

مراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية على الأودية المنحدرة باتجاه نفود
الدهناء باستخدام مرئيات LANDSAT متعددة التواريخ

**Monitoring Aeolian Sand Encroachment Towards
Wadi Channels Near Al-Dahnaa using of Multi-
temporal Landsat Images**

الدكتور فرحان حسين صالح الجعدي

استاذ مشارك

قسم الجغرافيا

جامعة الملك سعود - المملكة العربية السعودية

Farhan Hussain Aljuaidi

.Associate Prof

KSU- Geography

البريد الالكتروني: aansar@kku.edu.sa

مراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية على الأودية المنحدرة باتجاه نفود الدهناء باستخدام مرئيات LANDSAT متعددة التواريخ

الدكتور فرحان حسين صالح الجعدي

استاذ مشارك

قسم الجغرافيا

جامعة الملك سعود - المملكة العربية السعودية

ملخص البحث: تستخدم هذه الدراسة بيانات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات لمراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية في وسط المملكة في الفترة من ١٩٨٥-٢٠١٩م وذلك بتطبيق عدد من أساليب المعالجة الرقمية، حيث يلعب أسلوب المؤشر الأفضل لاختيار مركب النطاقات OIF دوراً مهماً في تمييز الرواسب الرملية الريحية عن الصخور الجيرية التي تقطعها الأودية.

وقد جاء مركب الألوان الزائفة (RGB 751) الأفضل للانعكاسية الطيفية العالية للرمال في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وانخفاضها في نطاق الأشعة الزرقاء والعكس صحيح بالنسبة للصخور الجيرية. ويمثل التصنيف المراقب أسلوباً إحصائياً فعالاً في تقدير زحف الرواسب الرملية الريحية على المساحة بالكم^٢ وبالتالي يمكن تقدير امتداده بالمقارنة بين الصور المصنفة والأساسية.

ويقدر المعدل السنوي لزحف الرواسب الرملية في منطقة الدراسة بحوالي ٢٩,٧٩م/ سنة للفترة من عام ١٩٨٥م-٢٠١٩م.

وبالمقارنة بين الفترتين التي استخدمت لمراقبة الزحف اتضح أنه يقل في الفترة من ١٩٨٥-٢٠٠٢م، والبالغة ٤٠٨ متراً أي ما يعادل ٢٤ متراً/ سنة، عنه في الفترة من ٢٠٠٢-٢٠١٩م البالغة ٦١١ متراً أي ما يعادل ٣٥ متراً/ سنة.

ويستدل من ذلك أن المنطقة شهدت بعد عام ٢٠٠٠م انسياقاً رملياً يصل تقريباً إلى نسبة ٦٠% مقارنةً بنهاية فترة الثمانينات والتسعينات الميلادية من القرن الماضي

والتي لا تتجاوز ٤٠%.

ولتمييز تغطية الرواسب الرملية الريحية على الأودية في السنوات المختارة جاءت نسب النطاقات ١/٧ في لاندسات-TM و ETM و ٢/٧ في لاندسات OLI الأفضل في توضيح زحف الرواسب الرملية الريحية على المجاري المائية من الرتب النهرية المختلفة.

وقد نتج عن ذلك في عام ٢٠١٩م اختفاء عدد من الرتب النهرية الأولى والثانية على تصنيف ستريلر. وتعزو الدراسة تسارع الزحف الرملي في السنوات الأخيرة إلى تنامي مشكلة الرعي الجائر التي تعاني منه منطقة الدهناء والتي تفاقمت بعد الزيادة في أعداد الإبل نتيجة لارتفاع أسعارها والتنافس الاجتماعي في اقتنائها في الآونة الأخيرة..

الكلمات المفتاحية: الدهناء، الزحف الرملي، لاندسات، السعودية، والأخطار البيئية.

Monitoring Aeolian Sand Encroachment Towards Wadi Channels Near Al-Dahnaa using of Multitemporal Landsat Images

Abstract:

This study uses Landsat satellite data to monitor the aeolian sand drift in the center of the Kingdom from 1985 to 2019 by applying a number of digital image processing methods. OIF is the best index in selecting false color composite which is the RGB 751 and ranking the best. It is characterized by spectral reflectivity that separates wind sand sediments from limestone rocks. Supervised classification is also an effective statistical method for estimating the amount of sand on the studied area by Km², and its extension can be estimated by drawing a comparison between the classified and basic images. The annual rate of sand drifting in the study area is estimated at 29.79 m / year for the period from 1985 to 2019. A comparison between the two periods used to monitor the sand drift was found to be lower between 1985 and 2002 (408 m (average 24 m / yr nearly 40%)) than in 2002-2019 (611 m (average 35 m / yr nearly 60%)). In order to distinguish the coverage of wind sand sediments on Wadi channels in the selected years, the band ratio 7/1 in Landsat-TM and ETM and 7/2 in Landsat-OLI were the best in detecting the sand encroachment over the channels of different river order in 2019. In some areas, a number of the first and second order on the Straller classification disappeared. The study attributes the acceleration of the sand encroachment in recent years to the increase of overgrazing in Al-Dahna area, which was exacerbated by the increase in the number of camels due to the high prices and social competition in the acquisition of them recently.

Key words:

Aldahna, Sand encroachment, Landsat, Saudi Arabia, Environmental Hazards.

المقدمة:

تمثل الرواسب الرملية الريحية (أي الرمال ذات المصدر الريحي Aeolian Sand) ما يقارب ٦% من إجمالي الغطاء الأرضي Land Cover يوجد ٩٧% منها في الأراضي الجافة مما يجعلها من أشد المناطق عرضةً للتصحّر والزحف الرملي (Pye et. al., 2008).

ولذلك يُعدّ الزحف الرملي Sand Encroachment والانسياب الرملي Sand Drift من أكثر أنواع مخاطر البيئة شيوعاً في هذه المناطق وخاصة في المملكة العربية السعودية ودول الخليج العربي. فقد تصل هذه الأخطار إلى طمر المنشآت العمرانية والمناطق الزراعية القريبة من مصادر التغذية وإعاقة الحركة المرورية على الطرق الحيوية والسكك الحديدية والتقليل من فعالية خدمات توليد الطاقة لأبراج الاتصالات.

وقد تناولت الكثير من الدراسات الجيومورفولوجية والجيولوجية في المملكة والخليج هذه المشكلة في محاولة لفهم العوامل المسببة لها ومصادر التغذية وقياس كمية الزحف الرملي السنوي.

غير أن هذه الدراسات اعتمدت على القياسات الحقلية التي تستهلك الوقت والجهد وصعوبات تتعلق بالمسح الأرضي والقياس وإجراء التجارب واستمرارية مراقبتها خاصة في المناطق النائية حتى وإن استخدمت في ذلك الصور الجوية المتتابة المكلفة مادياً والتي يصعب الحصول عليها إلى منتصف الثمانينيات الميلادية من القرن الماضي (أبو الخير، ١٩٨٤: آل سعود، ١٩٨٦: العوضي، ١٩٨٩: الطاهر، ١٩٩٦: Fryberger and Dean, 1979: Holm, 1960: AlKhalaf, 1986).

وفي العقود الثلاثة الماضية شهدت مراقبة حركة الكثبان الرملية في العالم بشكل عام وفي المملكة ودول الخليج بشكل خاص تطوراً مذهلاً في استخدام بيانات الاستشعار عن بعد Remote Sensing بسبب تغطيتها الإقليمية الواسعة وتدققها المستمر وتوفرها بتكاليف رخيصة أو مجانية والوضوح المكاني العالي، وتعدد النطاقات الطيفية المستشعرة.

كما شهدت هذه الفترة تطوراً في أساليب التعامل مع هذه البيانات ابتداءً من الرسم المباشر للكثبان الرملية من الصور الورقية المطبوعة مروراً بالرسم المباشر للكثبان الرملية عبر التقييم Digitizing على شاشة الحاسب الآلي وانتهاءً بالتحليل الطيفي واستخدام النماذج الرياضية (Al-Hinai et. al. 1987; Al-Hinai, 1989; Al-Dabi, et. al. 1997; Pease, et. al. 1999; White et. al. 2001; Al-Dousari and Pye, 2005; Al-Awadhi et. al. 2005; Howari et. al. 2007; Sadiq and Howari, 2009; Saleous et. al., 2017; Alhosani, 2018)، بل إن بعض الدراسات عملت على تحويل الكثير من الخرائط الطبوغرافية والصور المطبوعة إلى بيانات رقمية لدراسة توزيع الرمال ومراقبة حركتها عبر قرن من الزمان؛ فقد قام Anthonsen وآخرون (1996) بتحويل خرائط طبوغرافية في الفترة ما بين (1887-1977م) والصور الجوية في الفترة ما بين (1945-1992م) إلى بيانات رقمية للتعرف على مدى استجابة الكثبان الرملية للتغير المناخي في منطقة رابجنق مايل Rabjerg Mile في الدنمارك.

