, the Egyptian Geographical Society.
- Embabi N, Mostafa A, Mahmoud A, Azab M, 2012, Geomorphology of Ghard Abu Moharik, Western Desert. Egypt. Bull Socd'Géographied'Égypte 85:1–28.
- Embabi, N, 1982, Barchans of the Kharga Depression. In El-Baz, F. and Maxwell, T., eds., Desert Landforms of Southwestern Egypt: A basis for comparison with Mars. NASA, Washington DC, pp 141–155.
- Gifford A, Warner D, El-Baz F, 1979, Orbital Observations of sand distribution in the Western Desert of Egypt, Apollo-Soyuz Test Project, Summary Science Report. In: El-Baz F, Warner D (eds.) Vol. II: Earth Observations and Photography. NASA, Washington, DC, p 219–236.
- Murry, G., W., 1947, The Egyptian climate: an historical outline. The Royal Geographical Society. Vol. 117, No. 4, pp. 422-434.
- Nandi, S., Ghosh, M., Kundu, A., 2016. Shoreline shifting and its prediction using remote sensing and GIS techniques: a case study of Sagar Island, West Bengal (India). J Coast Conserv 20, 61–80 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0418-4>.
- Stokes S, Goudie A, Ballard J, Gifford C, Sameih S, Embabi N, El-Rashidi O, 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.

ملحق (1) (3) التنبؤ بحركة الكثبان الرملية (Nandi et al, 2016)

$$M_{EPR} = (Xdif - Ydif) / (T_2 - T_1)$$

$$B_{EPR}X_1 = X_1 - (M_{EPR} * (T_2 - T_1))$$

$$B_{EPR}Y_1 = Y_1 - (M_{EPR} * (T_2 - T_1))$$

$$B_{EPR}X_2 = X_2 - (M_{EPR} * (T_2 - T_1))$$

$$B_{EPR}Y_2 = Y_2 - (M_{EPR} * (T_2 - T_1))$$

$$B_{EPR}X_{dif} = B_{EPR}X_1 - B_{EPR}X_2$$

$$B_{EPR}Y_{dif} = B_{EPR}Y_1 - B_{EPR}Y_2$$

$$P_X = (M_{EPR} * T_n + B_{EPR}X_{dif}) + X_2$$

$$P_Y = (M_{EPR} * T_n + B_{EPR}Y_{dif}) + Y_2$$

حيث: M_{EPR} = معدل التغير لإحداثيات الموقع الحالي للكثيب

B_{EPR} = معدل التغير لإحداثيات الموقع الجديد، P = الموقع الجديد ناتج عملية التنبؤ

T_1 = تاريخ الرصد / الرفع المساحي / المرئية القديم، T_2 = تاريخ الرصد / الرفع المساحي / المرئية الجديد

T_n = الفترة الزمنية المطلوبة للتنبؤ بالأشهر