مجلة العلوم العربية والإنسانية | E-ISSN : 1658-9602 |
جامعة القصيم، المجلد الاكتروني (١)، العدد (٢)، ص ص ٧١٧-٧٧٠، (ربيع الثاني ١٤٤٤ هـ/ أكتوبر ٢٠٢٢) المجلد العام (١٦)

استخدام المؤشِّرات الطَّيفيَّة في دراسة حركة رمال الجافورة وآثارها البيئيَّة بشرقيِّ المملكة العربيَّة السُّعوديَّة خلال الفترة ما بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٩م

أ. نوره محمَّد النَّعيم — طالبة دراسات عليا بقسم الجغرافيا بكليَّة اللُّغة العربيَّة والدِّراسات الاجتماعيَّة في جامعة القصيم

أ.د. أحمد عبد الله الدِّغيري — الأستاذ بقسم الجغرافيا بكليَّة اللُّغة العربيَّة والدِّراسات الاجتماعيَّة في جامعة القصيم

(قدم للنشر في ١٤٤٣/٨/٤ هـ وقبل للنشر في ١٤٤٣/١٠/٧ هـ ونشر في ١٤٤٤/٤/١هـ)

ملخّص البحث:

تشهد المنطقة الشَّرقيَّة عمليَّات تذريةٍ ريحيَّةٍ في معظم فصول السَّنة، وخاصَّةً أنَّها تتميَّز بوجود ثلاثة بحارٍ رمليَّةٍ تتمثَّل في: صحراء الدَّهناء، وصحراء الجافورة، وصحراء الرُّبع الخالي، الأمر الذي يعرِّض المراكز العمرانيَّة والحيازات الزِّراعيَّة وطرق النَّقل إلى خطر زحف الرِّمال التي تقع في الحدود المجاليَّة لتلك البحار الرَّمليَّة. تعدُّ صحراء الجافورة -ذات الأصل البحريِّ - الأكثر تأثيراً على بيئة المنطقة، لذا أضحت دراسة خصائصها وحركتها وتأثيراتها البيئيَّة أمراً بالغ الأهميَّة. وقد مكَّنت المؤشِّرات الطَّيفيَّة والمسح الميدانيِّ -كمؤشِّر اختلاف النَّبات NDVI، ومؤشِّر كشف التَّغيُّر Change Detection، ومؤشِّر معدَّل الاحمرار Redness Rating، ومؤشِّر التَّوزيع المكانيِّ للكثبان الرَّملية NDSI - إلى تبيان أنَّ الكثبان الرَّملية الهلاليَّة، والفرشات الرَّملية هي النَّمط السَّائد في صحراء الجافورة. كما استطاعت تقنيَّة الاستشعار عن بُعد الكشف عن الخصائص المورفولوجيَّة واللَّونيَّة لها، حيث يُشير لونها الأصفر إلى أصلها البحريِّ، بينما يُشير اللَّون البنيُّ الباهت واللَّون البنيُّ الباهت جدًّا إلى أصلها القاريِّ. وقد قُدِّرت حركة زحف الرِّمال

بمعدَّلٍ سنويٍّ بلغ ١٥.٥ متر، والتي أثّرت بدورها على التَّوزيع الجغرافيِّ للغطاء النَّباتيِّ، إضافةً إلى تأثيرها على عددٍ من المراكز العمرانيَّة وطرق النَّقل المختلفة.

الكلمات المفتاحية : زحف الرِّمال، مؤشِّر اختلاف النَّبات NDVI، مؤشِّر التَّوزيع المكانيِّ للكثبان الرَّملية NDSI، مؤشِّر معدَّل الاحمرار Redness Rating، مؤشِّر كشف التَّغيُّر Change Detection.

The Use of Spectral Indicators in the Study Dynamic of the Al Jaforah Desert and its Environmental Effects in Eastern Saudi Arabia during 2000-2019

Nora Alnaim
PhD student at Qassim Universit

Ahmed Aldughairi
Professor of Geomorphology and Remote Sensing- Qassim University

Received on 4-8-1443 AH Accepted on 7-10-1443 AH Published on 1-4-1444 AH

Abstract:

The Eastern Region is exposed to wind erosion in most seasons of the year, especially since the region is characterized by the presence of three sand seas represented in the Al-Dahna desert-the Jaforah desert-the Rub al khali desert, which exposes urban centers, agricultural lands and roads to the danger of sand encroachment that lies within these deserts, and is considered a desert Al-Jaforah of marine origin is one of the most influential in the region's environment.

The study has a descriptive approach and an analytical approach based on field study methods and analysis of satellite images using remote sensing techniques such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Change Detection, in addition to the Redness Rating Index and the Sand Normalized difference sand index (NDSI).

The study showed that crescent sand dunes and sand sheets are the dominant pattern in the desert of Al jaforah sands, and remote sensing techniques able to reveal its morphological and color characteristics, as it is yellow in color indicating its marine origin, while the pale brown and very pale brown color indicate its continental origin And that sand creeps at an annual rate of 15.5 meters, which in turn affected the geographical distribution of vegetation cover, in addition to its effects on urban centers and roads.

Key words: Sands Creeps, Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Sand Index, Redness Rating, Change Detection.

المقدمة:

اعتمدت الدِّراسات الجيومورفولوجيَّة ذات العلاقة بالاستدامة البيئيَّة على المسوحات الميدانيَّة في بداية البحث العلميِّ، كدراسات ديفز (١٩٠٢ م): والذي درس فيها نشأة وتطوُّر الأشكال الجيومورفولوجيَّة بناءً على عوامل البنية والتَّركيب الجيولوجي، والقوى التي أدَّت إلى تشكُّلها، ثمَّ عامل الزَّمن. إضافةً إلى دراسات كلاً من هورتن وسترالر (١٩٥٤م)، اللَّذان أضافا القياسات المورفومتريَّة والمورفولوجيَّة لدراسة الوحدات الجيومورفولوجيَّة. ومع التَّطوُّر التِّقنيِّ، والتَّصوير الجويِّ، ومرئيَّات الأقمار الاصطناعيَّة، والبرامج الحاسوبيَّة تطوَّرت أساليب جمع البيانات الجيومورفولوجيَّة وخاصَّةً في مجال الدِّراسات التَّطبيقيَّة منها، حيث استفادت من تقنيات الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة في جمع البيانات الجيومورفولوجيَّة بدقَّةٍ عاليةٍ وموضوعيَّةٍ خلال فترةٍ وجيزةٍ -خاصَّةً في المناطق الوعرة التي يَصعُب على الباحثين الوصول إليها، مثل: منحدرات الجبال، وأحواض التَّصريف، والصَّحاري القاحلة -.

يأتي بحث خصائص حركة رمال الجافورة وتأثيراتها البيئيَّة باستخدام المؤشِّرات الطَّيفيَّة والمسح الميدانيِّ في إطار الاهتمام بالتِّقنيَّات الحديثة كواحدةٍ من الاتجاهات الحديثة في البحث العلميِّ الجيومورفولوجي. وتبرز أهميَّة الدِّراسة الميدانيَّة في التَّحقُّق من المعلومات الجيومورفولوجيَّة التي تمَّ الحصول عليها من تلك التِّقنيَّات. وقد تمَّ اختيار صحراء الجافورة كمنطقةٍ للدِّراسة نظراً لأهميَّتها البيئيَّة والاقتصاديَّة والاجتماعيَّة، حيث أُنشِئَت فيها العديد من مشاريع التَّنمية المُستدامة التي تقع على امتدادها.

تجمع الدِّراسة بين مصادر البيانات الميدانيَّة، وتقنيَّات الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة، حيث تمَّ تحليلها وتفسيرها من خلال البرامج والمؤشِّرات المذكورة، وبالتَّالي فقد أبرزت المراحل المتقدِّمة التي وصلت لها الدِّراسة. وقد اعتمدت الدِّراسة على تقنيَّات مؤشِّر اختلاف النَّبات (NDVI)، وتقنيَّة كشف التَّغير (Change Detection)، ومؤشِّر التَّوزيع المكانيِّ للكثبان الرَّمليَّة (NDSI)، إضافةً إلى معدَّل الاحمرار (Redness Rating) في دراسة حركة رمال الجافورة وتأثيراتها البيئيَّة، إلى جانب الدِّراسة الميدانيَّة لمورفولوجيَّة الكثبان الرَّملية والمواقع المتأثِّرة بحركة الرِّمال. وذلك بغرض فهم ديناميكيَّة حركة رمال الجافورة، ودعم صنَّاع القرار بقاعدة بياناتٍ تُسهِم في التَّخطيط للحدِّ من تأثيراتها البيئية، وذلك حسب المؤشِّرات الطَّيفيَّة التَّالية:

$$R= BRFr/ (BRFr+ BRFg+ BRFb)$$

(Bullard and White 2002)

حيث أنَّ:

R: الاحمرار الطَّيفيِّ.

BRFb: الانعكاس ثنائيُّ الاتجاه في الجزء الأزرق المرئيِّ من الطَّيف (٤٠٠ - ٥٠٠ نانومتر).

BRFg: الانعكاس ثنائيُّ الاتجاه في الجزء الأخضر المرئيِّ من الطَّيف (٥٠٠ - ٦٠٠ نانومتر).

BRFr: الانعكاس ثنائيُّ الاتجاه في الجزء الأحمر المرئيِّ من الطَّيف (٦٠٠ - ٧٠٠nm).

$$NDVI = NIR – R/ NIR + R$$

(Tucker 1980)

حيث إنَّ:

NDVI : مؤشِّر اختلاف النَّبات (قيمة دليل الفرق النَّباتي المتعامد).

NIR : الاستجابة الطَّيفيَّة في المنطقة تحت الحمراء.

R : الاستجابة الطّيفيَّة في المنطقة الحمراء.

NDSI = (SWIR2-R)/(SWIR2+R)
(Xin.et al, 2018)

حيث إنَّ :

SWIR2 : هي الأشعَّة تحت الحمراء القصيرة، والتي تحتلُّ النِّطاق (band7:2.08-2.35 µm).

R : هي الأشعَّة الحمراء (band 3: 0.63-0.069 µm) من الطَّيف الكهرومغناطيسيِّ Electromagnetic Spectrum.

تتوافق أهميَّة الدِّراسة مع الاتجاهات العلميَّة المعاصرة في الدِّراسات البيئيَّة والجيومورفولوجيَّة، إذ أنَّها تحاول استكشاف التَّغيُّرات البيئيَّة والدِّيناميَّة المرتبطة بالتَّغيُّرات البيئيَّة والمناخيَّة للمناطق الصَّحراويَّة، وتأثيراتها على الأنشطة البشريَّة. أمَّا الأهميَّة العمليَّة للدِّراسة فتأتي من الأهميَّة الاقتصاديَّة والاجتماعيَّة للمنطقة، ومجاورتها لدول مجلس التَّعاون الخليجيِّ، وربطها مع العاصمة الرِّياض بالطُّرق الدُّوليَّة، والتي أصبحت ذات أولويَّةٍ بالنِّسبة للتَّنمية المُستدامَة.

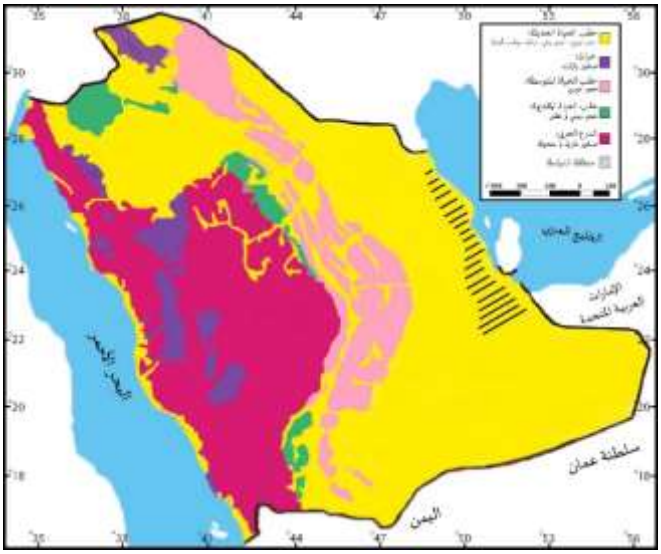
منطقة الدراسة :

تقع صحراء الجافورة شرقي المملكة العربية السعودية على هضبة الصمان بين دائرتي العرض ٣٠' ٢٢° و١٠' ٢٧° شمالاً (الطاهر، ١٩٩٩م)، حيث تمتد من الجبيل شمالاً إلى أن تلتقي وتندمج مع رمال الربع الخالي جنوباً في مساحة تقدر بـ ٣٢,٠٠٠ كم^{٢} (الشكل ١).

الشَّكل (١): موقع صحراء الجافورة في شرق المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، المصدر: اعتماداً على أطلس المملكة العربيَّة السُّعوديَّة (٢٠١٤م).

تشغل صحراء الجافورة أجزاءً واسعةً من الرَّفِّ العربيِّ Arabian Shelf والذي يُطلَق عليه إقليم الصُّخور الرُّسوبيَّة (الشَّكل ٢)، ويمتدُّ إلى الشَّرق من الدِّرع العربيِّ وحتَّى الخليج العربيِّ، وذلك من حدود المملكة مع الأردن والعراق شمالاً وحتى حدودها مع اليمن جنوباً وسلطنة عمان في الجنوب الشَّرقيِّ (الطاهر ١٩٩٩م). وقد كان الرَّفُّ العربيِّ رصيفاً قاريَّاً لكتلة الدرِّع العربيِّ، ويغطِّي سطحه طبقاتٍ مختلفة السُّمك ترسبت فيه خلال العصور الجيولوجيَّة المتتابعة، وهي طبقاتٍ رسوبيَّةٍ شبه

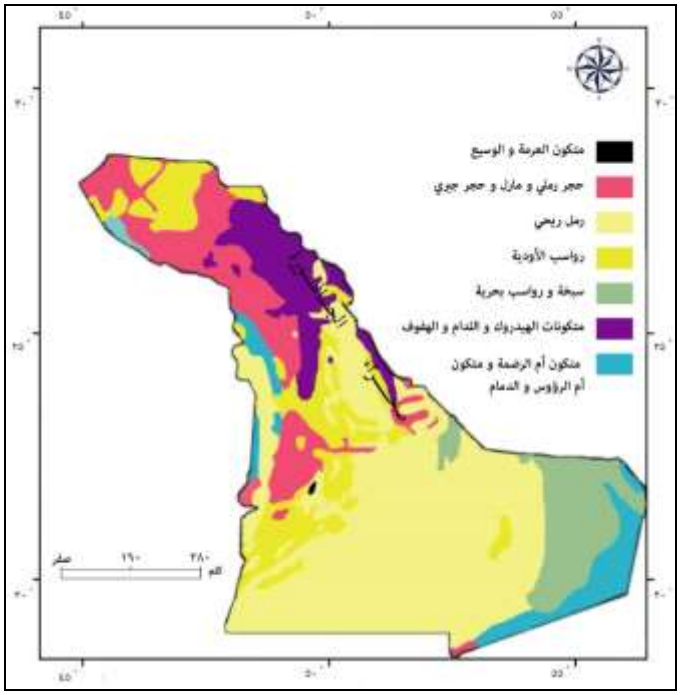
مستويةٍ تتكوَّن من الصُّخور الرَّمليَّة والجيريَّة والطِّفليَّة، ومن أصداف الحيوانات فوق القاعدة الأركيَّة القديمة (هيئة المساحة الجيولوجيَّة السُّعوديّة، ٢٠١٢م).