وفي الآونة الأخيرة أدى التطور الهائل الذي طرأ على أجهزة الحاسب الآلي وبرامج المعالجة الرقمية لبيانات الاستشعار عن بعد إلى تطوير أساليب مراقبة الزحف الرمي عبر تحليل الانعكاسية الطيفية للرمال والتصنيف وبناء النماذج الرياضية للمؤشرات (Indices) والتي ساعدت على حساب كمية الزحف بدقة

أكبر (Hugenholtz et. al. 2012: Els et. al., 2015: Potter and Weigand, 2016:). فالكثبان الرملية من أوضح الظواهر الجيومورفولوجية التي يمكن مراقبة حركتها عبر استخدام النطاقات المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي سواءً في المجال المرئي Visible أو نطاقات الأشعة تحت الحمراء IR، والأشعة تحت الحمراء الحرارية (TIR) (Ramsey et. al, 1999). فانعدام الظل واحتواء الرمال على معدن الكوارتز الذي يشكل تركيبها المعدني والذي يعطي إنعكاسية مرتفعة في هذه النطاقات يجعل من السهولة تمييزها استشعارياً، كما يسهل التفريق بينها وبين المناطق البينية Interdune أو طبقات الصخور الجيرية المجاورة لها والتي تأخذ انعكاسية مرتفعة في القيم الرقمية على المقياس الرمادي Intensity، كذلك يمكن استخدام المعالجة الرقمية لتحليل التغير المكاني الذي يطرأ على الكثبان الرملية وعلاقة ذلك بالمناطق ما بين الكثبان Interdune في الأماكن النائية التي يصعب الوصول إليها في وسط الربع الخالي (Al-Masrahy and Mountney, 2013).

والجدير بالذكر أن البيانات الرقمية يمكن استخدامها إلى جانب البيانات المتعلقة بسرعة الرياح واتجاهها وخصائص التربة وارتفاع السطح وانحداره واستخدامات الأرض والنباتات لتطوير مؤشرات رقمية (Sand Dune En-) croachment Vulnerability Index SDEVI) للتعرف على المناطق المعرضة لخطر الزحف الرملي على المدن ومعالجة ذلك في نظم المعلومات الجغرافية (Gomez, et. al. 2018).

وتنحصر الكثير من التقديرات الخاصة بالزحف الرملي في المملكة في البيئة الرملية مثل صحراء الجافورة أو الزحف الرملي في السهول الحصوية باتجاه المزارع في الواحات أو على الطرق. فقد استخدم الهنائي (١٩٨٩م) بيانات

لاندسات MSS ولاندسات TM للفترة من ١٩٧٢-١٩٨٤ م والصور الجوية في الفترة من ١٩٤٩-١٩٨٣ م لتقدير حركة الكثبان الرملية في صحراء الجافورة. وعلى الرغم من تفاوت الوضوح المكاني للبيانات المستخدمة في هذه الدراسة إلا أنها تُعدُّ محاولة علمية جادة في مراقبة الزحف الرملي الذي تم تقديره ما بين ٢, ٢-٨ م سنويًا.

وقدر الرويلي (٢٠٠٢م) زحف الكثبان الرملية في واحة الأحساء باستخدام مرئيات لاندسات MSS و TM ومقارنتها بمرئيات سبوت للفترة من عام ١٩٨٧-٢٠٠٠ م إلا أن معدل زحف الكثبان الرملية في الواحة يتراوح ما بين ٧, ٧-١٢ م في السنة.

وقدرت آل سعود (٢٠٠٤م) حركة الكثبان الرملية في خمس مناطق في المنطقة الشرقية باستخدام بيانات لاندسات TM ٥ للأعوام ١٩٨٧م و١٩٩٦م و ٢٠٠١م. وخلصت الدراسة إلى أن الكثبان الرملية الصغيرة تتحرك بسرعة بلغت ٢٥ م/سنة، بينما تتحرك الكثبان الكبيرة بسرعة تتراوح ما بين ٣-٥ م/سنة. وقدر سالم (٢٠١٨م) حركة الكثبان الرملية في قرية شوية باستخدام صور الأقمار الصناعية عالية الوضوح المكاني ايكونوس في الفترة الزمنية القصيرة ما بين عام (٢٠٠٣-٢٠١٠م) بحوالي ٩, ١ م/سنة.

وحيث إن زحف الرواسب الرملية الريحية على الأودية المنحدرة باتجاه رمال الدهناء أصبح يمثل مشكلة بيئية متنامية تعاني من قلة الدراسات، وعليه تهدف هذه الدراسة إلى استخدام بيانات القمر الصناعي لاندسات لمراقبة الرواسب الرملية الريحية على الأودية الصحراوية المنتهية في رمال الدهناء في وسط المملكة العربية السعودية.



الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

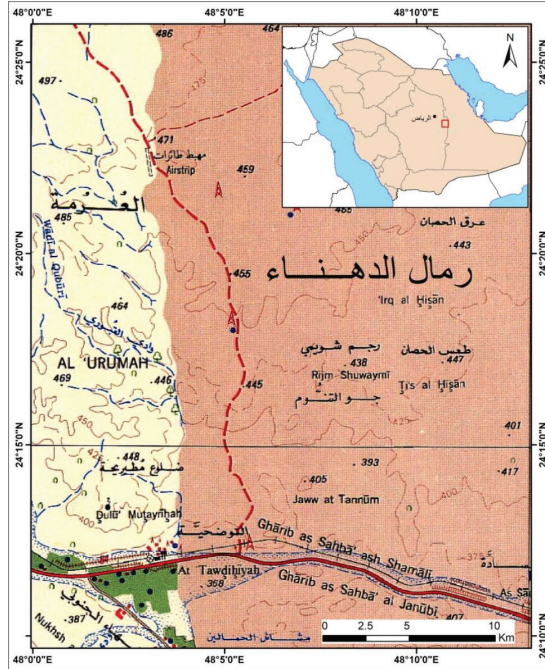
تقع منطقة الدراسة والتي تعرف بمزاليح في الجنوب الشرقي لمنطقة الرياض، حيث تبعد عن قرية خريص بحوالي ٧٠ كم جنوبًا وتبعد عن قرية التوضحية ١٠ كم شمالًا بين دائرتي العرض ٢٤° و ٢٥° شمالًا وخطي الطول ٣٠° و ٤٧° و ٤٨° شرقًا (شكل رقم ١). وتُعدُّ هذه المنطقة من المناطق الحيوية للاقتصاد الوطني بسبب توفر حقول النفط والغاز المكتشفة حديثًا عبر شركة أرامكو وتنتشر فيها المضخات ومحولات الطاقة والمعامل. وتسيطر على المنطقة جيولوجيًا صخور متكون الواسع القاري الذي ترسب في العصر الطباشيري الأوسط، ويتكون من حبيبات رملية غير متماسكة متوسطة إلى خشنة ذات مسامية تتراوح بين ٣٠-٤٠%.

ويوجد منكشف الواسع في غرب منطقة الدراسة بعرض ضيق ما بين ٥-١٠ كم ويعلوه أحجار جيرية تابعة لتكوين العرمة الذي تنقسم صخوره إلى ثلاث وحدات صخرية تعرف بمجموعة لينا التي تعود إلى عصر الباليوجين ومجموعة حجاجة وخصائص التي تعود إلى العصر الكريتاسي الأعلى. ويعلو تكوين العرمة صخور تكوين أم رضة في شرق منطقة الدراسة والذي يتشكل من أحجار جيرية ودولوميت، بينما تغطي رواسب العصر الرباعي لرمال الدهناء (Le Nindre and Vaslet, 2008; p56).

ومن الناحية الجيومورفولوجية تمثل المنطقة مفيض عدد من الأودية التي تصرف المنحدر الخلفي لجبال العرمة الممتدة من وادي السهباء جنوبًا حتى جبال الدغم شمالًا (شكل رقم ١). وترتفع المنطقة -كما تظهر على الخريطة المقطعة بتصرف من الخريطة الطبوغرافية ١/٠٠٠, ٢٥٠- عن مستوى سطح البحر بحوالي ٤٧٠ م، وتنحدر بشكل عام من الغرب إلى الشرق، وتقطعها عدد

من الأودية التي تفيض في رمال الدهناء ومن أشهرها وادي القبوري وأبوجفان وأودية الحلال الشمالي والجنوبي.