الشكل (٢): الخريطة الجيولوجيَّة للمملكة العربيَّة السُّعوديَّة
المصدر: من إنجاز الباحثين اعتماداً على الخريطة الجيولوجيّة للمملكة من هيئة المساحة الجيولوجيَّة السُّعوديَّة (٢٠١٢م).

وتتمثَّل التَّكوينات الجيولوجيَّة في عددٍ من الإرسابات الصَّخريَّة (الشَّكل ٣)، والتي منها تكوينات حقب الحياة المتوسِّطة في العصر الطَّباشيريِّ المتمثِّلة بتكوين الوسيع في عصريِّ التُّورني والسّنوميني، والذي يتكوَّن من الحجر الرَّمليِّ الطّفليِّ بصورةٍ ثانويَّة والدّولومايت بصورةٍ نادرةٍ وبسمك ٤٢م، وكذلك متكوّن العرمة من عصريِّ الكامبري والمستركتيين، والذي يمتدُّ إلى حقبة الزَّمن الثَّالث في عصريِّ المونتيني

والباليوسين، ويتكوَّن من الحجر الجيريّ والتَّشكيلات الثَّانوية من الدُّولوميت والطّفل والحجر الرمليِّ بسمك ١٤٢م.كما يظهر في منطقة الدِّراسة مجموعةٍ واسعةٍ من إرسابات الزّمن الثَّالث Tertiary، حيث تُقدَّر أعمارها من ٢٥ مليون سنة إلى فترة ما قبل عصر البلايستوسين المبكّر أي قبل ٣.٥ مليون سنةٍ مضت، إذ أنّها تنتشر في شمال وشرق المملكة فيما وراء رمال الدَّهناء والنُّفوذ الكبير، وتمتاز صخورها الرَّمليَّة بأنها غير كاملةٍ من حيث التَّرتيب الطَّبقيِّ وباستواء طبقاتها وبميلانها نحو الشَّرق والشَّمال الشّرقيِّ (Powers et al., 1966). كما وتتجسَّد هذه الصُّخور في: متكوِّن أم الرَّضمة، متكوِّن أم الرُّؤوس، متكوِّن الدَّمام، متكوِّن اللَّدام، متكوِّن الهدروك، متكوِّن الهفوف (الجبر، ٢٠٠٢م). ويظهر في منطقة الدِّراسة مجموعةٌ متنوعةٌ من إرسابات الزَّمن الرَّابع الذي يتَّسِّم بمناخٍ رطبٍ -خاصَّة بين فترة البلايوسين وبداية البلايستوسين - الأمر الذي أدَّى إلى تكوين رواسب بكميَّاتٍ هائلةٍ فوق الرَّفِّ العربيِّ نتيجةً لعمليَّات التَّعرية والتَّجوية للأودية المنحدرة من المرتفعات والهضاب الغربيَّة. كما يساعد المناخ شبه الجاف في فتراتٍ أخرى إلى تكوين قشورٍ صلبةٍ ومناطق جيريَّةٍ في مساحاتٍ واسعةٍ. وقد تعرَّض الرَّفُّ القاريِّ إلى تأثير المناخ الصَّحراويِّ -الذي ساد في شبه الجزيرة العربيَّة في عصر الهولوسين - حيث تكوَّنت مساحاتٍ شَاسعةٍ من الصَّحاري الرَّملية والسَّبخات ورواسب الوديان والبحيرات (Powers et al., 1966).



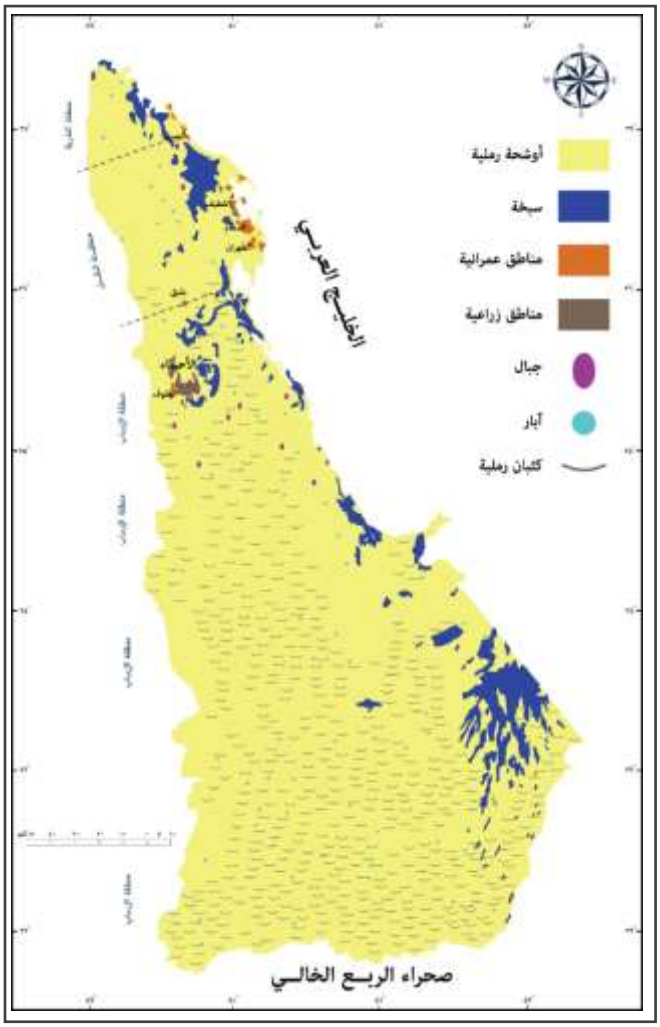
الشكل (٣) التَّكوين الجيولوجيِّ في منطقة الدِّراسة

المصدر: من إنجاز الباحثين اعتمادا على أطلس المملكة العربيَّة السُّعوديَّة (١٩٩٩م).

يقسم المظهر الجيومورفولوجي العام لصحراء الجافورة بحسب مراحل عمليَّة التَّعريَّة الرِّيحيَّة السَّائدة إلى ثلاثة أجزاءٍ من الشَّمال إلى الجنوب (آل سعود، ٢٠٠٤م). يمتدُّ الجزء الشَّمالي -الذي تسود فيه عملية التَّذرية الرِّيحيَّة - من شمال الجافورة إلى قرب مدينة الجبيل، ويتضمَّن فرشاتٍ رمليَّةٍ وحفر تذريةٍ وكثبانٍ رمليَّةٍ معكوسةٍ وسباخ. في حين يمثِّل الجزء الأوسط منطقة النَّقل من جنوب الجبيل وحتَّى مدينة بقيق، وهو عبارةٌ عن فرشاتٍ رمليَّةٍ وكثبانٍ رمليَّةٍ متناثرةٍ بأنواعٍ مختلفةٍ وسباخ. أمَّا الجزء الجنوبيِّ من الجافورة فيمثِّل منطقة إرسابٍ تمتد من جنوب بقيق إلى أن تندمج مع

صحراء الرُّبع الخالي، ونجد فيها الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة المتلاصقة والسِّباخ والتِّلال المنعزلة والفرشات الرَّمليَّة (الشكل ٤).

ومن خلال تمعُّن الخريطة الطُّبوغرافيَّة للمنطقة الشَّرقيَّة نجد أنَّ صحراء الجافورة تتضمن وحداتٍ جيومورفولوجيَّة متنوعة، والتي تتمثَّل بالفرشات الرَّمليَّة Sand Sheet مثل جو سمين – ضلع القبر في منطقة التَّذرية، والفرشات الرَّمليَّة البيضاء في منطقة النَّقل مثل: الشُّعوف والمباركيَّة، وأبا الدّفوف، والجوف، ورملة الصَّفاوية في منطقة الإرساب. كما نجد السِّباخ Sabkhas على نمطين: سباخ داخليَّة، مثل: حزم نفيل، وسباخ جزيرة الرَّياس، وحيشة اللّصاف ونقا أبوشداد، ونقا المحارث، والحبيل، وأم حيشة، ومريقب. وسباخ ساحليَّة، مثل: زبارة مردومة والخرسانيَّة، وسباخ الصَّرى. ويظهر في منطقة التَّذرية حقولٌ رمليَّةٌ يغلب عليها الكثبان الرمليَّة Sand Dunes مثل طعوس القرائن، وفي كثير من المواقع تمتد فوق القشرة الكلسيَّة، ومن أكثر أنواع الكثبان الرَّملية انتشاراً في صحراء الجافورة الكثبان الرَّملية الهلاليَّة Barchan Dunes مثل: النَّقادية، وعروق البرزة، كما تسود في منطقة النَّقل التِّلال المنعزلة، مثل: عنيز البري، جبل القرين، جبل برقاء معيزيلة، وبرقاء عقدة، جبل أم البركان، جبل دخنه، جبل الأربع، جبل كنزان، حزم العريف في منطقة الإرساب، وتتميَّز بكثرة الكهوف والفجوات الكلسيَّة.

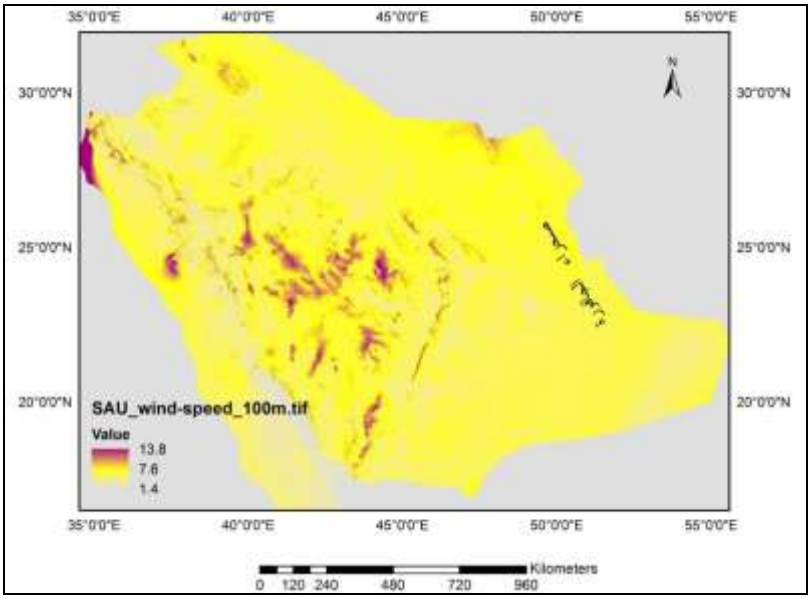


الشكل (٤): المظهر الجيومورفولوجي العام لصحراء الجافورة

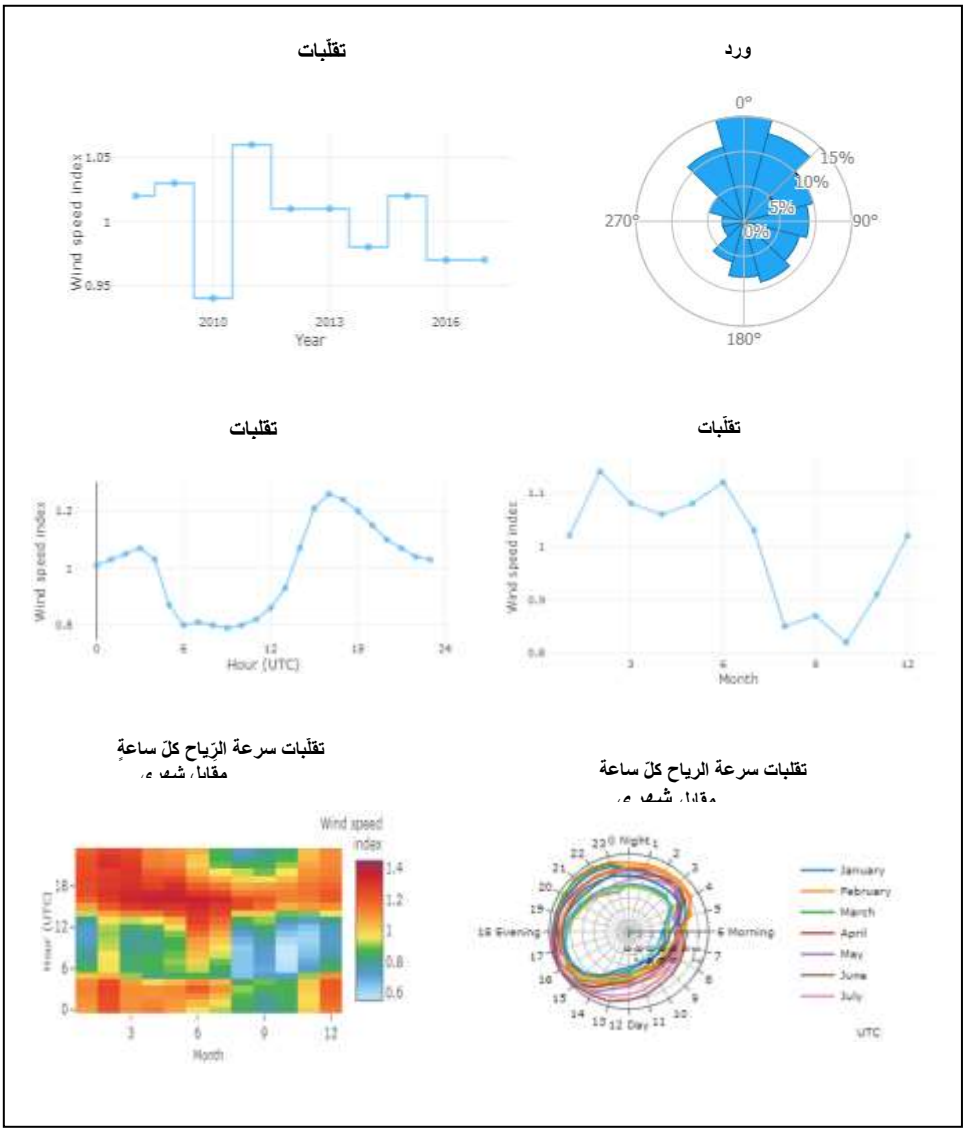
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على هيئة المساحة الجيولوجيَّة السُّعوديَّة (٢٠٠٣م).