شكل رقم (١): منطقة الدراسة



ويسيطر على منطقة الدراسة نوعان من الكثبان الرملية: النوع الأول: الكثبان الهلالية (البرخان Barchan) التي تتطور في شكل منفصل فوق السهول والأرصفة الصحراوية Desert Pavement (صورة رقم ١).

ويتشكل كثيب البرخان الهلالي بفعل الرياح التي يسود فيها الاتجاه الواحد والتي تهب فوق الكثبان العرضية التي تعترض الرياح فيحدث تراكم الحبيبات الأكبر حجمًا، بينما تتجه الحبيبات الأصغر حجمًا إلى الأطراف نتيجة ارتفاع الكثيب، وبالتالي يتشكل هلال تتجه أطرافه إلى الجهة التي تهب إليها الرياح

(إمبابي وعاشور، ١٩٨٣م: العوضي، 1989:1993). (Cooke et. al,

والنوع الثاني: الغطاءات الرملية Sand Sheets التي تعرف محلياً في هذه المنطقة بالمربخ وتنتشر فوق الأرصفة الصحراوية ومصبات الأودية في الحافة الغربية لنفود الدهناء.

وتلعب الرياح الشمالية والشمالية الغربية السائدة في وسط المملكة واتجاهاتها وسرعتها دوراً فاعلاً في الانسياب الرملي في نفود الدهناء خاصة في شمال منطقة الدراسة.

وتعتبر الفترة من شهر مارس إلى أغسطس أكثر فترات السنة انسياباً للرمال بسبب ارتفاع درجة الحرارة واشتداد سرعة الرياح وانعدام الرطوبة وجفاف الجو والترية. ويمثل شهر يونيو أكثر الشهور انسياباً للرمال في شمال منطقة الدراسة حيث يساهم بنصف كمية الانسياب الرملي يليه شهر مايو ثم يوليو مارس (آل سعود، ١٩٨٦م: ص ١٧٢).

صورة رقم (١): الكثبان الرملية في منطقة الدراسة التي تسيطر عليها نمط الكثبان الهالالية (البرخان).



ملاحظة: مقدمة السيارة باتجاه الشمال.

منهجية الدراسة واساليبها:

استخدمت هذه الدراسة المنهج التطبيقي لمراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية وبالتالي تتبع هذه الدراسة الخطوات التالية:

أولاً: بيانات الدراسة

(أ) البيانات الثانوية Ancillary data

الحصول على الخرائط الطبوغرافية للمنطقة من مقياس ١/٥٠,٠٠٠ من إنتاج الهيئة العامة للمساحة عام ١٩٧٨م والخريطة الجيولوجية ١/٢٥٠,٠٠٠ ونموذج الارتفاعات الرقمية DEM بوضوح ٣٠م.

كما تستخدم الدراسة برنامج ال ArcGis لإخراج الأشكال وتوقيع عناصر الخريطة بعد معالجة بيانات لاندسات في برنامج Erdas وذلك لتجويد المخرجات والتصميم.

(ب) بيانات القمر الصناعي الأمريكي Landsat

تعتمد هذه الدراسة في التحليل على بيانات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات Landsat الذي لا يزال يمثل الخيار العلمي المهم في الدراسات الجيومورفولوجية والبيئية والتي منها مراقبة الزحف الرملي (Wulder et. al. 2019; p129) وذلك للأسباب التالية:

- ١- التغطية الواسعة Synoptic view حيث يبلغ أبعاد الصورة الواحدة Full Scene 185*185 كم بوضوح راديومتري ودقة هندسية عالية.



ولذلك تُعدُّ هذه البيانات مفضلة نتيجةً للتغطية الواسعة التي تمكّن من إجراء الدراسات الإقليمية ومراقبة التغيرات التي تطرأ عليها بشكل مستمر بوضوح مكاني جيد (٣٠م في النطاقات المتعددة الأطياف).
ولذلك تتطابق أبعاد الخلية Pixels في جميع بيانات لاندسات في فترة الدراسة من ١٩٨٥-٢٠١٩م.

٢- **توافق الوضوح الطيفي Spectral resolution** المتعدد في جميع صور لاندسات منذ ١٩٨٥-٢٠١٩م في مجال الطيف الكهرومغناطيسي حيث يستشعر نطاق (أو مجال) الأشعة المرئية Visible (الزرقاء، الخضراء، الحمراء) ونطاق الأشعة تحت الحمراء IR القريبة NIR والقصيرة SWIR ونطاق الأشعة الحرارية (جدول رقم ١).

ويظهر معدن الكوارتز الذي تتشكل من الرمال بانعكاسية عالية في جميع هذه النطاقات باستثناء نطاق الأشعة الخضراء (White et. al. 2001).

ويمثل معدن الكوارتز أكثر من ٩٩% من المعادن التي تتشكل منها حبيبات الكثبان الرملية في الدهناء (أبو الخير، ١٩٩٣م: ص ٦١٥)، غير أن هذه الرمال تظهر بلون يميل إلى الحمرة بسبب وجود أكسيد الحديد (Fe_2O_3) الذي يغلف حبات الرمل (آل سعود، ١٩٨٦م: ص ٧٧).

أما بالنسبة للصخور الجيرية فتتخفف انعكاسيتها في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وترتفع نسبة الانعكاس في نطاق الأشعة الزرقاء.

جدول رقم (١): الفروقات الطيفية بين الأجيال المتعاقبة من لاندسات وتاريخ الإطلاق.

لاندسات 8-OLI ٢٠١٣		لاندسات 7-ETM ١٩٩٩		لاندسات 4&5-TM ١٩٨٢		لاندسات 1&2&3-MSS ١٩٧٢	
الطول الموجي Wavelength	النطاق Band	الطول الموجي Wavelength	النطاق Band	الطول الموجي Wavelength	النطاق Band	الطول الموجي Wavelength	النطاق Band
0.43-0.45	1						
0.45-0.51	2	0.45-0.52	1	0.45-0.52	1	0.5-0.6	4
0.53-0.59	3	0.52-0.60	2	0.52-0.60	2	0.6-0.7	5
0.63-0.67	4	0.63-0.69	3	0.63-0.69	3	0.7-0.8	6
0.85-0.88	5	0.77-0.90	4	0.77-0.90	4 NIR	0.8-1.1	7
1.57-1.65	6	1.55-1.75	5	1.55-1.75	5 SWIR		
2.11-2.29	7	2.09-2.35	7	2.09-2.35	7 SWIR		
0.50-0.68	8 PAN	0.52-0.90	8 PAN				
1.36-1.38	9 Cirrus						
10.6-11.19	10 TIRS1	10.31-12.36	6	10.40-12.5	6		
11.5-12.51	11 TIRS2						

المصدر: عمل الباحث

٣- **وفرة البيانات مجاناً** بجودة عالية واستمرارية تدفقها منذ عام ١٩٧٢ م وحتى الوقت الحالي بل وفي المستقبل القريب.

ففي عام ٢٠٠٨ م سمحت المساحة الجيولوجية الأمريكية بتوفير هذه البيانات مجاناً وتسخيرها للباحثين لمزيد من الاستخدامات العلمية.

وقد وصل عدد مرات الاستشعار (Acquisitions sensed) حتى عام ٢٠١٨ م

أكثر من ٦, ٥ مليون إلتقاطه (Zhu et. al. 2019; p٣٨٢). أما لاندسات-٩ فمجدول إطلاقه في ديسمبر ٢٠٢٠م حيث تتطابق أجهزة الاستشعار المحمولة عليه OLI-2 مع خصائص الأجهزة المحمولة على لاندسات-8 OLI في استشعار الأطوال الموجية المنعكسة بينما سيجري التطوير فقط على جهاز استشعار الأشعة تحت الحمراء الحرارية TIRS-2.

ويتم العمل حالياً على لاندسات-١٠ الذي ستجرى عليها تعديلات في الوضوح المكاني للنطاقات متعددة الأطياف من ٣٠م إلى ١٠م وإعادة الزيارة من ٣-٥ أيام.

وقد تم تحميل البيانات المستخدمة في هذه الدراسة للأعوام ١٩٨٥م، ٢٠٠٢م و٢٠١٩م مجاناً من الموقع الإلكتروني <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>. كما يمكن الحصول على مرجعية الانعكاسية الطيفية لبيانات لاندسات أيضاً من الموقع USGS للمقارنات بالنسبة للمعادن والصخور.