يُصنَّف مناخ صحراء الجافورة ضمن نطاق المناخ الصَّحراويِّ الحار والجاف، والذي يتأثر بعدة عوامل جغرافية (الموقع الفلكي والجغرافي، التَّضاريس، المسطَّحات المائيَّة)، وعوامل ديناميكيَّة، مثل: أنظمة الضَّغط الجويِّ، المنخفضات الجويَّة الحركيَّة، الكتل الهوائيَّة، التَّيارات النَّفاثَّة (الجيبان، ٢٠١٥م). كما تندرج منطقة الدِّراسة ضمن إقليم السَّاحل، والذي يتميَّز بمعدَّل حرارةٍ سنويٍّ يصل إلى ٢٥°م، وتقل الأمطار فيه بمعدَّلٍ سنويٍّ يصل إلى ٨٠ملم، بينما يرتفع معدَّل رطوبته النِّسبيَّة طول العام ليصل إلى ٦٠٪، كما يتراوح معدَّل التَّبخر السَّنوي فيه بين ٣٠٠٠ -٤٠٠٠ملم (النشوان، ٢٠١٠م).

وبالنَّظر إلى (الشَّكل ٥) نُلاحظ التَّباين في سرعات الرِّياح على امتداد منطقة الدِّراسة، والتي تتراوح بين ٦ -٧كم/ساعة. ويوضِّح (الشَّكل ٦) أنَّ الرِّياح الشَّماليَّة تمثل ١٥٪ من إجمالي اتجاهات الرِّياح في صحراء الجافورة، بينما تمثِّل الرِّياح الشَّمالية الشَّرقيَّة مانسبته ٣٠,٥٪، وتمثِّل الرِّياح الشَّماليَّة الغربيَّة ما نسبته ١٦٪ في جميع فصول السَّنة خلال الفترة ما بين عامي ٢٠٠٨ – ٢٠١٧م، وبذلك نلاحظ أنَّ ٦١,٥٪ من الرِّياح تأتي من اتجاه الشَّمال بتفريعاته، وهو مايفسر لنا اتِّجاه محور الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة (الشَّماليِّ الشَّرقيِّ - الجنوبيِّ الغربيِّ، الجنوبيِّ الشَّرقيِّ - الشَّماليِّ الغربيِّ). بينما تمثِّل الرِّياح الشَّرقيَّة نسبة ٨٪، والرِّياح الغربيَّة نسبة ٣٪، والرِّياح الجنوبيَّة نسبة ٧٪. في حين تتوزَّع باقي نسب اتجاهات الرِّياح ما بين الرِّياح الجنوبيَّة الشَّرقيَّة والجنوبيَّة الغربيَّة أثناء فصل الشِّتاء لذات الفترة، وبالنَّظر إلى تقلُّبات سرعة الرِّياح السَّنوية نجد أنَّها تتراوح بين ١,٠٦ و ٠,٩٣كم/ساعة، وقد كان أكثرها تقلُّباً في عام ٢٠١١م بسرعة ١,٠٦كم/ ساعة، بينما كان أقلَّها تقلُّباً في السُّرعة عام ٢٠١٠م بسرعة ٠,٩٣كم/ساعة خلال الفترة ما بين ٢٠٠٨ - ٢٠١٧م.



الشَّكل (٥): سرعة الرِّياح في صحراء الجافورة خلال الفترة من ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٧م، اعتماداً على الموقع الالكتروني:
https://globalwindatlas.info/area/Saudi%20Arabia

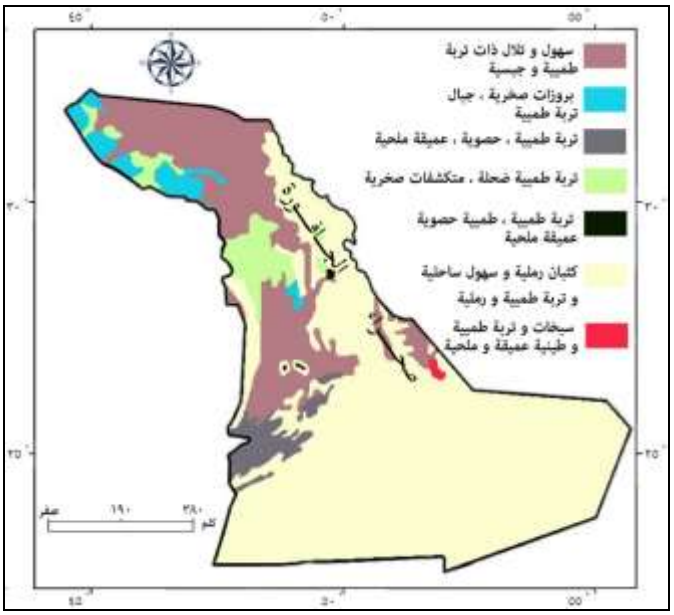


الشَّكل (٦): وردة الرِّياح وتقلبات سرعة الرياح اليومية والشهرية والسنوية في منطقة الدراسة خلال الفترة بين عامي ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٧م، اعتمادا على بيانات سرعة الرياح للمنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية، أطلس الرِّياح العالميِّ: الموقع الرَّسميّ https://globalwindatlas.info/area/Saudi%20Arabia

أمَّا بالنِّسبة لتقلُّبات سرعة الرِّياح على مدار السَّاعة خلال اليوم فأكثرها يكون من السَّاعة ١٥ إلى ١٨ بسرعة ١.٢كم/ساعة فأكثر، وأقلَّها سرعةً خلال الفترة من السَّاعة ٦ إلى ١١ بسرعة ٠.٨ كم/ساعة. ويُشير مخطَّط الرَّادار (الشكل ٦) لتقلُّبات سرعة الرِّياح كلّ ساعة أنَّ أكثر فترة في التَّقلُّبات هي الفترة المسائيَّة من السَّاعة ١٥ إلى السَّاعة ١٨ والتي تمتدُّ من شهر يناير إلى شهر يوليو.

كما نلاحظ أنَّ تقلُّبات سرعة الرِّياح كلَّ ساعة مقابل شهري (جدول التقاطع) أنَّ الفترة الزَّمنية من السَّاعة ١٥ إلى السَّاعة ٢٤ مساء هي أكثر فترات التَّقلُّبات ١.٢ – ١.٤ كم/ساعة، ويُستَثنى من ذلك الشُّهور من أغسطس إلى أكتوبر اذ تتراوح فيها تقلُّب سرعة الرِّياح ما بين ٠.٨ - ١ كم/ساعة، في حين كانت تقلُّبات سرعة الرِّياح الشَّهرية في شهر فبراير -الذي يُعَدُّ أكثر الشُّهور اختلافاً في سرعة الرِّياح - وذلك بسرعةٍ تصل ١.٢كم/ساعة، بينما يمثِّل شهر أكتوبر أقلّ الشُّهور (الشكل ٦).

إنَّ التُّربة في صحراء الجافورة متنوعةٌ -وفقاً لبيانات الخريطة التَّخطيطيَّة للتُّربة في أطلس المملكة العربيَّة السُّعوديَّة -، حيث تتوزَّع في مجموعةٍ من الوحدات تِبعاً لطبيعة المنطقة الجيولوجيَّة والجيومورفولوجيَّة والهيدرولوجيَّة (الشَّكل ٧)، فنجد تربةً رمليَّةً تتمثَّل بكثبانٍ رمليَّةٍ، وسهولٍ ساحليَّةٍ، وتربةٍ طميية ورمليَّة ذات قوامٍ رمليٍّ وتركيبٍ كيميائيٍّ مرتفع الملوحة، تنتشر على امتداد صحراء الجافورة من شمال مدينة الجبيل إلى منطقة اندماجها مع صحراء الرُّبع الخالي جنوباً، كما وتسود التُّربة الطَّمييية الضَّحلة والمنكشفات الصَّخريَّة من جنوب مدينة الجبيل إلى مدينة بقيق. أمَّا التُّربة الطَّمييية والجبسيَّة فتنتشر في السُّهول والتِّلال في منطقة الإرساب، وهي تُربات طينيَّة، قوامها طميي رملي، تحتوي على أفقٍ جبسيٍّ وقليلة النَّفاذيَّة، ويظهر في المناطق السَّبخيَّة تربةٌ طمييةٌ وطينيَّةٌ عميقةٌ وملحيَّةٌ تتركَّز فيها الأملاح بكميَّاتٍ عاليةٍ.

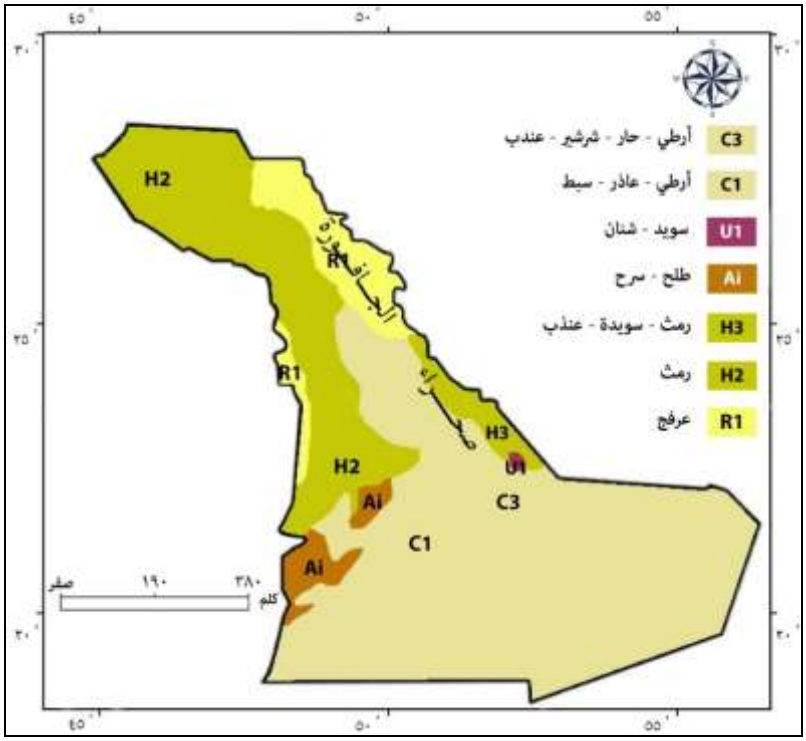


الشَّكل (٧): وحدات التُّربة في منطقة الدِّراسة

المصدر: من انجاز الباحثين اعتماداً على أطلس المملكة العربيَّة السُّعوديَّة (١٩٩٩م).

تنمو في صحراء الجافورة مجموعاتٌ نباتيَّةٌ فقيرةٌ معظمها من نوع الشُّجيرات والأعشاب، ومن أهمِّ المجموعات النَّباتية في منطقة الدِّراسة (الشَّكل ٨): مجموعة نباتات العرفج Rhanterium Epapposum والذي يمتدُّ من شمال الجافورة إلى بقيق. كما تظهر نباتات الرَّمث Haloxylon Persicum والسُّويدة Suaeda Vermiculata والعندب بمحاذاة الخليج العربيِّ إلى منطقة اندماج صحراء الجافورة بالرُّبع الخالي. وتسود مجموعة نباتات الأرطيِّ Calligonum Comosum، والحاذ Comulaca Leucacantha، والشرشير Tribulus Terrestris ، والعندب من شمال غرب بقيق مروراً بالأحساء وحتَّى العبيلة جنوباً وإلى الغرب من النَّوع السَّابق (مجموعة نباتات الرَّمث والسُّويدة

والعندب). أمَّا بالنِّسبة لنباتات السّويدة Suaeda Vermiculata ، والشنان Seidlitzia Rosmarinus ، فتوجد في الجزء الجنوبيِّ الشَّرقي من صحراء الجافورة في منطقة الإرساب شمال شرق العبيلة حيث تنتشر في السَّبخات.



الشكل (٨): المجموعات النَّباتيَّة في منطقة الدِّراسة

المصدر: من انجاز الباحثين بالاعتماد على أطلس التُّرب (١٩٩٩م).

أدبيَّات الدِّراسة:

حظيت منطقة الدِّراسة بالعديد من الدِّراسات التي اهتمَّت بجغرافية صحراء الجافورة، وحركة رمالها منذ النِّصف الثاني من القرن الميلادي الماضي، حيث درسها

كلًّا من شيبمان (١٩٧١م)، إضافةً إلى دراسة عبد الحميد (١٩٨١م)، وأبي الخير (١٩٨٤م)، ومشاعل آل سعود (٢٠٠٤م)، حيث اهتمَّت هذه الدِّراسات بتحديد نوع حركة رمال الجافورة (الانسياق الرَّمليِّ والزَّحف الرَّملي)، وتقدير المعدَّل السَّنويِّ لهذه الحركة بالإضافة إلى تأثيرها على المناطق الزِّراعيَّة والعمرانيّة، وذلك من خلال استخدام أساليب وأدواتٍ متنوِّعةٍ في دراساتهم.

فقد استطاع أبو الخير (١٩٨٤م) أن يقدِّر معدَّل زحف الرِّمال السَّنوي في محافظة الأحساء التي تقع في منطقة الإرساب من صحراء الجافورة، حيث قام بدراسةٍ ميدانيَّةٍ في الفترة من شهر فبراير إلى شهر يونيو عام ١٩٨٠م، وذلك من خلال إنشاء عدَّة محطَّاتٍ ومراكز قراءاتٍ مؤقَّتةٍ وُزِّعت في مناطق متعدِّدةٍ من قرى المنطقة، وذلك لرصد كميَّة الزَّحف الرَّملي ومعدَّل تقدمه نحو الجنوب حيث المناطق العمرانيَّة والسَّكنيَّة، إضافةً إلى ثلاث مصائدٍ رمليَّةٍ لتحديد كميَّة الرِّمال الزَّاحفة، ولقياس معدَّل سرعة زحف الكثبان الرَّملية، كما تمَّ استخدم علامات (أسياخ) وُضِعت أمام حركة الكثبان الرَّملية المتفاوتة الأحجام، وذلك بهدف تحديد مدى أثر كلٍّ من الرِّياح، وحجم الحبيبات الرَّمليَّة والكثبان، وجفاف أو رطوبة التُّربة الرَّمليَّة على كميَّة الرِّمال التي تزحف من جميع الجهات، وقد توصَّلت الدِّراسة إلى أنَّ: معدَّل زحف الرِّمال السَّنوي يزيد على ٢٥ متراً في السَّنة، كما أنَّ هنالك بعض الكثبان الرَّمليَّة الصَّغيرة الحجم نسبيًّاً تزحف بأكثر من ٥٢ متراً في العام، اذ تُشير الحقائق التَّاريخيَّة والمعالم الأثريَّة والدِّراسات الحقليَّة إلى أنَّ جزءاً كبيراً من الأراضي الزِّراعية والمراكز الحضريَّة قد طُمِرَت تحت الرِّمال، مثل: قرى العمران، والعيون، والمقدام، وقرى جواثا، والمحترقة، والتي طُمِرَت تحت كثبانٍ رمليَّةٍ يتعدَّى ارتفاعها ٢٠ متراً، وتُمثِّل الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة مظهراً جيومورفولوجيًّاً رئيسيًّاً في المنطقة، والتي تزحف نحو الجنوب

فوق رواسب رباعيَّةٍ من سبخاتٍ وفرشاتٍ حصويَّةٍ وطمويَّةٍ ترتكز على تكوين الهفوف المتميِّز بأحجاره الرَّمليَّة والجيريَّة، والتي يعود تاريخها إلى عصر البلايوسين. كما توصَّلت الدِّراسة إلى أنَّ زحف الرِّمال يتأثر بالدَّرجة الأولى بعناصر: الرِّياح، واختلاف أقطار الحبيبات الرَّملية الزَّاحفة، والخصائص الهيدرولوجيَّة للتُّربة، وحجم الكثبان الرَّمليَّة، وكثافة الغطاء النَّباتيِّ.