ثانياً: المعالجة الرقمية

لإجراء المعالجة الرقمية لبيانات القمر الصناعي لاندسات المستخدمة في هذه الدراسة تم استخدام برنامج ERDAS-2018 حسب الخطوات التالية (شكل رقم ٢):

١- **تهيئة الصور Preprocessing** للتحليل تم اقتطاع منطقة الدراسة مع إعادة توقيع الخلية Pixel إلى ٣٠م.

٢- **إعادة المقياس الراديومتري Radiometric Rescaling** لبيانات لاندسات-8-

OLI الرقمية من 16 Bit Unsigned إلى 8 Bit Unsigned لكي تتوافق القيمة الرقمية للخلية Pixel مع لاندسات TM ولاندسات ETM. ولضمان الحصول على عدد متطابق من الخلايا تم اقتطاع المنطقة المتأثرة بالزحف الرملي بأبعاد ثابتة في الثلاث فترات عبر نافذة Subset واحدة وربطها هندسياً. وبالتالي أعيد الاقتران مرة أخرى بأبعاد 6,3 كم X 12,5 كم تقريباً.

٣- تحسين الصور Image Enhancement بإجراء زيادة التباين والفلتر واختيار مركب الألوان الزائفة المناسب False Colour Composite FCC. ولاختيار أفضل مركب ألوان FCC للتمييز بين الرمال والصخور الجيرية فقد تم تطبيق مؤشر (Optimum Index Factor (OIF الذي يعطي قيمة إحصائية تنازلية ناتجة عن قسمة مجموع الارتباط بين النطاقات على مجموع الانحراف المعياري لمركب النطاقات حيث تأخذ القيمة الأكبر الصور الأفضل في عرض أكثر قدر ممكن من المعلومات. وقد تم استخدامه لأول مرة في اختيار مركب الألوان للتمييز بين التكوينات الجيولوجية لبيانات لاندسات (MSS (Chavez, et. al. 1982، وكذلك مع نطاقات لاندسات - (TM (Chavez, et. al. 1984).

كذلك تم استخدامه لاختيار أفضل النطاقات للصور المدموجة بين النطاق البانكروماتي للقمر الهندي IRS مع لاندسات-TM لتمييز الظواهر الجيومورفولوجية في وسط المملكة (Aljuaidi, et. al. 2003; p121)، كما تم استخدامه مع نطاقات لاندسات (TM (Sadiq and Howari, 2009).

ويوضح الجدول رقم (٢) مصفوفة قيم الارتباط بين النطاقات في لاندسات TM، بينما تأتي قيم الانحراف المعياري على التوالي: نطاق 1 =



٢, ٩٤ ونطاق ٢ = ٢, ٢٩ ونطاق ٣ = ٣, ٨٠ ونطاق ٤ = ٣, ٩٧ ونطاق ٥ = ٨, ٢٢ ونطاق ٧ = ٤, ٩١. وتأتي معادلة OIF كما يلي:

$$OIF = \sum \sigma(i) / \sum |r(j)|$$

حيث إن:

σ = قيمة الانحراف المعياري

r = معامل الارتباط بين النطاقات

جدول رقم ٢: معامل الارتباط بين النطاقات المستخدمة في لاندسات TM

	B1	B2	B3	B4	B5	B7
B1	1	0.8667	0.8153	0.8256	0.7816	0.7169
B2		1	0.9269	0.9171	0.8433	0.8123
B3			1	0.9634	0.8819	0.8625
B4				1	0.9053	0.8907
B5					1	0.9471
B7						1

المصدر: عمل الباحث

٤- تطبيق التصنيف غير المراقب والتصنيف المراقب لتحديد حساب نسبة تغطية الرواسب الرملية الريحية وبالتالي تقدير متوسط الإنسيق الرملي. كما تم تقييم الدقة Accuracy Assessment للتحقق من دقة التصنيف.

٥- تحليل المؤشرات الطيفية Spectral Indices Analysis للنماذج الرقمية Model التي يستخدمها برنامج ERDAS مع تعديل النطاقات المستخدمة لاختيار أفضلها في عرض الزحف الرملي على الأودية.

ثالثاً: العمل الحقلّي الذي تم القيام به في نهاية شهر سبتمبر من ٢٠١٩م وذلك للتحقق ميدانياً من صحة التفسير البصري والتحليل الرقمي لبيانات الاستشعار عن بعد. كما تم في هذه الزيارة أخذ القياسات اللازمة لارتفاع الكثبان الهلالية ووصف تغطية الرواسب الرملية الريحية للمجاري المائية.

التحليل والمناقشة

تقع منطقة الدراسة بين منطقتي تدرية وترسيب ولذلك تشتمل العمليات الجيومورفولوجية لحركة الرمال على الانسياب الرملي وزحف الكثبان. ويحدث الانسياب الرملي من حركة الحبيبات الرملية التي يتراوح حجمها ما بين ٢, ٠ - ٣, ٠ ملم أو زحفها فوق أسطح الكثبان والفرشات الرملية وذلك عندما تصل سرعة الرياح إلى ٥, ٥م/ ثانية ولا تقل كميته عن ٨٠م^٣/م/ سنة.

أما القسم الثاني فهو زحف الكثبان والذي يبدأ عندما تصل سرعة الرياح إلى ٩م/ ثانية (ابو الخير ١٩٩٣)، وبالتالي تصنف المشاكل الناتجة من حركة الرمال كما يلي:

١- **مشاكل تتعلق بالتذرية** Deflation والتي تقود إلى تعلق الحبيبات التي يقل حجمها عن ٥, ٠ مم، وبالتالي تعمل على تعرية التربة وتقلل من بعض مكوناتها مثل السلت والطين والمادة العضوية وتترك الحبيبات الخشنة.

٢- **مشاكل تتعلق بالنقل** Transportation والتي تقود إلى نقل الحبيبات التي يتراوح حجمها ما بين ١, ٠ - ٥, ٠ مم وتؤدي إلى الحك والكشط لكل ما يعترضها من سيارات أو غيرها كما تؤدي إلى انعدام الرؤيا عند هبوب الرياح. كما تؤدي عملية نقل الحبيبات الأكبر من ذلك والتي يتراوح



حجمها ما بين ٥, ٠-٢ مم عبر القفز أو الزحف والدرجة إلى اصطدامها ببعضها وبالتالي يؤدي ذلك إلى مزيد من التفكك والبري ومضاعفة الكميات الأصغر حجماً.

٣- **مشاكل تتعلق بالترسيب Deposition** والتي تقود إلى ترسيب الحبيبات مختلفة الحجم وبالتالي تعمل على بناء الكثبان الرملية بأشكالها المختلفة والتي تقود إلى طمر الأراضي الخصبة والحقول الزراعية والمنشآت الحيوية (أبو الخير، ١٩٨٤: آل سعود، ١٩٨٦ م: الطاهر، 1996: Cooke et. al, 1993).

تعمل زيادة التباين Contrast Stretch وتطبيق مؤشر OIF على زيادة إمكانية للحصول على أفضل النطاقات التي يمكن استخدامها للتفريق بين الرمال والصخور الجيرية. ويوضح الجدول رقم (٣) الترتيب التنازلي لأفضل مركب ألوان والذي يأخذ الرقم الأعلى في الترتيب وبذلك يعطي معلومات بين مركبات الألوان ال (٢٠) مركباً للنطاقات (1, 2, 3, 4, 5, 7) التي من الممكن أن يتم تركيبها. ويوضح الشكل رقم (٣) عرض المعلومات التي تحتويها صور البيانات المستخدمة حيث حصل مركب الألوان RGB 7,5,1 في بيانات لاندسات TM ولاندسات ETM على أعلى قيمة OIF والتي يقابلها في لاندسات OLI النطاقات RGB 7,6,2.

وتظهر الصور انعكاسية عالية للرواسب الرملية الريحية التي تأخذ اللون الأصفر مقارنة بالصخور الجيرية التي تأخذ اللون الأزرق. وذلك لأن انعكاسية الرمال ترتفع في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وتقل في نطاق الأشعة الزرقاء والعكس صحيح بالنسبة للصخور الجيرية.

وبالمقارنة بصرياً بين الثلاثة تواريخ المختارة يظهر أن هناك اختلافاً في نسبة تركيز اللون الأصفر في عام ٢٠٠٢م و٢٠١٩م عنها في عام ١٩٨٥م نتيجة لاختلاف كثافة الرواسب الرملية التي تنتشر في شكل غطاءات رملية Sand Sheets. كما تظهر انعكاسية المناطق ما بين المجاري المائية في منطقة الرواسب الرملية بلون يميل إلى الأزرق الخفيف الذي ما لبث أن اختفى في السنوات اللاحقة نتيجة لتزايد كمية الرواسب الرملية الريحية.

جدول رقم ٣: قيم OIF مرتبة تنازلياً حيث تمثل أعلى قيمة مركب النطاقات الأفضل لعرض المعلومات

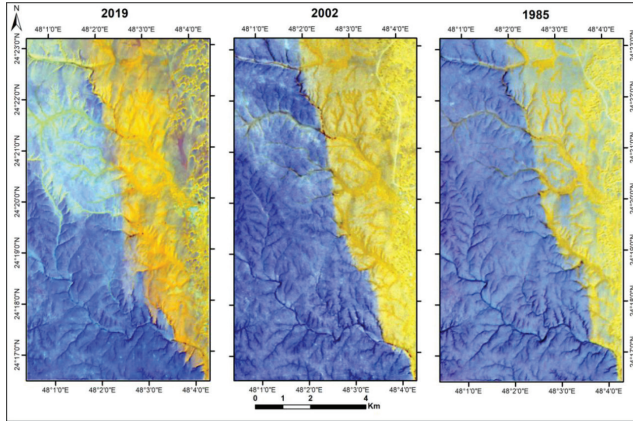
الترتيب	النطاقات Bands RGB	مجموع الانحراف $\sum \sigma(i)$	مجموع قيم الارتباط $\sum r(j) $	قيمة المؤشر OIF
1	751	16.08	2.38	6.73
2	753	16.94	2.69	6.29
3	754	17.10	2.74	6.23
4	531	14.97	2.47	6.04
5	541	15.14	2.51	6.02
6	752	15.42	2.60	5.92
7	543	16.00	2.75	5.81
8	542	14.48	2.66	5.43
9	521	13.46	2.49	5.40
10	532	14.32	2.65	5.39
11	731	11.66	2.39	4.87
12	741	11.83	2.43	4.86
13	743	12.69	2.71	4.67
14	742	11.17	2.62	4.26
15	721	10.15	2.39	4.23
16	732	11.01	2.60	4.23
17	431	10.72	2.60	4.11
18	432	10.07	2.80	3.58
19	421	9.21	2.60	3.52
20	321	9.04	2.60	3.46



كذلك أدى تزايد الرواسب الرملية الريحية في عام ٢٠٠٢م إلى زيادة انعكاسية اللون الأصفر إلى درجة أصبح معها التفريق ممكناً في درجة كثافة الرواسب الرملية الريحية بين الأودية ومناطق ما بين الأودية.

أما في عام ٢٠١٩م فيظهر بوضوح تطور الكثبان الرملية الهلالية البرخان في الجهة الشمالية الشرقية من الصورة عنه في الأعوام السابقة بسبب عوامل التذرية للرواسب الرملية الريحية من المناطق المحيطة.

كما شهد عام ٢٠١٩م نشاطاً في درجة الترسيب في الأودية حتى وصلت إلى تغطية المجاري المائية واختفائها بشكل شبه كامل في وسط الصورة، كذلك يظهر بصرياً تغلغل الرواسب الرملية الريحية في مجاري الأودية البعيدة من حدود الكثبان الرملية والتي تظهر بالانعكاسية ذات اللون الأصفر في داخل المجاري المائية البعيدة التي تقطع تكوينات الصخور الجيرية مع ظهور مناطق ما بين الأودية بلون فاتح أيضاً.



شكل رقم (٣): مركب الألوان الزائفة 7,5,1 RGB في بيانات لاندسات TM و لاندسات ETM و 7,6,2 RGB في لاندسات OLI

وللمقارنة إحصائياً بين هذه الصور تم استخدام التصنيف المراقب Super-
Unsupervised Classification vised يسبقه أسلوب التصنيف الغير مراقب
.Classification

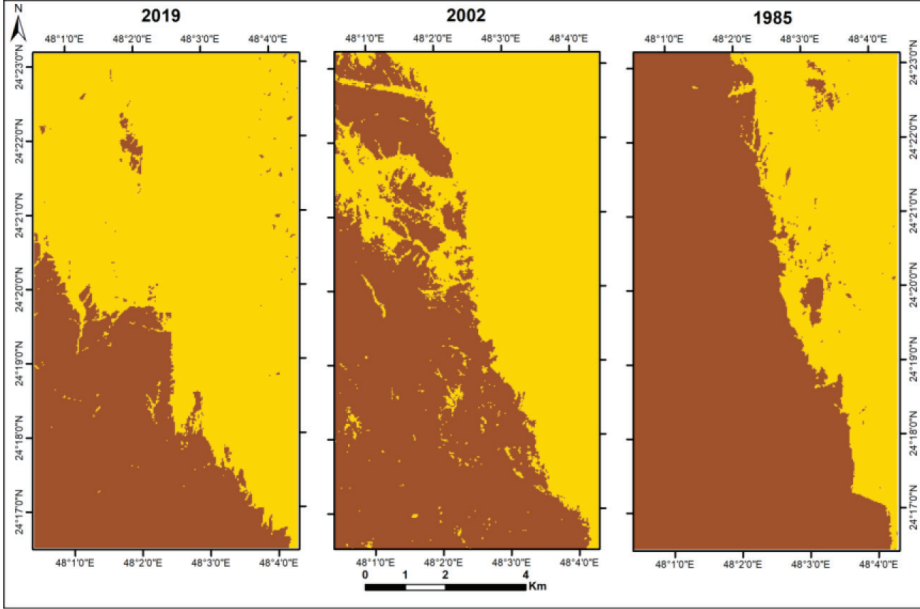
ويشير الشكل رقم (٤) إلى التصنيف المراقب الذي يستطيع المحلل أن يختار
مناطق التدريب وتعريفها للحاسب وذلك بالتركيز على انعكاسية الرمال مقارنة
بالصخور الرسوبية للحجر الجيري.

ويوضح الجدول رقم (٤) الفروقات الإحصائية نتيجةً للتصنيف المراقب
حيث يلاحظ زيادة مساحة الرواسب الرملية الريحية في عام ٢٠١٩م عنها في
الأعوام ٢٠٠٢م و١٩٨٥م.

فقد بلغ عدد البيكسلات للرواسب الرملية الريحية في عام ١٩٨٥م حوالي
٣١٧١٧ بيكسل بمساحة إجمالية تصل إلى ٢٨,٥٤ كم^٢، وفي عام ٢٠٠٢م
بحوالي ٤٥٦٤٥ بيكسل بمساحة إجمالية تصل إلى ٤١,٠٨ كم^٢ بنسبة زيادة
تقدر بحوالي ١٥,٥%.

أما في عام ٢٠١٩م فبلغ عدد البيكسلات حوالي ٦٤١٤٧ بيكسل بمساحة
إجمالية تقدر بحوالي ٥٧,٧٣ كم^٢ بنسبة زيادة تصل إلى حوالي ٢٠,٦% عنها
في عام ٢٠٠٢م أي بمجموع نسبة زيادة تصل إلى ٣٦,١% عنها في عام ١٩٨٥م.
أما التحقق من دقة التصنيف Accuracy assessment فقد بلغت في تصنيف
الرمال ٤٢,٨٤%، بينما بلغت في تصنيف الصخور الجيرية ٧١,٥٥%.

شكل رقم (٤): نتائج التصنيف المراقب لمنطقة الدراسة



حيث: يمثل اللون الأصفر الرمال بينما يمثل اللون البني الصخور الرسوبية وفي محاولة لتقدير متوسط الانسياب الرملي في منطقة الدراسة تم اختيار منطقة مستوية ما بين الأودية أو ما تعرف محلياً ب «الظهرة» في وسط الصورة وجرى القياس مع الاتجاه السائد للرياح والذي يستدل عليه أيضاً من اتجاه طرفي كثيب البرخان التي تمتد بالاتجاه الذي تهب باتجاهه الرياح السائدة (امبابي وعاشور، ١٩٨٢م Cooke et. al, 1993).

وقد اختيرت نقطة البداية من حدود انعكاسية الرواسب الرملية الريحية التي تظهر في عام ١٩٨٥م ورسم خط القياس بخط مستقيم يتجه مع مسار الرياح السائدة من الشمال الشرقي باتجاه الجنوب الغربي وينتهي في حدود انعكاسية الرواسب الرملية الريحية في عام ٢٠١٩م (شكل رقم ٥).