وفي دراسة مشاعل آل سعود (١٩٨٦م) " الانسياق الرَّمليِّ وخصائصه الحجميَّة بصحراء الدَّهناء على خط الرِّياض الدَّمام " حيث استخدمت تقنيَّات مصائد الرِّمال (sand traps)، وذلك لرصد الانسياق الرَّمليِّ واتجاهاته، كما تمَّ جمع عيِّناتٍ من الرِّمال الزَّاحفة وتحليلها لمعرفة خصائصها الحجميَّة المختلفة والزَّاحفة بفعل الرِّياح خلال فترة الدِّراسة. وقد خلصَت الدِّراسة إلى تباين أحجام الحبيبات الرَّملية، الأمر الذي يفسِّر اختلاف كميَّة الانسياق الرَّمليِّ بين العروق وما بين الكثبان الرَّمليَّة، حيث تُشير النَّتائج إلى أنَّ كميَّة الانسياق الرَّمليِّ في نطاق ما بين العروق الرَّمليَّة تكون أقلَّ وتحت سرعات رياحٍ مماثلةٍ للكثبان الرَّمليَّة.

تمكَّن الشَّرقاوي (٢٠١٥م) من استخلاص الخصائص المورفومتريَّة للأشكال الرَّمليَّة، وذلك بتطبيق التِّقنيَّات في نُظُم المعلومات الجغرافيَّة والاستشعار عن بُعد للمرئيَّات الفضائيَّة من نوع LANDSAT ٢٠٠٣ TM، بينما استطاع عبدالحميد (٢٠٠٧م) من تقديم خرائط التَّوزيعات المُستمدَّة من بيانات الاستشعار الرَّقمية للكثبان الرَّمليَّة، إضافةً إلى التَّمييز بين الكثبان النَّشطة والسَّاكنة والمقيَّدة، ورصد حركة الكثبان الرّمليَّة في صحراء الجافورة من خلال بيانات الإستشعار عن بُعد بفاصلٍ زمنيٍّ قدره ١٧سنه (١٩٨٧/٢٠٠٤)، وأن متوسط الحركة السَّنويَّة للكثبان الرَّملية ٦,٨ متر/

السَّنة من الشَّمال الغربيِّ نحو الجنوب الشَّرقيِّ في حدود رمال الجافورة. يُستَفاد من هذه الدِّراسة في تحديد أنماط الكثبان الرَّمليَّة وأصلها، وقياس متوسِّط حركتها الثَّانويَّة.

وفي دراسةٍ أخرى لمشاعل آل سعود (٢٠٠٤م) تمكَّنت فيها من رصد حركة رمال الجافورة من خلال تحليل المرئيَّات الفضائيَّة (صور الأقمار الاصطناعيَّة Landsat-5/TM و Spot-2 لمنطقة الدِّراسة للفترة (١٩٨٧ - ٢٠٠١م)، وتصنيف نطاقاتها الرَّمليَّة لمعرفة طبيعة مخاطرها البيئيَّة وإبراز الظَّواهر الجيومورفولوجيَّة الأساسيَّة لها، كما تمَّ تحليل راديو متري لرصد حجم حركة الكثبان الرَّملية استشعاريًّاً، وقد خَلُصَت الدِّراسة إلى أنَّ هناك زيادةً في مساحة الكثبان الرَّمليـة بنسبة ٣,٥٤٪ خلال فترة الدِّراسة، الأمر الذي يشكل تهديداً خطيراً من خلال زحف الرِّمال باتجاه الغطاء النّباتي في واحة الأحساء.

كما وظَّف مصطفى (٢٠١٩م)، في دراسته عن الجيومورفولوجيا والاستدامة البيئيَّة تقنيَّة الاستشعار عن بُعد وتحليل الخرائط الجيولوجيَّة والجيومورفولوجيَّة، وذلك لدراسة ظاهرة التَّصحُّر ومشكلة زحف الرِّمال في المنطقة الشَّرقيَّة، ومعرفة مدى توافق الجهود التي بُذِلَت للحدِّ من ظاهرة زحف الرِّمال على المنشآت الاقتصاديَّة والمناطق العمرانيَّة والزِّراعيَّة، إضافةً إلى تقديم نموذجٍ جيومورفولوجيٍّ لتقييم دور مشاريع حجز الرِّمال في تحقيق أهدافها بالمنطقة الشَّرقيَّة. وقد استطاعت الدِّراسة تقييم مدى نجاح مشاريع حجز الرِّمال في تحقيق أهدافها في الحدِّ من مخاطر ظاهرة زحف الرِّمال على المناطق العمرانيَّة والزِّراعيَّة وخاصَّة في واحة الأحساء بالمنطقة الشَّرقيَّة ووادي الدَّواسر في منطقة الرِّياض.

في حين اتَّبع الدِّغيري (٢٠١٢م) عند دراسته " للأنماط المورفولوجيَّة والتوزيعات اللَّونيَّة للكثبان في صحراء الدَّهناء شمال منطقة القصيم " تقنيَّة معدَّل

الاحمرار Redness Rating وذلك لمعرفة خصائص الحبيبات الرَّملية وتركيبها، ولبيان لون الرِّمال من خلال الدِّراسة الميدانيَّة باستخدام أطلس الألوان Munsell Soil Color Chart، إضافةً إلى تحليل المرئيَّة الفضائيَّة لاندسات، وقد بيَّنت نتائج الدِّراسة أنَّ هناك تغيُّراً تدريجيًّاً في اتجاه كثبان صحراء الدَّهناء ناحية الشَّمال الشرقي، وأنَّ النَّمط الطُّوليِّ المتمازج مع كثبان متحولة ذات محاور شماليَّة شرقيَّة هو النَّمط المورفولوجي السَّائد. أمَّا في وادي الأجردي فكان النَّمط القبابيُّ النَّجميُّ هو السَّائد، وكان هناك تركُّزاً واضحاً في حمرة الكثبان الطُّوليَّة في جهة الشَّمال الغربيِّ من الدَّهناء.

وفي دراسة العاني (٢٠١٢م)، عن حركة الكثبان الرَّمليَّة وتهديدها للأراضي الزِّراعيَّة في منطقة العيث في محافظة صلاح الدِّين في العراق بالاعتماد على التَّكامل بين نُظُم المعلومات الجغرافيَّة وبيانات الاستشعار عن بعد، وذلك باستخدام المنهج التَّحليليِّ من خلال تحليل المرئيَّات الفضائيَّة، وقد أظهرت نتائج تحليل المرئيَّات الفضائيَّة إلى عدم وجود النَّبات الطَّبيعيِّ في المنطقة ممَّا ساعد من تأثيرها في مورفولوجيَّة الكثبان الرَّمليَّة. تفيد هذه الدِّراسة في تحديد الخصائص المورفولوجيَّة للكثبان الرَّملية، وذلك باستخدام تقنيَّة الاستشعار عن بُعد والدِّراسة الميدانيَّة وبيان أنماطها.

أمَّا البلوي (٢٠١٧م) فقد استطاعت تطبيق تقنيَّة الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة لمعرفة التَّوزيع الجغرافيِّ للكثبان الرَّملية في المنطقة الشَّرقيَّة، وقد توصَّلت الدِّراسة إلى وجود تنوُّعٍ في أشكال الكثبان الرَّمليَّة وتوزُّعها الجغرافيُّ، وتُعدُّ الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة المتوسِّطة والصَّغيرة الأكثر انتشاراً والأنشط حركةً في المنطقة، كما أثبتت الدِّراسة أنَّ منطقة بقيق تتعرض لخطر زحف الرِّمال بشكلٍ كبيرٍ.

ومن الدِّراسات التي ترتبط بموضوع الدِّراسة دراسة آل زبنه (٢٠٢٠م)، التي اعتمد فيها على تقنيَّة الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة في دراسة زحف

الرِّمال والتَّنبُّؤ بحركتها في محافظة بدر بمنطقة المدينة المنوَّرة، حيث استخدم نطاقات الصُّور لاندسات (TM) ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥ و ٧ لمؤشِّرات الغطاء النَّباتيِّ والتُّربة (مؤشِّر معدَّل اختلاف الغطاء النَّباتيِّ NDVI ، ومؤشِّر التَّوزيع المكانيِّ للكثبان الرَّمليَّة NDSI)، وقد أظهرت نتائج الدِّراسة أنَّ المعدَّل السَّنويِّ لحركة الرِّمال هو ٢٤.٦متر، وأنَّ الاتجاه السَّائد لحركتها هو الغرب والجنوب الغربيِّ، ويزداد تراكمها في الجهة الشَّماليَّة والشَّماليَّة الغربيَّة من المحافظة وذلك لتأثير حركة الرِّياح، كما أظهرت نتائج الدِّراسة أنَّ زحف الكثبان الرَّملية كان بمثابة العائق الحقيقيِّ لتطوُّر وازدهار المساحة المزروعة والطُّرقات والبنية التَّحتيَّة في منطقة الدِّراسة.

النَّتائج والتَّحليل والمناقشة:

تتلخَّص نتائج الدِّراسة فيما يلي:

أولاً: الخصائص المورفولوجيَّة واللَّونيَّة لرمال الجافورة:

- **تطبيق مؤشِّر NDSI:** يُشِير الشَّكل (٩) إلى تطبيق مؤشِّر NDSI لبيان التَّوزيع المكانيِّ للكثبان الرَّمليَّة، وأماكن تركُّزها في صحراء الجافورة، حيث بيَّنت الخريطة الجيومورفولوجيَّة لرمال الجافورة إلى وجود توزيعٍ غير منتظم للكثبان الرَّمليَّة في منطقة التَّذرية والنَّقل ومنطقة الإرساب، ومن خلال دراسة مؤشِّر توزيع الكثبان الرَّمليَّة وأماكن تركُّزها نلاحظ الآتي:

١ - تركُّز الكثبان الرَّمليَّة في منطقة النَّقل في مواقع متفرقةٍ شمال غرب مدينة الدَّمام، وغرب مدينة القطيف إلى جنوب مطار الدَّمام، وعلى جانبي الطَّريق الدَّمام – الرِّياض.

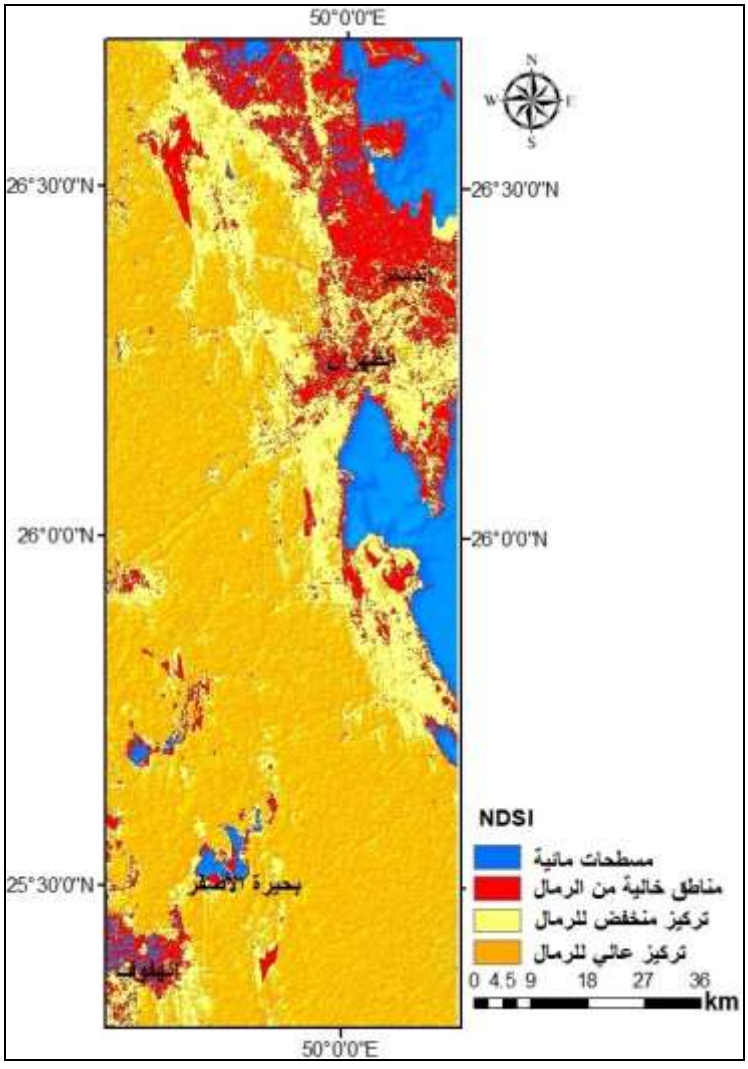
٢ - وجود تركيزاتٍ متناثرةٍ للكثبان الرَّمليَّة شمال غرب مدينة الظَّهران، وحول المدينة الصِّناعيَّة، وشمال طريق الظَّهران – بقيق في منطقة النَّقل.

٣ - وجود تركيزاتٍ للكثبان الرَّمليَّة شرق مدينة بقيق، وشمالها، وشمالها الغربيِّ.

٤ - تكثر تركيزات الكثبان الرَّمليَّة في منطقة الإرساب شرق بحيرة الأصفر، إلى ساحل الخليج العربيِّ، ممَّا يجعل جميع شبكات الطُّرق الرَّابطة بين محافظات المنطقة الشَّرقيَّة ودول الخليج العربيِّ تحت تأثير حركة الرِّمال.

٥ - وجود تركيزات الكثبان الرَّمليَّة شمال وجنوب الطَّريق الدَّائري لحاضرة الأحساء، وكذلك شمال مدينة العيون.