جدول رقم ٤: نتائج التصنيف المراقب لمنطقة الدراسة

زيادة كمية الرمال بين الفترتين (%)	المساحة الإجمالية بالكم ٢	النسبة %	مساحة الصخور الرسوبية بالكم ٢	عدد البيكسل (صخور)	النسبة %	مساحة الرمال بالكم ٢	عدد البيكسل (رمال)	السنة
١٥,٥	٨٠,٨٦	٦٤,٧	٥٢,٣١	٥٨١٢٩	٣٥,٣	٢٨,٥٤	٣١٧١٧	م ١٩٨٥
	٨٠,٨٦	٤٩,٢٠	٣٩,٧٨	٤٤٢٠١	٥٠,٨٠	٤١,٠٨	٤٥٦٤٥	م ٢٠٠٢
٢٠,٦	٨٠,٨٦	٢٨,٦٠	٢٣,١٣	٢٥٦٩٩	٧٠,٧٣	٥٧,٧٣	٦٤١٤٧	م ٢٠١٩

وقد تم القياس بربط الصور الثلاث جغرافياً وبالتالي يظهر خط القياس والكتابة على جميع الصور ولذلك تمثل نهاية الخط في الصورة عام ٢٠١٩ م مع حدود التصنيف مؤشراً آخر على دقة التصنيف بصرياً. وقد جاءت النتيجة كما يلي:

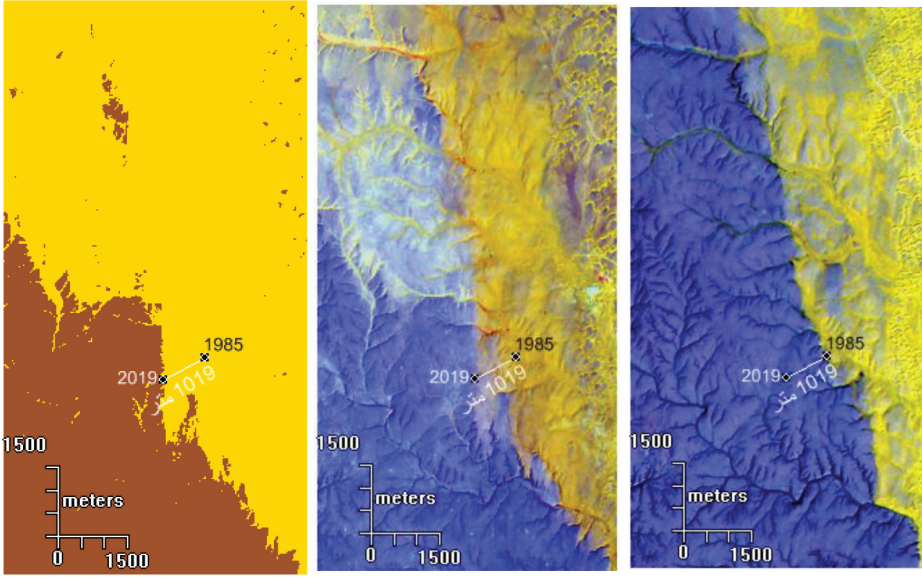
يبلغ مجموع الانسياق الرملي في الفترة من ١٩٨٥-٢٠١٩ م حوالي (١٠١٩ متراً أي ما يعادل ٢٩,٧٩ متراً/سنة). وقد جرى تقسيم هذه الفترة إلى فترتين طول كل فترة ١٧ سنة: الفترة الأولى من ١٩٨٥-٢٠٠٢ م والفترة الثانية من ٢٠٠٢-٢٠١٩ م.

وبالمقارنة بين الفترتين يظهر أن الانسياق الرملي يقل في الفترة من ١٩٨٥-٢٠٠٢ م (البالغة ٤٠٨ متراً أي ما يعادل ٢٤ متراً/سنة) عنه في الفترة من ٢٠٠٢-٢٠١٩ م (البالغة ٦١١ متراً أي ما يعادل ٣٥ متراً/سنة).

وهذا يعني أن الفترة ما بعد عام ٢٠٠٠ م شهدت زحفاً رملياً يصل تقريباً إلى نسبة ٦٠% مقارنةً بنهاية فترة الثمانينات والتسعينات الميلادية من القرن الماضي

والتي تصل إلى ٤٠%. ويظهر التأثير بشكل واضح في تغطية الكثير من الأودية في الصورة بالرواسب الرملية الريحية.

شكل رقم (٥): تقدير الانسياب الرملي بين عامي ١٩٨٥م و ٢٠١٩م



ملاحظة: تم القياس بربط الصور الثلاث جغرافياً وبالتالي تتفق نهاية الخط في ٢٠١٩م مع حدود التصنيف.

ولتمييز تغطية الرواسب الرملية الريحية على الأودية في السنوات المختارة تم استخدام تحليل مؤشر المعادن Mineral Composite الذي أعطى نتائج جيدة في البيانات لعام ١٩٨٥م و ٢٠٠٢م لمحاولة فصل الكثبان الرملية عن الصخور الرسوبية، ولكن هذا المؤشر لا يدعم الاختلاف الذي طرأ على البيانات في لاندسات-٨ ولذلك لم يكن موجوداً ضمن المؤشرات. وبالتالي تم الاستعاضة

عن ذلك باستخدام مؤشر نسب النطاقات الذي أثبت فعالية في التعرف على الرواسب الرملية الريحية وفصلها عن الصخور المجاورة ومناطق ما بين الكثبان (Howari et. al., 2007).

ويعرف هذا المؤشر في ERDAS ب IR/R Infrared divided by Red وذلك بقسمة نطاق الأشعة تحت الحمراء على الأشعة الحمراء. وقد تستخدم المعادلة بتغيير نطاق الأشعة الحمراء بالزرقاء التي تعطي نتائج جيدة لقياس الاختلافات بين الرمال والصخور الرسوبية في منطقة الدراسة.

وقد استطاعت نسب النطاقات 1/7 في لاندسات-TM و ETM و 2/7 في لاندسات OLI أن تعطي عزلاً للرمال عن الصخور الجيرية والأرصفت الصحراوية (شكل رقم ٦).

ومع مراعاة الاختلافات في المعايير الراديومترية والهندسية التي طرأت على تطور تصميم أجهزة الاستشعار المحمولة على لاندسات فقد أظهرت القيم الرقمية لهذه النسب أنها تنحصر ما بين (-294, 0 - 240, 0). فتظهر الرواسب الرملية الريحية باللون الفاتح على درجة المقياس الرمادي، بينما تظهر بقية الصخور باللون الداكن المائل للأسود وبالتالي يعبر التدرج في اللون الفاتح باتجاه اللون الأبيض عن كثافة الزحف الرملي وتشكل الكثبان.

ففي الصور في عامي 1985م و 2002م يظهر أن هناك تركيزاً للرواسب الرملية الريحية في الجزء الشمالي الشرقي من هذه الصور، بينما لم تظهر تشكيلات الكثبان البركانية بنفس الوضوح في هذه المنطقة إلا في عام 2019م (السهم الأخضر).

وقد يُعزى ذلك إلى أن المنطقة خضعت لتذرية محلية أدت لبناء الكثبان

البرخانية التي يصل ارتفاعها حقلياً بحوالي ٢م بينما تم نقل المواد الناعمة وترسيبها في بطون الأودية.

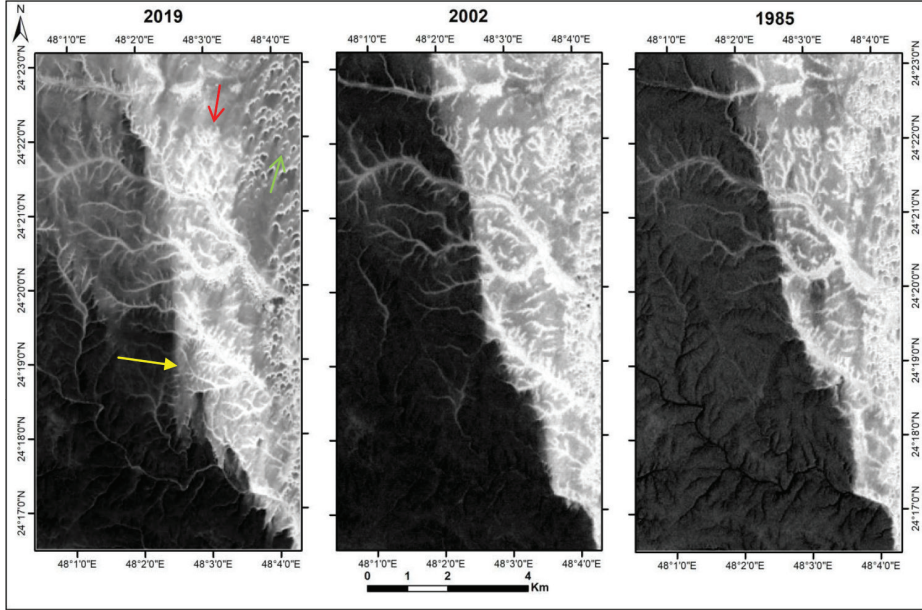
كما يستدل من تلاشي اللون الأبيض وتدرجه باتجاه اللون الرمادي في هذه المنطقة في عام ٢٠١٩م إلى تجميع هذه الرواسب الرملية الريحية في شكل كتبان برخانية وقد تتطور إلى الالتحام مع بعضها البعض حتى تصل إلى كتبان عرضية.