٦ - يزداد تركُّز الكثبان الرَّمليَّة كلما اتجهنا جنوباً حيث منطقة الإرساب من بقيق إلى العبيلة في الحدود مع صحراء الرُّبع الخالي.



الشَّكل (٩): تطبيق مؤشِّر NDSI في رمال صحراء الجافورة

المصدر: من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعيِّ Landsat8 (LC08).

- **مورفولوجيا الكثبان الرَّمليَّة:** تُشير نتائج الدِّراسة الميدانيَّة لمورفولوجية الكثبان الرَّمليَّة وفقاً لعيِّنات الدِّراسة (الشَّكل ١٠ ، الجدول١) إلى الآتي:

١. أنَّ متوسِّط أطوال الكثبان الرَّملية بصحراء الجافورة ٨٢,٤ م، وبانحرافٍ معياريٍّ ٤٣ م إذ بلغ أكثر الكثبان طولاً للموقع (JAF-20-18) في منطقة الإرساب جنوب شرقيٍّ بحيرة الأصفر ٣٠٩,٤ م، في حين بلغ أقلّ الكثبان طولاً ٤٥,٣ م للموقع (JAF-20-16) في منطقة الإرساب جنوب بحيرة الأصفر وشرقيٍّ واحة الأحساء.

٢. بلغ متوسِّط عرض الكثبان الرَّمليَّة ٦٢,٩ م، وبانحرافٍ معياريٍّ ٣٢,٥ م، ونجد أنَّ أكثر عرضٍ للكثبان الرَّمليَّة قد بلغ ١٧٨,٥م للموقع (JAF-20-18) في منطقة الإرساب جنوب شرقيٍّ بحيرة الأصفر، بينما بلغ أقلُّ عرضٍ للكثبان ١٤،٦م للموقع (JAF-20-16) في منطقة الإرساب جنوب بحيرة الأصفر وشرقيٍّ واحة الأحساء.

٣. أن متوسط مساحة الكثبان الرملية ١٢،٧ كم^{٢} وبانحراف معياري ٢،٤ كم^{٢}، أقلها مساحة الكثيب (JAF-20-16) بمساحة ٠،٧ كم^{٢} في حين بلغ أكثرها مساحة الكثيب (JAF-20-18) بمساحة ٥٥،٢ كم^{٢}.

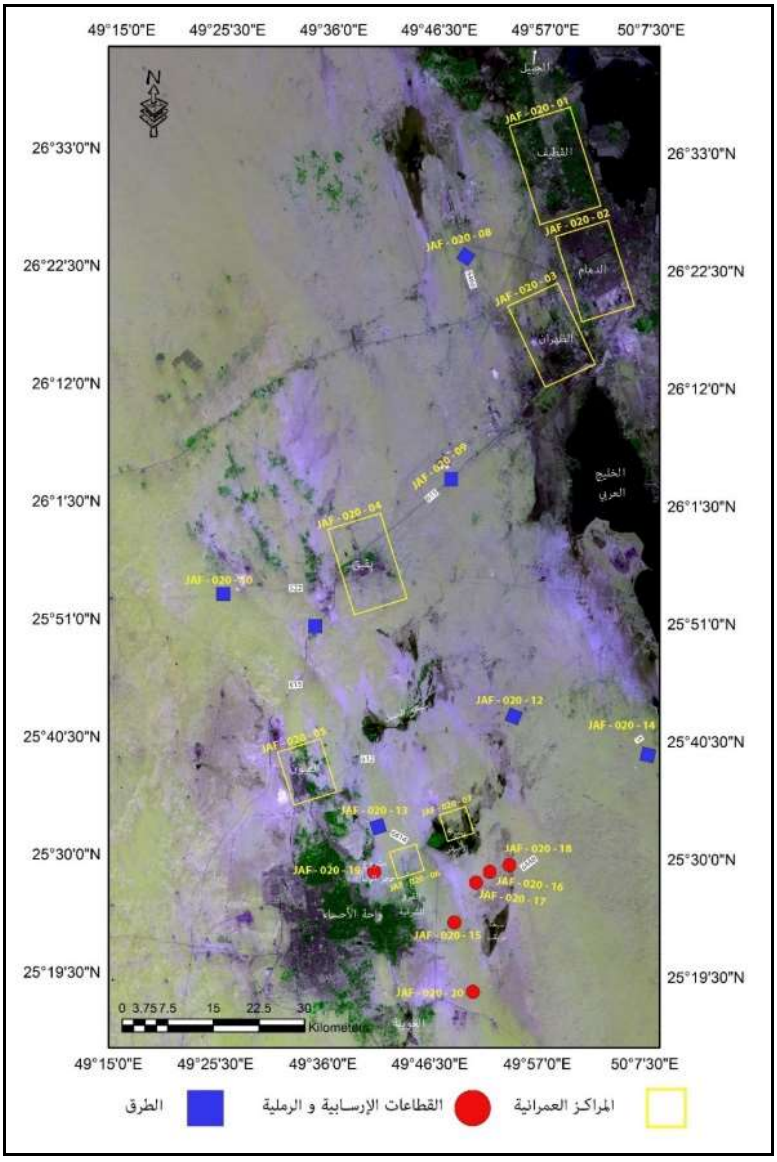
٤. أنَّ متوسِّط محيط الكثبان الرَّمليَّة في منطقة الإرساب قد بلغ ٠،٧ كم، وبانحرافٍ معياريٍّ ٠,٤ كم، أقلّها الكثيب (JAF-20-16) بمقدار ٠,١كم، في حين بلغ أكثرها محيطاً الكثيب (JAF-20-18) بمقدار ١ كم.

٥. أنَّ هناك تبايناً كبيراً في ارتفاع الكثبان الرَّمليَّة عن سطح الأرض المحيطة بمتوسط ٤,٨م وبانحرافٍ معياريٍّ ٣,٥ م، حيث كان أكثرها ارتفاعاً الكثيب

(JAF-20-20) إذ بلغ ارتفاعه ١٠ أمتار، بينما كان أقلَّها ارتفاعاً الكثيب (JAF-20-16) و (JAF-20-17) بارتفاع مترٍ واحدٍ.

٦. الاتجاه العام لمحور الكثبان الرَّمليَّة شمال شرق – جنوب غرب -عدا الموقعين (JAF-20-15) و(JAF-20-20) - ممَّا يدل على تأثير الرِّياح الشَّمالية الغربيَّة في توجيه الكثبان الرَّمليَّة.

٧. بلغ متوسِّط معدَّل الزَّحف السَّنويِّ لرمال الجافورة ١٥,٥ متر/ السَّنة بانحرافٍ معياريٍّ بلغ ٢,٩ متر/ السَّنة، حيث بلغ أعلى معدَّلٍ للزَّحف السَّنويِّ ٢١ متر/ السَّنة للكثيب الرَّملي (JAF-20-19)، -وهذا يتَّفق مع دراسة أبو الخير (١٩٨٤م) بأنَّ معدَّل الزَّحف السَّنويِّ لرمال الجافورة يزيد عن ٢٥متر في السَّنة -، وأقلَّها بمعدَّل زحفٍ سنويٍّ بلغ ١٢مترا للكثيب الرَّمليِّ رقم JAF-20-20). إنَّ التَّباين في معدَّل الزَّحف السَّنويِّ للرِّمال يمكن تفسيره بالتَّباين في سرعة الرِّياح واتجاهها من ناحيةٍ، ومساحة الكثبان الرَّمليَّة من ناحيةٍ أخرى.



الشَّكل (١٠): مواقع العيِّنات لدراسة مراحل تطور صحراء الجافورة وتأثير حركة الرِّمال على المراكز العمرانيَّة والمنشآت الهندسيّة (الطرق). المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على مرئيَّةٍ من نوع لاند سات ٨ من نوع (OLI).

الجدول (١) الخصائص المورفولوجيَّة للكثبان الرَّملية
في صحراء الجافورة

رقم الكثيب الرملي	الطول/ متر	العرض/ متر	المساحة/ كم٢	المحيط/ كم	الارتفاع/ متر	اتجاه المحور	معدل الزحف السنوي/ متر
JA F-20-15	٦٤,٣	٣٧,٤	٢,٤	٠,٢	٧	ش غ – ج ق	١٦
JA F-20-16	٤٥,٣	١٤,٦	٠,٧	٠,١	١	ش ق – ج غ	١٣
JA F-20-17	١٢٩,٢	٥٩,٦	٧,٧	٠,٤	١	ش ق – ج غ	١٧
JA F-20-18	٣٠٩,٤	١٧٨,٥	٥٥,٢	١	٦	ش ق – ج غ	١٤
JA F-20-19	٧٢,٧	٦٣,٨	٤,٦	٠,٣	٤	ش ق– ج غ	٢١
JA F-20-20	٩٢	٦٢	٥,٧	٠,٣	١٠	ش غ - ج ق	١٢
المتوسط	٨٢,٤	٦٢,٩	١٢,٧	٠,٧	٤,٨	-	١٥,٥
الانحراف المعياري	٤٣	٣٢,٥	٢,٤	٠,٤	٣,٥	-	٢,٩

المصدر: الدِّراسة الميدانيَّة (٢٠٢٠م).

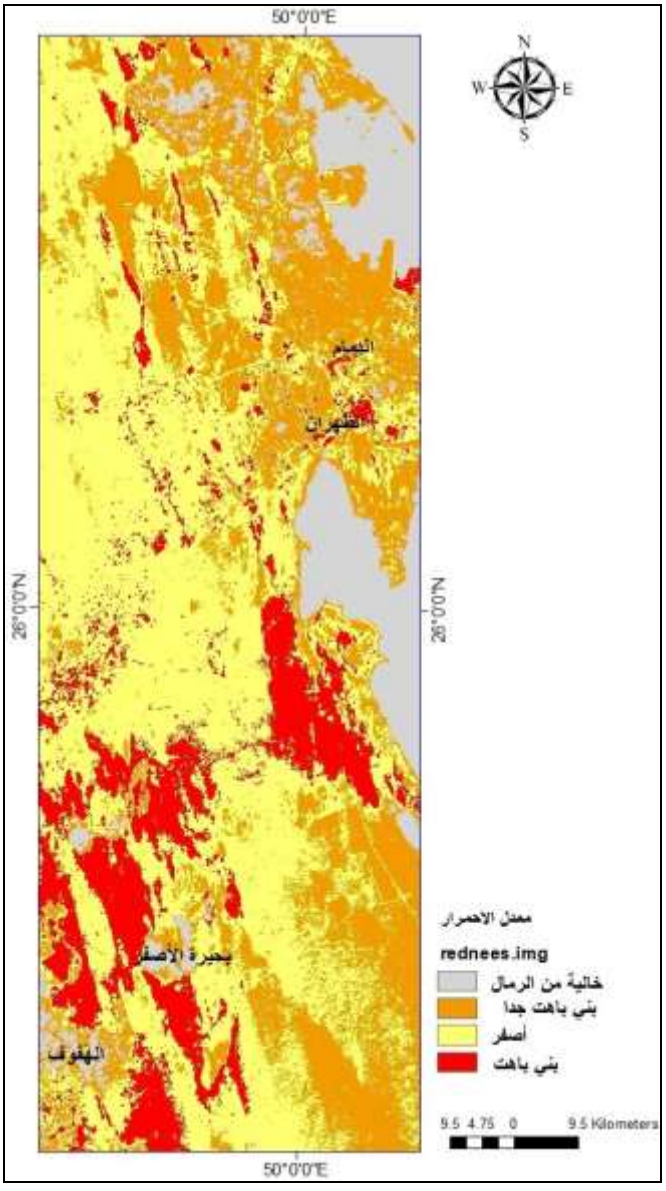
- **معدَّل الاحمرار Redness Rating:** تُشير دراسة لونيَّة رمال الجافورة باستخدام تقنيَّة معدَّل الاحمرار Redness Rating (الشكل ١١)، والتَّحقق من ألوان المرئيَّة ميدانيًّا (الشَّكل ١٢) باستخدام كتاب ألوان التربة (Munsell Soil Color Book 2009)، إلى وجود ثلاثة ألوانٍ هي: اللَّون الأصفر Yellow (10YR 7/6)، واللَّون

البنيُّ الباهت جداً Very Pale Brown (10YR 7/3)، واللَّون البنيُّ الباهت Pale Brown (2.5Y 7/3)، ومن ذلك نلاحظ الآتي:

١ - سيادة اللَّون الأصفر في رمال الجافورة، في منطقة النَّقل غرب وشمال غرب مدن القطيف والدَّمام والظهران إلى مدينة بقيق، ومن شرق مدينة بقيق وحتَّى ساحل الخليج العربيِّ، وحول بحيرة الأصفر وسبخة مريقب، الأمر الذي يفسِّر الأصل البحريّ لرمال الجافورة، وانتشاره في هذه المواقع.

٢ - يمتد اللَّون البنيُّ الباهت إلى الباهت جدًّا على شكل شريطٍ طوليٍّ من الشَّمال إلى الجنوب من طريق الدَّمام الرِّياض، وحتَّى مدينة بقيق بشكل شريطٍ ضيِّقٍ من شمال مدينة العيون إلى الحدود الشَّرقيَّة من واحة الأحساء عبر الطَّريق الدَّائريِّ قبل واحة الأحساء وغرب بحيرة الأصفر وسبخة مريقب، ومن شرق بحيرة الأصفر إلى ساحل الخليج العربيِّ باتِّجاه الجنوب إلى حدود صحراء الرُّبع الخالي، ممَّا يفسِّر الأصل القاريّ لهذه الرمال.

وعليه يمكننا القول بأنَّ رمال الجافورة متعدِّدة الأصل مابين البحريِّ والقاريِّ، والذي تلعب فيه ديناميكيَّة الرِّياح عاملاً أساسيًّاً في نقلها إلى المنطقة، فالرِّياح الشَّمالية الشَّرقية تنقل الرِّمال البحريَّة من منطقة التَّذرية شمال مدينة الجبيل، في حين تقوم الرِّياح الشَّماليَّة الغربيَّة بنقل الرِّمال القاريَّة من شمال غرب منطقة الدِّراسة إلى منطقة النَّقل والإرساب.



الشكل (١١): تطبيق تقنيَّة معدل الاحمرار لرمال الجافورة

المصدر: من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيّة للقمر الصِّناعي Landsat8 (LC08) .

الشَّكل (١٢): القراءة الميدانيَّة لألوان رمال الجافورة (٢٠٢١م).

ثانيا: تأثير حركة رمال الجافورة على المراكز العمرانيَّة والأراضي الزِّراعية والطُّرق:

للتَّعرف على مدى تأثير حركة رمال الجافورة على المراكز العمرانيَّة والأراضي الزِّراعيَّة والطُّرق فقد تمَّ تطبيق تقنيَّات مؤشِّر اختلاف النَّبات NDVI ، ومؤشِّر كشف التَّغيُّر Change Detection للفترة ما بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٩م:

- **مؤشِّر اختلاف النَّبات Normalized Difference Vegetation (NDVI):** يُشير الشَّكل (١٣) إلى تطبيق مؤشِّر اختلاف النَّبات في منطقتي التَّذرية والنَّقل برمال الجافورة، والتي تتميَّز بانتشار نبات العرفج للفترة ٢٠٠٠ - ٢٠١٩ ومنها نلاحظ الآتي:

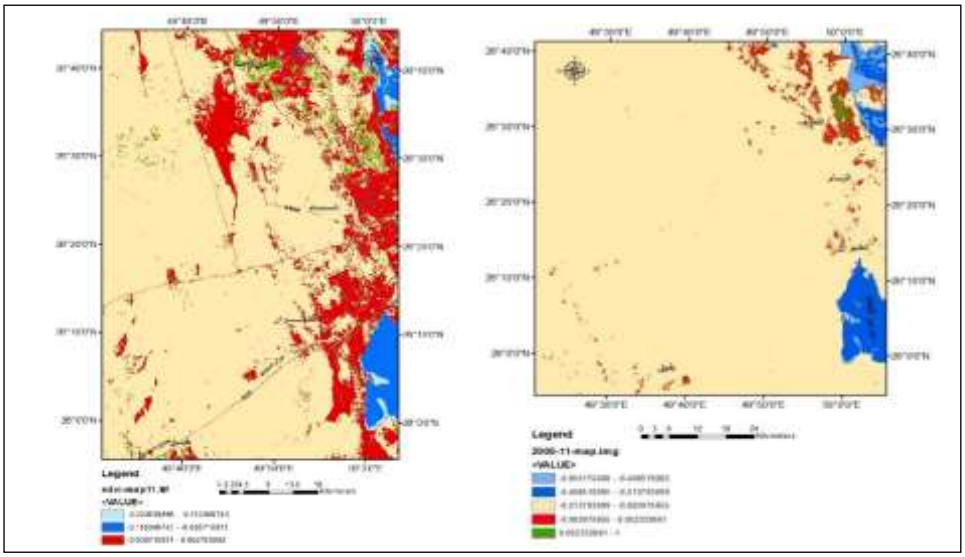
١ - يبيِّن مؤشِّر اختلاف النَّبات للعام ٢٠٠٠م (الشكل ١٣ -أ) إلى عدم وجود غطاءٍ نباتيٍّ في رمال الجافورة التي تمتدُّ من الشَّمال إلى الجنوب غرب محافظات القطيف والدَّمام والظَّهران، وإلى أنَّ قيمة الغطاء النَّباتي ما بين ١ إلى ٠.٠٥ ، وعند الرُّجوع إلى خريطة استعمالات الأراضي تبين أنَّها عبارةٌ عن أراضٍ زراعيَّةٍ ومسطَّحاتٍ خضراء داخل المراكز العمرانيَّة.

٢ - في العام ٢٠١٩م (الشكل ١٣ -ب) تراوحت قيمة مؤشِّر اختلاف النَّبات مابين ٠.١ إلى ٠.٥ ، حيث نُلاحظ وجود تركيزاتٍ للغطاء النَّباتيِّ غرب محافظة القطيف، وهي عبارة عن أراضٍ زراعيَّةٍ معرَّضةٍ لتأثير حركة رمال الجافورة.

٣ - وجود الغطاء النَّباتيِّ شمال طريق الظَّهران – بقيق (رقم الطَّريق: ٦١٥)، وهو عبارةٌ عن حزامٍ شجريٍّ لحماية الطريق من زحف الرِّمال.

٤ - وجود الغطاء النَّباتيِّ شمال مدينة بقيق يمثِّل الحزام الشَّجريِّ للمدينة للحدِّ من تأثير حركة رمال الجافورة.

٥ - نستنتج من وجود تركيزاتٍ للمسطَّحات الخضراء حول المراكز العمرانيَّة والطُّرق في مرئيَّة ٢٠١٩ مقارنة بمرئيَّة ٢٠٠٠ م إلى وجود نشاط استزراعٍ للأحزمة الشَّجريَّة لتثبيت الكثبان الرَّملية لحمايتها من تأثير حركة رمال الجافورة من النَّاحية الشَّمالية والشَّماليَّة الغربيَّة.



الشَّكل (١٣): مؤشِّر اختلاف النَّبات للعام ٢٠٠٠ -٢٠١٩ في منطقتي التَّذرية والنَّقل، من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعيِّ Landsat8 - Landsat (LC08 - LE07)

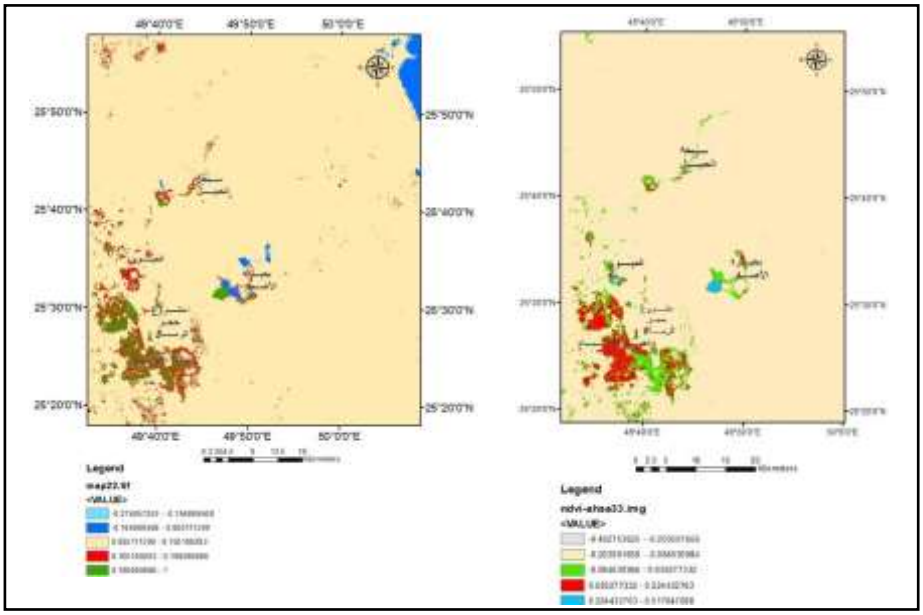
كما يشير الشَّكل (١٤) إلى مؤشِّر اختلاف النَّبات في منطقة الإرساب، والتي تتميَّز بانتشار نباتات الرَّمث، والسُّويدة، والعندب في النَّاحية الجنوبية من صحراء الجافورة في مدينة العيون، وسبخة الحبيل، وبحيرة الأصفر، إضافةً إلى مشروع حجز الرِّمال، ومنها نلاحظ الآتي:

١ - في عام ٢٠٠٠م انتشرت هذه الأنواع من النَّباتات جنوب مدينة بقيق، وشمال وشمال شرق سبخة الحبيل، وحول بحيرة الأصفر، وشمال المناطق العمرانيَّة عند مدينة العيون وقرى ومدن حاضرة الأحساء من

النَّاحية الشَّماليَّة والشَّماليَّة الشَّرقيَّة والغربيَّة والجنوبيَّة. وتتراوح قيمة مؤشِّر اختلاف النَّبات ما بين -٠,٠٨ إلى ٠,٠ (الشَّكل ١٤ -أ).

٢ - في عام ٢٠١٩ تغيَّر التَّوزيع الجغرافيُّ لهذه النَّباتات إذ انخفض انتشارها جنوب مدينة بقيق، وحول سبخة الحبيل، وبحيرة الأصفر، ومدينة العيون، وقرى ومدن واحة الأحساء، إضافةً إلى الأجزاء الشَّرقيَّة من بحيرة الأصفر إلى ساحل الخليج العربيِّ (١٤ -ب).

٣ - ارتفاع قيمة مؤشِّر اختلاف النَّبات عام ٢٠١٩م لما بين ١ إلى ٠,١٩ يمكن إرجاعه إلى المسطَّحات الخضراء والأراضي الزِّراعية داخل النِّطاق العمرانيِّ في واحة الأحساء.



الشكل (١٤): مؤشر اختلاف النبات للعام ٢٠٠٠ -٢٠١٩ في منطقتي النقل والإرساب، من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat8 - Landsat7 (LC08 - LE07)

- **مؤشِّر كشف التَّغيُّر Change Detection :** لقد تمَّ تطبيق المؤشِّر لدراسة التَّغيُّر في التَّوزيع الجغرافيِّ للغطاء النَّباتيِّ خلال الفترة ما بين عامي ٢٠٠٠ -٢٠١٩م (الشَّكل ١٥)، ومنه نلاحظ الآتي:

١ - تأثَّرت المناطق الزِّراعيَّة في شمال غرب مدينة الدَّمام في منطقة النَّقل عند مدينة الدَّمام والظَّهران (الشَّكل ١٥ -أ)، وطريق الدَّمام المطار (الطَّريق رقم: ٦٤٦٦)، والأجزاء الشَّماليَّة الغربيَّة لمدينة الظَّهران.

٢ - تأثَّرت مواقع متعدِّدة من الأجزاء الشَّماليَّة، والشَّماليَّة الغربيَّة، والغربية من مدينة القطيف (الشكل ١٥ -ب).

٣ - التَّغيُّر حول مدينة بقيق في مواقع متناثرة من النَّاحية الشَّماليَّة، والشَّماليَّة الغربيَّة، وكذلك الشَّرقية (الشَّكل ١٥ -ت).

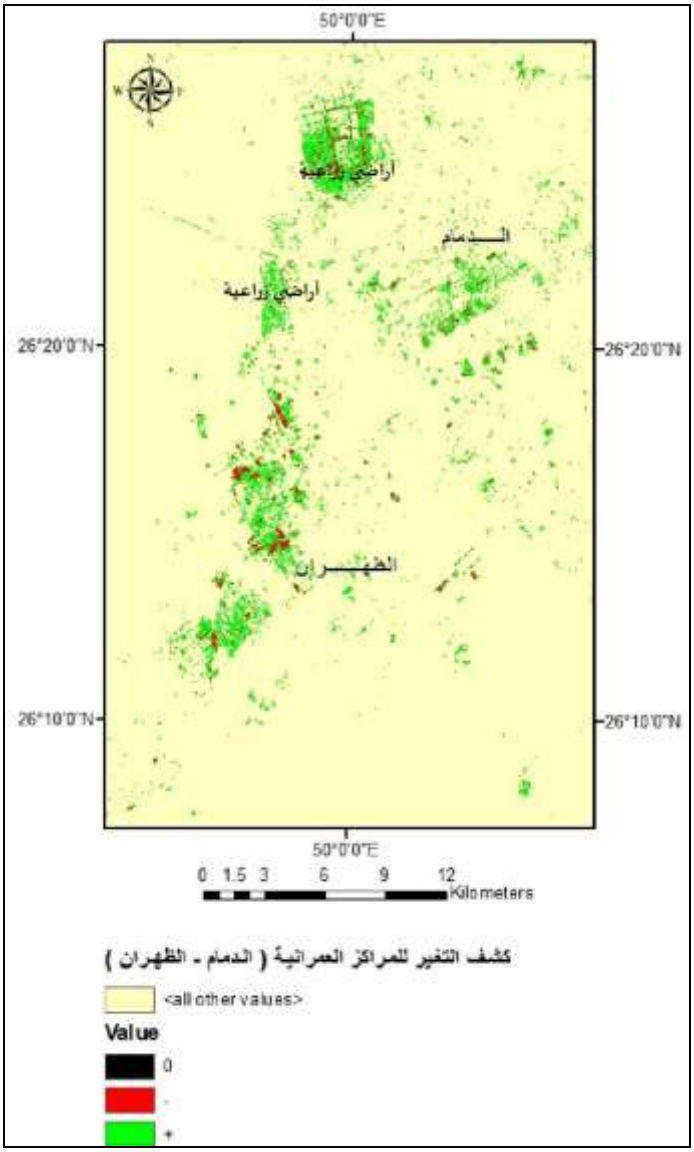
٤ - التَّغيُّر في شمال شرق سبخة الحبيل، والطَّريق الدّائريِّ شرق مدينة العيون (الطَّريق رقم: ٦١٢)، وشمال مدينة العيون، إضافةً إلى طريق العيون بقيق عند شركة الأسمنت السُّعوديَّة (طريق رقم٦١٥) (الشَّكل ١٥ - ث).

٥ - التَّغيُّر في شمال وشمال شرق بحيرة الأصفر، حيث زحفت الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة (الشَّكل ١٥ -ج).

٦ - تأثُّر طريق الجشة العقير (الطَّريق رقم: ٦٤٤٨) بحركة الرِّمال، وكذلك مركز سوق التُّمور بشرق مدينة الهفوف (الشكل ١٥ -ح).

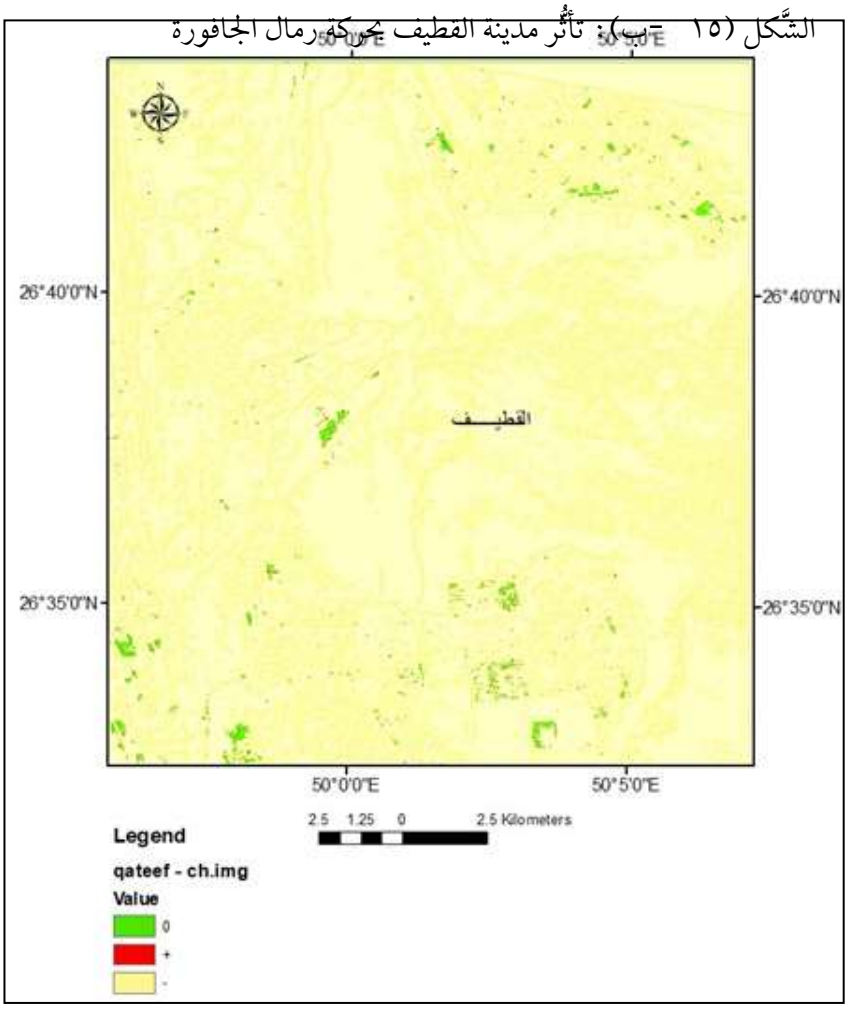
٧ - عدم تأثُّر المناطق العمرانيَّة والزِّراعية جنوب مشروع حجز الرِّمال بحركة الرمال (الشَّكل ١٥ -خ) خلال هذه الفترة، إذ أُنشِئ المشروع لأجل الحدِّ من زحف الرِّمال على الأراضي الزِّراعيَّة والعمرانيَّة.