كذلك توضح الصورة في عام ٢٠١٩م دفن بعض الأودية الصغيرة (السهم الأحمر) بشكل شبه كلي والتي كانت تظهر في صور عام ١٩٨٥م و ٢٠٠٢م على أنها مجاري مائية تمثل الرتبة الأولى في التصنيف الهيدرولوجي للمجاري المائية حسب نموذج ستريلر.

وقد أدى زحف الرواسب الرملية الريحية إلى تغطية المجاري المائية من الرتب الأعلى أيضاً والمشار لها بالسهم الأصفر في وسط الصورة.

وتوضح الصورة رقم (٢) التي تم التقاطها لجزء من الوادي المشار إليه بالسهم الأصفر في وسط صورة ٢٠١٩م حجم الانسياب الرملي على المجاري المائية وبناء الكتبان في داخل الوادي وتسلقها على ضفافه.

شكل رقم (٦): زحف الرواسب الرملية الريحية على الأودية.



صورة رقم (٢): كثافة الانسياب الرملي في الأودية والرجل في وسط الصورة للمقياس في بطن الوادي والسيارة للمقياس في أرض ما بين الأودية

النتائج

تُعدُّ بيانات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات من أهم البيانات التي يمكن الاعتماد عليها في مراقبة حركة الرواسب الرملية الريحية في وسط المملكة وذلك بسبب تعدد النطاقات الطيفية وتوفر الصور في أرشيف مجاني واستمرارية تدفقها منذ عام ١٩٧٢ م.

ويتضح من الأساليب المستخدمة في المعالجة الرقمية في هذه الدراسة أن أبرز النتائج تأتي كالتالي:

١- يلعب أسلوب المؤشر الأفضل لاختيار مركب النطاقات OIF دورًا مهمًا في اختيار أفضل مركبات الألوان للانعكاسية الطيفية التي تفصل بين الكثبان الرملية والأرصفة الصحراوية والأودية، حيث جاء مركب الألوان الزائفة RGB ٧٥١ أفضل النطاقات التي من الممكن استخدامها للتمييز بين الرواسب الرملية الريحية والصخور الجيرية.

٢- يمثل التصنيف المراقب أسلوبًا إحصائيًا فعالاً في تقدير كمية الانسياب الرملي على المساحة بالكم^٢ وبالتالي يمكن تقدير امتداده أيضًا بالمقارنة بين الصور المصنفة والأساسية. وقد جاء تقدير المعدل السنوي للانسياب الرملي في منطقة الدراسة بحوالي ٢٩,٧٩ م سنويًا في الفترة من عام ١٩٨٥م-٢٠١٩م.

٣- بمقارنة تحليل الصور المصنفة بين الفترتين يظهر أن الانسياب الرملي يقل في الفترة من ١٩٨٥-٢٠٠٢م (البالغة ٤٠٨ مترًا أي ما يعادل ٢٤ مترًا/سنة) عنه في الفترة من ٢٠٠٢-٢٠١٩م (البالغة ٦١١ مترًا أي ما يعادل ٣٥ مترًا/سنة). أي بمعنى أن المنطقة شهدت بعد عام ٢٠٠٠م انسيابًا رمليًا يصل تقريبًا إلى نسبة ٦٠% مقارنةً بنهاية فترة الثمانينات والتسعينيات الميلادية من القرن الماضي والتي تصل إلى ٤٠%. وقد تُعزى زيادة

الانسياق الرملية بعد عام ٢٠٠٠م إلى زيادة الرعي الجائر نتيجة للتوسع في اقتناء الإبل والتي أصبحت أعدادها أكثر من طاقة المراعي. وبالتالي نتج عن الرعي الجائر مشكلة أخرى تتمثل في الاحتطاب الجائر الذي قضى على جذور نبات الأرتطى والعبيل والغضا التي تكثر في رمال الدهناء.

٤- يقترب معدل الانسياق الرملية في هذه الدراسة مع النتيجة التي توصلت لها آل سعود (٢٠٠٤م) حول تحرك الكثبان البركانية الصغيرة في الأحساء والتي بلغت ٢٥م/سنة. كذلك تقترب مع تقدير دراسة Al-Dousari and Pye (٢٠٠٥م) في شمال غرب الكويت والذين قدروا حركة البرخان الصغيرة بحوالي ٢٤م/سنة.

٥- لتمييز تغطية الرواسب الرملية الريحية على الأودية في السنوات المختارة، كانت نسب النطاقات ١/٧ في لاندسات-TM و ETM و ٢/٧ في لاندسات OLI هي الأفضل في توضيح زحف الرواسب الرملية الريحية على المجاري المائية من الرتب النهريّة المختلفة. وبالتالي أظهرت النتائج اختفاء عدد من الرتب النهريّة الأولى والثانية (على تصنيف ستيرلر) في عام ٢٠١٩م. كما أظهرت أنماطاً مختلفة من الكثبان الرملية في الجزء الشمالي الشرقي من الصورة والتي يسيطر عليه نمط الكثبان الهلالية (البرخان) التي تظهر بشكل واضح. كذلك يعمل هذا الأسلوب على تمييز مراحل نمو الكثبان الرملية عبر تحليل درجة القدرة التمييزية Intensity التي تتدرج من اللون الفاتح للكثبان مكتملة النمو حتى مرحلة ما قبل اللون الداكن للرواسب الرملية الريحية التي تتخلل الصخور الجيرية للأرصفت الصحراوية. وقد يؤدي هذا التمييز في الدراسات المستقبلية إلى تقدير كمية التذرية التي تعمل على تشكيل الكثبان الرملية الهلالية وحساب كمياتها بالنسبة للمتخصصين في دراسة الرمال.



التوصيات:

ومن أهم التوصيات التي من الممكن أن تضيفها هذه الدراسة:

أهمية استمرار استخدام بيانات الاستشعار عن بعد، خاصةً بيانات لاندسات في مراقبة حركة الرمال لكفاءتها العالية. فعلى الرغم من الوضوح المكاني المنخفض مقارنةً بما يتوفر حالياً من دقة عالية لبعض البيانات إلا أن توفرها مجاناً ولفترات زمنية تمتد إلى أكثر من ٤٥ سنة وتغطيتها الواسعة ووضوحها الطيفي العالي ودقتها الجيومترية والراديو مترية تجعلها من أفضل البيانات في مراقبة الانسياب الرملي. أما بيانات الاستشعار عن بعد ذات الوضوح المكاني العالي فيمكن استخدامها للمناطق الصغيرة، وبالتالي لا بد من اللجوء تاريخياً إلى الصور الجوية القديمة التي قد يكون هناك صعوبة في توفرها.

والجدير بالذكر أن منطقة الدراسة تعاني من الرعي الجائر الأمر الذي استدعى من الجهات المسؤولة وضع اللوحات التحذيرية التي تبرز هذه المشكلة، وقد يُعزى تسارع الانسياب الرملي في السنوات الأخيرة إلى زيادة الرعي الجائر التي تعاني منه منطقة الدهناء والتي تفاقمت بعد الزيادة في أعداد الأبل نتيجة لزيادة أسعارها والتنافس الاجتماعي في اقتنائها والذي أنتجته هذه المرحلة (صورة رقم ٣).

صورة رقم (٣): لوحة تحذيرية من مشكلة الرعي الجائر في هذه المنطقة والذي قد يكون أحد أهم الأسباب في زيادة الانسياب الرملي



المراجع العربية والأجنبية

أبو الخير، يحيى محمد شيخ، ١٤٠٤ هـ: زحف الرمال بواحة الأحساء، النشره الجغرافية المحكمة، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، العدد ٦٤، ص ٢٧ - ١.