يدلُّ تطبيق مؤشِّر اختلاف النَّبات في مناطق التَّذرية والنَّقل والإرساب لرمال الجافورة على تأثير حركة الرِّمال واتجاهها في تلك المناطق، كما تشير نتائج تطبيق تقنيَّة كشف التَّغير للمراكز العمرانيَّة، والمنشآت الهندسيَّة، والأراضي الزِّراعيَّة إلى تأثُّرها في المواقع التي اختفى فيها الغطاء النَّباتيِّ في مرئيَّة ٢٠١٩م.

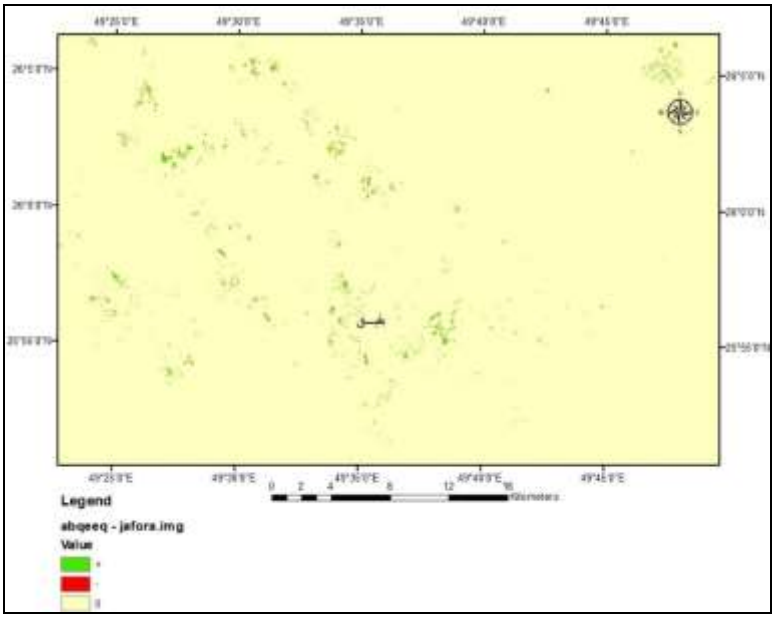


الشكل (١٥ -أ): تأثر مدينتي الدَّمام والظهران بحركة رمال الجافورة، من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعي (LC08 - LE07) Landsat8 - Landsat7

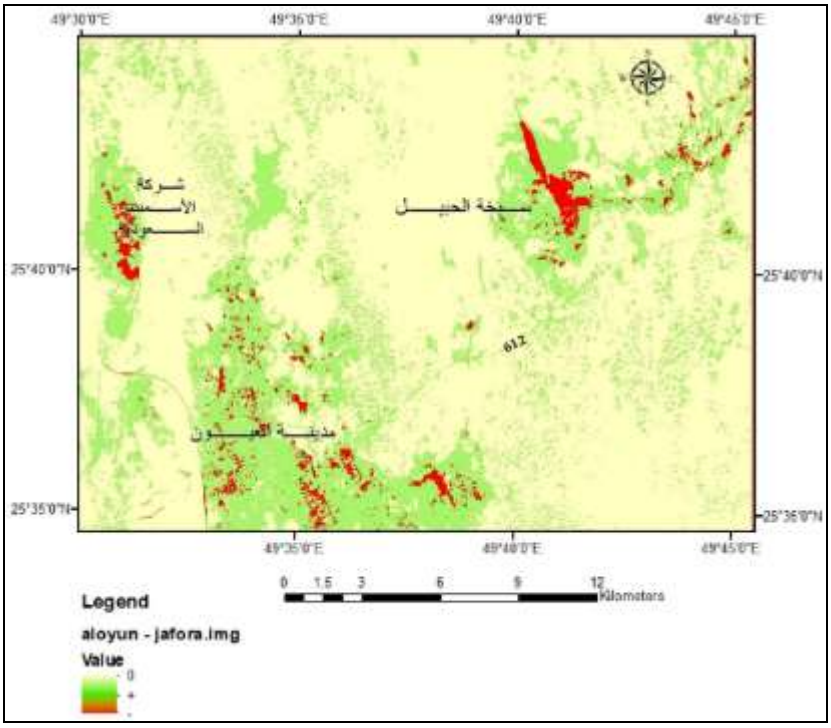
الشَّكل (١٥ -ب): تأثُّر مدينة القطيف بحركة رمال الجافورة



المصدر: من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعي Landsat8 - Landsat7 (LC08 - LE07)

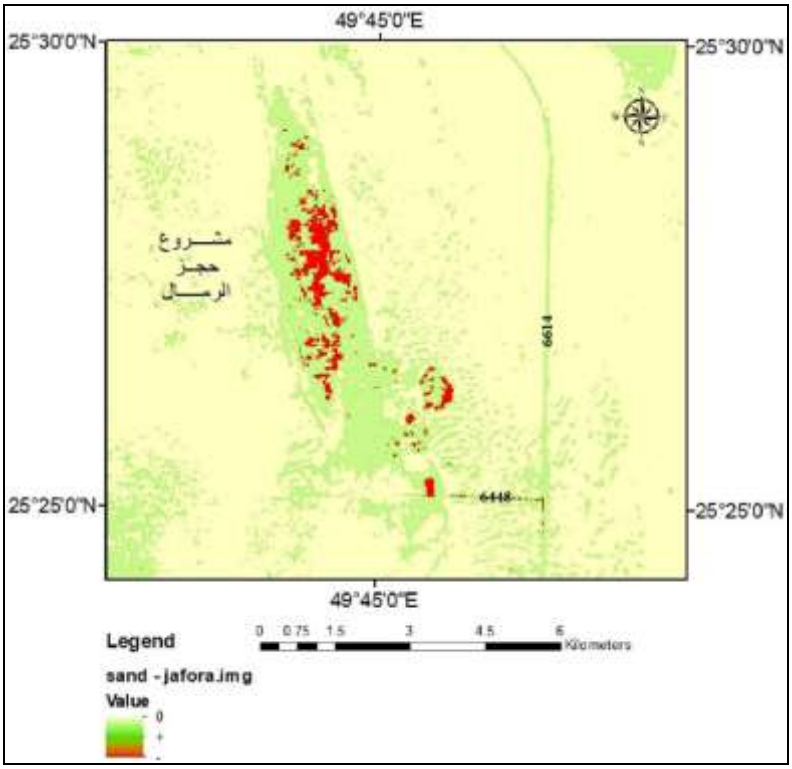


الشَّكل (١٥ -ت): تأثُّر مدينة بقيق بحركة رمال الجافورة. المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعي (LC08 - LE07) Landsat8 - Landsat7

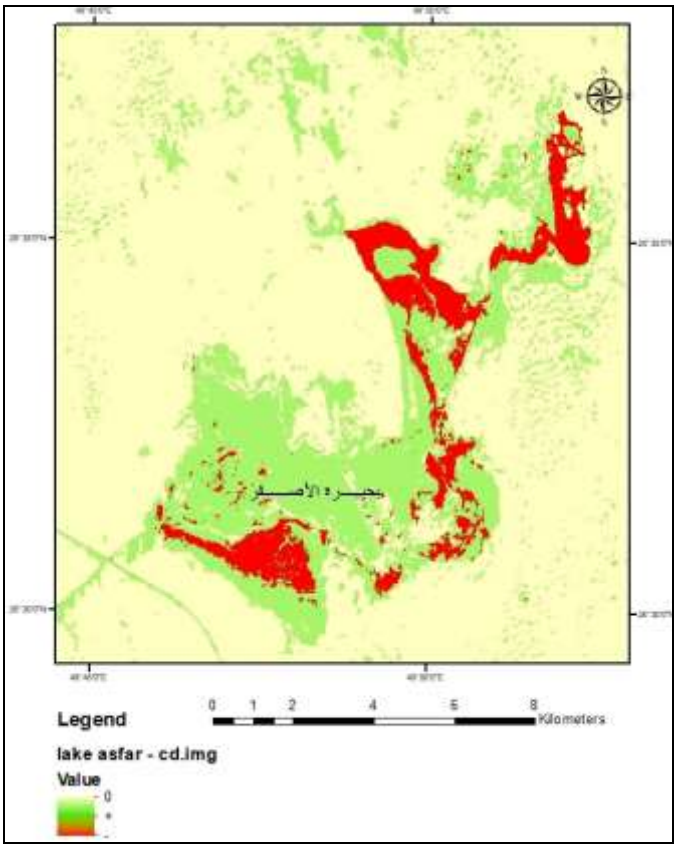


الشَّكل (١٥ -ث): تأثُّر سبخة الحبيل ومدينة العيون بحركة رمال الجافورة.

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعيِّ Landsat8 - Landsat7 (LC08 - LE07)



الشكل (١٥ -ج): تأثُّر مشروع حجز الرّمال بحركة رمال الجافورة. المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعيِّ (LC08 - Landsat8 - Landsat7 (LE07



الشَّكل (١٥ –ح): تأثُّر بحيرة الأصفر بحركة رمال الجافورة، المصدر: من إنجاز الباحثين اعتماداً على تحليل المرئيَّات الفضائيَّة للقمر الصِّناعيِّ (LC08 - LE07) Landsat8 - Landsat7

الخاتمة

إن دراسة جيومورفولوجيَّة وحركة رمال الجافورة باستخدام تطبيقات تقنيَّة الاستشعار عن بُعد، وقد بيَّنت الدِّراسة الميدانيَّة الآتي:

- أشارت نتائج تحليل مؤشِّر تركُّز الرِّمال NDSI ، أنَّ الخصائص المورفولوجيَّة للكثبان الرَّمليَّة بالجافورة تتباين بحسب مناطق العمليات الجيومورفولوجيَّة، إذ تنتشر في منطقة التَّذرية الكثبان الرَّمليَّة القبابيَّة، بينما تسود الكثبان الرَّمليَّة الهلاليَّة في منطقتي النَّقل والإرساب، إذ تتركَّز في منطقة النَّقل في مواقع متفرِّقةٍ شمال غرب مدينة الدَّمام، وغرب مدينة القطيف إلى جنوب مطار الدَّمام، وعلى جانبيِّ طريق الدَّمام – الرِّياض، وشمال غرب مدينة الظَّهران، وحول المدينة الصِّناعيَّة، وشمال طريق الظَّهران – بقيق (رقم الطَّريق ٦١٥)، وشرق مدينة بقيق، إضافةً إلى بعض المواقع في منطقة الإرساب كما في شرق بحيرة الأصفر إلى ساحل الخليج العربيِّ، وشمال وجنوب الطَّريق الدَّائريِّ لحاضرة الأحساء، وشمال مدينة العيون.
- عند تحليل معدَّل الاحمرار تبيَّن وجود ثلاثة ألوانٍ لرمال الجافورة، هي: اللَّون الأصفر Very Pale Brown (10YR 7/6)، واللَّون البنيُّ الباهت جداً (10YR 7/3)، واللَّون البنيُّ الباهت Pale Brown (2.5Y 7/3). تتَّفق هذه النَّتائج مع ما توصَّل إليه الدِّغيري ٢٠١٢م في دراسته "التَّوزيعات اللَّونيَّة للكثبان الرَّملية في صحراء الدَّهناء شمال منطقة القصيم" إلى أنَّ التَّغاير اللَّونيُّ يظهر بوضوحٍ في الكثبان الرَّمليَّة ذات المناسيب المرتفعة، ويقلُّ نسبيًّاً في الكثبان الطوليَّة والفرشات الرَّمليَّة بين الكثبان الرَّمليَّة، كما تتَّفق مع نتائج أنتون Anton 1983 لدراسة احمرار الكثبان الرَّمليَّة في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، والتي أفاد فيها بقلَّة احمرار رمال

الجافورة مقارنةً برمال الرُّبع الخالي والدَّهناء، والذي يعود في الأساس لمادَّة أصل الكثبان الرَّمليَّة، والتي يميل لونها للبياض نظراً لارتفاع نسب الكالسيت والدُّولومايت المستمدَّة من تكشُّف قاع الخليج خلال الفترات الجافَّة من الزَّمن الرَّابع (الدِّغيري ٢٠١٢م).

- تمكَّنت الدِّراسة من خلال تطبيق كلًّا من مؤشِّر اختلاف النَّبات، ومؤشِّر كشف التَّغيُّر خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٩ م، من التَّوصل إلى وجود الأحزمة الشَّجريَّة التي أُنشِئَت من أجل الحدِّ من تأثير رمال الجافورة شمال طريق الظَّهران – بقيق، ويحدُّ الحزام الشَّجريُّ شمال مدينة بقيق من تأثير حركة رمال الجافورة الممتدَّة من الشَّمال إلى الجنوب غرب محافظات القطيف والدَّمام والظَّهران.

- بيّن مؤشِّر اختلاف النَّبات في منطقة الإرساب إلى انتشار نباتات الرَّمث، والسُّويدة، والعندب في الناحية الجنوبيَّة من صحراء الجافورة عند مدينة العيون، وسبخة الحبيل، وبحيرة الأصفر، إضافةً إلى مشروع حجز الرِّمال.