أبو الخير، يحيى محمد شيخ، ١٤١٣ هـ (١٩٩٣): نماذج جيومورفولوجية من طلائع بحر الرمال في المملكة العربية السعودية، الإطار المرجعي: المشكلة والحل، مجلة جامعة الملك سعود، م (٥)، الآداب (٢)، ص ٦٠٣ - ٦٢٩.

آل سعود، مشاعل (١٤٢٤ هـ / ٢٠٠٤ م): تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة زحف الكثبان الرملية في واحة الاحساء، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية، العدد ٢٨٥، جامعة الكويت.

آل سعود، مشاعل، (١٩٨٦ م): الانسياق الرملي وخصائصه الحجمية بصحراء الدهناء على خط الرياض - الدمام، رسالة ماجستير منشورة، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت العوضي، جاسم (١٩٨٩ م) حركة الكثبان الهلالية في الكويت، السلسلة العلمية وحدة البحوث الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت

إمبابي، نبيل وعاشور، محمود (١٩٨٣): الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر مركز الوثائق والبحوث الإنسانية الدوحة، الجزء الأول.

العوضي، جاسم محمد (١٩٨٩ م): حركة الكثبان الهلالية في الكويت - رسائل جغرافية - الجمعية الجغرافية الكويتية، ١٢٧ جامعة الكويت.

Afrasinei G.M., Melis M.T., Arras C., Pistis M., Buttau C., Ghiglieri G., (2018). Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. European Journal of Remote Sensing.



Volume 51, - Issue 1.

Al-Awadhi, J.M., Al-Hellal, A. and Al-Enezi, A. (2005) Sand Drift Potential in the Desert of Kuwait. *Journal of Arid Environments* , 63, 425-438.

Al-Dabi, H., Koch, M., Al-Sarawi, M., El-Baz, F., 1997. Evolution of sand dune patterns in space and time in north-western Kuwait using Landsat images. *Journal of Arid Environments* 36, 15–24.

Al-Dousari, A. and Pye, K. (2005) Mapping and Monitoring of Sand Dunes in Northwestern Kuwait. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 32, 119-134.

Al-Hinai K., McMahon J. MOORE and Bush P. (1987) LANDSAT image enhancement study of possible submerged sand-dunes in the Arabian Gulf, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 8, Issue 2

Al-Hinai, K., 1989, Evaluation of Remote Sensing Data for Sand Studies In Saudi Arabia, In Workshop on Desert Studying in the Kingdom of Saudi Arabia , PP. 67 — 90.

Alhosani T., (2018) Modeling and Mapping Sand Encroachment Risk as an Aid for Urban Planning in the United Arab Emirates (UAE). *Journal of Geographic Information System*, 10, 699-717

Al-Khalaf, A., (1986). Specification and calibration of Bagnald's model for sand transport: Urayq al Buldan Dunetield, Central Saudi Ara-

bia. Indiana University, unpublished PhD dissertation.

Al-Masrahy M. and Mountney N. (2013) Remote sensing of spatial variability in aeolian dune and interdune morphology in the Rub' Al-Khali, Saudi Arabia. *Aeolian Research*. 11 Pp155–170

Al-Rowili, M, S., 2002, Using Remote Sensing to Map the Migration of sand Dunes in AL- Hass Oasis for Hazard Prediction, (PhD), University of Dundee , Scotland.

Anthonsen, K., Clemmensen, L. and Jensen, J. (1996). Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climatic changes: Råbjerg Mile, Skagen Odde, Denmark. *Geomorphology* 17, 63–77.

Chavez P S, Berlin G L and Bowers L B (1982) Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, vol. 8 Pp 23–30.

Chavez, P., Guptill, S., and Bowell, J. (1984) Image processing techniques for thematic mapper data, proceedings. ASPRS-ACSM Tech. Pap., 2, 728-742.

Cooke, R., Warren A., and Goudie A. (1993) *Desert Geomorphology*. UCL Press, London.

Els A. Merlo S. and Knight J. (2015) Comparison Of Two Satellite Imaging Platforms For Evaluating Sand Dune Migration In The UBARI

Sand Sea (Libyan Fazzan). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany.

Fryberger, S. and Dean, G. (1979). Dune forms and wind regime. In A Study of Global Sand Seas, E. McKee, ed., pp. 137-170. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1052.

Gómez D., Salvador P., Sanz J., Casanova C. and Casanova J. (2018) Detecting Areas Vulnerable to Sand Encroachment Using Remote Sensing and GIS Techniques in Nouakchott, Mauritania. Remote Sens. 2018, 10, 1541. doi:10.3390/rs10101541

Holm, D. (1960) Desert geomorphology of the Arabian Peninsula. Science. 132. 1369-1379.

Howari, F.M., Baghdady, A. and Goodell, P.C. (2007) Mineralogical and Geomorphological Characterization of Sand Dunes in the Eastern Part of United Arab Emirates Using Orbital Remote Sensing Integrated with Field Investigations. Geomorphology. 83, 67-81

Hughenoltz C., Levin N., Barchyn T., and Baddock M. (2012) Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: a review and outlook. Earth-Science Reviews 111: 319-334.

Le Nindre, Y. Vaslet, D., Maddah S. and Al-Husseini M. (2008) Stra-

tigraphy of the Valanginian? to Early Paleocene succession in central Saudi Arabia outcrops: Implications for regional Arabian sequence stratigraphy. *GeoArabia*, Vol. 13, No. 2, Gulf PetroLink, Bahrain.

Pease, P.P., Bierly, G.D., Tchakerian, V.P., Tindale, N.W., 1999. Mineralogical characterization and transport pathways of dune sand using Landsat TM data. *Wahiba Sand Sea, Sultanate of Oman Geomorphology Geomorphology* 29 (3–4), 235–249

Potter, C., Weigand, J. (2016). Analysis of Desert Sand Dune Migration Patterns from Landsat Image Time Series for the Southern California Desert. *Journal of Remote Sensing & GIS* 5(2), 164–178. DOI: 10.4172/2469-4134.1000164

Ramsey, M., Christensen, P., Lancaster, N., Howard, D. (1999). Identification of sand sources and transport pathways at the Kelso Dunes, California, using thermal infrared remote sensing. *Geol. Soc. Am. Bull.* 111, 646–662.

Sadiq A. and Howari F. (2009) Remote Sensing and Spectral Characteristics of Desert Sand from Qatar Peninsula, Arabian/Persian Gulf. *Remote Sens.* 1, 915-933; doi:10.3390/rs1040915

Saleous N., Issa S. and Saeed R. (2017) Mapping Sand Dune Fields in Abu Dhabi Emirate Over the Period of 1992–2013 Using Landsat Data., *Global Changes and Natural Disaster Management: Geo-information*

Technologies, In Pirasteh S. and Li, J. (eds.), DOI 10.1007/978-3-319-51844-2_8, Springer International Publishing.

Wulder M., Lovelandb T., Royc D., Crawfordd C., Maseke J., Woodcockf C., Alleng R., Andersonh M., Belwardi A., Cohenj W., Dwyerb J., Erbk A., Gaoh F., Griffithsl P., Heldermd D., Hermosillaa,n T., Hippleo J., Hostertp P., Hughesq M., Huntingtonr J., Johnsons D., Kennedyq R., Kilict A., Lia Z., Lymburnerl L., McCorkele J., Pahlevanv,w N., Scambosx T., Schaafk C., Schotty J., Shengz Y., Storeyaa J., Vermotev E., Vogelmannb J., Whitea J., Wynneab R. and Zhuac Z. (2019) Current status of Landsat program, science, and applications. Remote Sensing of Environment 225. P 127–147

Zhua Z., Michael A. Wulderb , David P. Royc , Curtis E. Woodcockd , Matthew C. Hansene , Volker C. Radeloff , Sean P. Healeyg , Crystal Schaafh , Patrick Hosterti,n , Peter Stroblj , Jean-Francois Pekelj , Leo Lymburnerk , Nima Pahlevanl , Ted A. Scambosm (2019) Benefits of the free and open Landsat data policy. Remote Sensing of Environment 224, Pp 382–385.

Zhua, Z., Wulderb M., Royc D., Woodcockd C., Hansene M., Radeloff V., Healeyg S., Schaafh C., Hosterti,n P., Stroblj P., Pekelj J., Lymburnerk L., Pahlevanl N., Scambos T. (2019) Benefits of the free and open Landsat data policy. Remote Sensing of Environment 224. P 382–385.