- تبيّن من خلال تطبيق مؤشِّر اختلاف النَّبات في مناطق التَّذرية، والنَّقل، والإرساب لرمال الجافورة مدى تأثير حركة الرِّمال واتجاهها في تلك المناطق، وقد دلَّ على ذلك تطبيق تقنيَّة كشف التَّغيُّر للمراكز العمرانيَّة والمنشآت الهندسيَّة والأراضي الزِّراعية إلى مدى تأثرها في تلك المواقع التي اختفى فيها الغطاء النَّباتي في مرئيَّة ٢٠١٩م، وخاصَّةً في شمال غرب مدينة الدَّمام، وطريق الدَّمام المطار، والأجزاء الشَّماليَّة الغربيَّة لمدينة الظَّهران، إضافةً إلى الأجزاء الشَّماليَّة والشَّماليَّة الغربيَّة والغربيَّة من مدينة القطيف، وحول مدينة بقيق في مواقع متناثرةٍ من النَّاحية الشَّماليَّة، والشَّماليَّة الغربيَّة، والشَّرقيَّة، كما نلاحظ امتداد تأثير حركة الرِّمال في شمال شرق سبخة الحبيل، والطَّريق الدَّائريِّ شرق مدينة العيون، وشمال مدينة العيون، إضافةً إلى

طريق العيون - بقيق عند شركة الأسمنت السُّعوديَّة، وشمال وشمال شرق بحيرة الأصفر، ومن الطُّرق المتأثِّرة في منطقة الإرساب طريق الجشَّة العقير.

وعليه فقد بيَّنت الدِّراسة أهميَّة تنوُّع مصادر المعلومات الجيومورفولوجيَّة في سبيل الوصول إلى حقائق علميَّةٍ موثوقةٍ، كالدِّراسة الميدانيَّة، وتطبيق مؤشِّرات التِّقنيَّات الحديثة، وبخاصَّةٍ تقنيَّة الاستشعار عن بعد. ولِفَهمٍ أفضل لطبيعة حركة الرِّمال يُستَفَاد من مؤشِّرات تقنيَّة الاستشعار عن بُعد (مؤشِّر اختلاف النَّبات - كشف التَّغيُّر)، وذلك لفتراتٍ زمنيَّةٍ متتابعةٍ في قياس هذه الحركة، ونوعها، وعلاقتها بالغطاء النَّباتيِّ واستخدام الأرض، لذا فهي تُعَدُّ من أهمِّ التِّقنيَّات التي تساعدنا في الوصول إلى نتائج عن طبيعة تلك الحركة.

كما تمكَّنت الدِّراسة من تحقيق الأهميَّة الجيومورفولوجيَّة في التَّنبُّؤ بالمخاطر التي قد تحدث بسبب العمليَّات الجيومورفولوجيَّة عند تطبيق مؤشِّرات الاستشعار عن بُعد في تحديد الأماكن المعرَّضة للخطر من خلال الكشف عن التَّوزيع الجغرافيِّ لأماكن تركُّز الكثبان الرَّمليَّة. كما ويساعد هذا التَّحديد في دعم صُنَّاع القرار في اتخاذ التَّدابير اللَّازمة للحدِّ من تأثيرها. وعليه توصي الدراسة بالآتي:

- بيَّنت الدِّراسة أهميَّة الاتجاهات الحديثة للدِّراسات الجيومورفولوجيَّة التَّطبيقيَّة، وذلك من خلال الاستفادة من تقنيَّات الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات من أجل الوصول إلى نتائج تحقِّق القيمة العلميَّة والعمليَّة للبحث الجيومورفولوجي، حيث كشفت الدِّراسة عن تأثُّر بعض المراكز العمرانيَّة والطُّرق بحركة رمال الجافورة. وعليه تقتَرح الدِّراسة إنشاء مايأتي للحدِّ من ذلك:

- إنشاء حزامٍ شجريٍّ شمال طريق الدَّمام المطار (الطَّريق رقم 6466) للموقع (JAF-20-08).
- إنشاء حزامٍ شجريٍّ على طريق العيون العقير (612) للموقع (JAF-20-12).
- إنشاء حزامٍ شجريٍّ على طريق الجشة العقير (الطريق رقم 6448).
- إنشاء مصدَّاتٍ للرِّياح، أو مشاريع حجز الرِّمال شمال غرب مدينة القطيف، وشمال المدينة الصِّناعيَّة بالظَّهران، وشمال مدينة العيون.
- من أجل الحفاظ على بحيرة الأصفر، وسبخة الحبيل لابدَّ من اتخاذ القرارات المناسبة من قبل جهات الاختصاص، وذلك للحدِّ من اندثارها بسبب زحف رمال الجافورة وبخاصَّة من النَّاحية الشَّماليَّة، والشَّماليَّة الشَّرقيَّة.

قائمة المصادر والمراجع

[١] أبو الخير (يحيى ابن محمَّد شيخ)، زحف الرِّمال بمنطقة الأحساء، رسائل جغرافيَّة - الرِّسالة ٦٤، قسم الجغرافيا، كليَّة العلوم الاجتماعيَّة، جامعة الكويت، الكويت، ١٩٨٤م.

[٢] البلوي (رحاب عوض)، حركة الرِّمال وأخطارها على محافظة بقيق: دراسة جيومورفولوجيَّة، رسالة ماجستير" غير منشورة "، جامعة الملك فيصل، الأحساء، ٢٠١٧م.

[٣] الجبر (محمَّد بن عبد اللَّطيف)، الوضع الزِّراعي في واحة الأحساء: عرض للتَّنمية، مكتبة الملك فهد الوطنيَّة، الرياض، ٢٠٠٢م.

[٤] الجيبان، (ساره عبد الله)، مستويات الرَّاحة المناخيَّة البشريَّة اليوميَّة في المنطقة الشَّرقيَّة من المملكة العربيَّة السُّعوديَّة (دراسة في المناخ التَّطبيقيِّ)، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الملك سعود، الرِّياض، ٢٠١٥م.

[٥] الدِّغيري، (أحمد بن عبد الله)، الأنماط المورفولوجيَّة والتَّوزيعات اللَّونيَّة للكثبان في صحراء الدَّهناء شمال منطقة القصيم، مجلَّة العلوم العربيَّة والإنسانيَّة – المجلد ٦ العدد ١ – جامعة القصيم، القصيم، ٢٠١٢م.

[٦] الدِّغيري، (أحمد بن عبدالله)، (٢٠١٩م)، الجغرافيا الطَّبيعيَّة لمنطقة القصيم -المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، الطَّبعة الأولى، دار الإعصار العلميِّ للنشر والتَّوزيع، عمان.

[٧] آل زبنه، (ناصر بن سعيد)، مراقبة زحف الرِّمال والتَّنبُّؤ بحركتها باستخدام تقنيَّة الاستشعار عن بُعد ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة في محافظة بدر، بمنطقة المدينة المنوَّرة، مجلَّة جامعة طيبة للآداب والعلوم الإنسانيَّة، السَّنة

السَّابعة، العدد ٢٠، ١٤٤١، جامعة طيبة - قسم العلوم الاجتماعيَّة، ١٤٤١هـ.

[٨] آل سعود، (مشاعل بنت محمَّد بن سعود بن عبدالرَّحمن)، الانسياق الرَّمليُّ وخصائصه الحجميَّة بصحراء الدَّهناء على خطِّ الرِّياض الدَّمام، سلسلة علميَّة تصدر عن وحدة البحث والتَّرجمة – الطَّبعة الأولى – الجمعيَّة الجغرافيَّة الكويتيَّة، الكويت، ١٩٨٦م.

[٩] آل سعود، (مشاعل بنت محمَّد)، تطبيق تقنيَّات الاستشعار عن بُعد في مراجعة زحف الكثبان الرَّمليَّة في واحة الإحساء، رسائل جغرافيَّة (٢٨٥) - دوريَّة علميَّة محكَّمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافيّة الكويتيَّة، الكويت، ٢٠٠٤م.

[١٠] الشَّرقاوي، (محمَّد محمود علي)، جيومورفولوجيَّة التَّكوينات الرَّمليَّة شرقيِّ وجنوب شرقيِّ الرُّبع الخالي بالمملكة العربيَّة السُّعوديَّة، كليَّة العلوم الاجتماعيَّة، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت، الكويت، ٢٠١٥.

[١١] الشَّريف، (عبد الرَّحمن صادق)، جغرافية المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، دار المريخ للنَّشر، الرِّياض، ٢٠٠٩م.

[١٢] الصَّالح، (محمَّد بن عبد الله)، معالجة صور الاستشعار عن بُعد الرَّقميَّة باستخدام برنامج ILWIS، فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنيَّة أثناء النَّشر، الرِّياض، ٢٠١٠م،.

[١٣] الطَّاهر، عبد الله أحمد، (١٩٩٩م)، الأحساء -دراسة جغرافيَّة، ط١، مطابع الحسيني الحديثة، الأحساء.

[١٤] النَّشوان، (عبد الرَّحمن بن عبد العزيز)، جغرافية المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، فهرست مكتبة الملك فهد الوطنيَّة أثناء النَّشر، الرِّياض، ٢٠١٠م.

[١٥] الوليعي، (عبد الله بن ناصر)، بحار الرِّمال في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة (الطَّبعة الأولى)، فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنيَّة أثناء النَّشر، الرِّياض، ١٩٩٧م.

[١٦] تراب، (محمَّد مجدي)، الموسوعة الجيومورفولوجيَّة، الإسكندريَّة، مصر، ٢٠١١م.

[١٧] سلامة، (حسن رمضان)، أصول الجيومورفولوجيَّة، دار المسيرة للنَّشر والتَّوزيع والطِّباعة، عمان، ٢٠١٠م.

[١٨] عبد الحميد، (عاطف معتمد)، تكامل بيانات الاستشعار عن بُعد والمراجعة الحقليَّة في دراسة الكثبان الرَّملية حقل الجافورة – شرق السُّعوديَّة، دوريَّة علميَّة محكَّمة تُعنَى بالبحوث الجغرافيَّة يُصدِرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعيَّة الجغرافيَّة الكويتيَّة، الكويت، ٢٠٠٧م.

[١٩] محسوب، (محمَّد صبري)، القاموس الجغرافيِّ الجوانب الطَّبيعيَّة والبشريَّة، مكتبة الرُّشد، الرِّياض، ٢٠٠٧م.

[٢٠] مشرف، (محمَّد عبد الغني عثمان)، المعجم الجيولوجي المصوّر، هيئة المساحة الجيولوجيَّة السُّعوديَّة، الموقع الرَّسمي: www.sgs.org.sa .

[٢١] مصطفى، (عباس الطَّيب بابكر)، الجيومورفولوجيا والاستدامة البيئيَّة في المملكة العربيّة السُّعوديَّة مشاريع حجز الرِّمال أنموذجاً، الجمعيَّة الجغرافيَّة السُّعوديَّة، المؤتمر الأوَّل للتَّعليم من أجل التَّنمية المستدامة في

المملكة العربيَّة السُّعوديَّة" الجغرافيا من أجل التَّنمية المُستدامة لرؤية ٢٠٣٠م"، جامعة الإمام عبد الرَّحمن بن فيصل، الدَّمام، ٢٠١٩م.

[٢٢] هيئة المساحة الجيولوجيَّة السُّعوديَّة، المملكة العربيَّة السُّعوديَّة: حقائق وأرقام، هيئة المساحة الجيولوجيَّة -السُّعوديَّة، جدّة، ٢٠١٢م.

[٢٣] يوسف، (حسن علي حسن)، الكثبان الرَّمليَّة بشمال دلتا نهر النيل: دراسة تحليليَّة لخصائصها ومكوناتها، المجلة الجغرافية العربيَّة – العدد ٤٢ – الجزء الثَّاني، الجمعيَّة الجغرافيَّة المصريَّة، القاهرة، ٢٠٠٣م.

[24] Al dughairi، A. Late Quaternary Palaeo environmental Reconstruction in the Burydah Area، Central Saudi Arabia، ، Thesis submitted for the Degree of، Doctor of Philosophy at the University of Leicester، UK. 2011.

[25] Singh R.P and and Mukherjee S., Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Based Classification to Assess the Change in Land Use/Land Cover (LULC) in Lower Assam, India, International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, See discussions, stats. 2016, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/315943042.

[26] Powers, R., Ramirez, L., Redmond, C. and Elberg, J. Geology of the Arabian Peninsula Sedimentary Geology of Saudi Arabia, Geological Survey Professional. United States Government Printing Office, Washington. 1966, D. C., p.147.

Sources and references

[1] 1-Abū al-Khayr, Yahya Ibn Mohmmad Shaykh, (1984m), Zaḥf alrrimāl bi-Minṭaqat al-Aḥsā', Rasā'il jghrāfyyah-alrrisālh 64, Qism al-jughrāfiyā, klyyah al-'Ulūm alājtmā'yyah, Jāmi'at al-Kuwayt, al-Kuwayt.

[2] 2-al-Balawī, Riḥāb 'Awaḍ, (2017m), Ḥarakat alrrimāl w'khṭārhā 'alá Muḥāfaẓat bqyq : dirāsah jywmwrfwlwjyyah, Risālat mājistīr "ghayr manshūrah", Jāmi'at al-Malik Fayṣal, al-Aḥsā'.

[3] 3-al-Jabr, mḥmmad ibn 'Abd alllaṭyf (2002M), al-waḍ' alzzirā'y fī wāḥat al-Aḥsā' : 'arḍ llttanmyh, Maktabat al-Malik Fahd alwṭnyyah, al-Riyāḍ.

[4] 4-aljybān, Sārah 'Abd Allāh, (2015m), mustawayāt alrrāḥh almnākhyyah albshryyah alywmyyah fī al-Minṭaqah alshsharqyyah min al-Mamlakah al'rbyyah alssu'wdyyah (dirāsah fī al-munākh alttaṭbyqyyi), Risālat mājistīr ghayr manshūrah, Jāmi'at al-Malik Sa'ūd, alrriyāḍ.

[5] 5-alddighyry, Aḥmad ibn 'Abd Allāh, (2012m), al-anmāṭ almwrfwlwjyyah wālttawzy'āt alllawnyyah llkthbān fī ṣaḥrā' alddahnā' Shamāl minṭaqat al-Qaṣīm, mjllah al-'Ulūm al'rbyyah wāl'nsānyyah – al-mujallad 6 al-'adad 1 – Jāmi'at al-Qaṣīm, al-Qaṣīm.

[6] 6-alddighyry, Aḥmad ibn Allāh, (2019m), al-jughrāfiyā alṭṭaby'yyah li-minṭaqat al-Qaṣīm-ālmmlkh al'rbyyah alssu'wdyyah, alṭṭab'h al-ūlá, Dār al-i'ṣār al'lmyyi lil-Nashr wālttawzy', 'Ammān.

[7] 7-Āl zbnh, Nāṣir ibn Sa'īd, (1441h), Murāqabat Zaḥf alrrimāl wālttanbbu' bḥrkthā bi-istikhdām tqnyyah al-Istish'ār 'an bu'd wnuẓum al-ma'lūmāt aljghrāfyyah fī Muḥāfaẓat Badr, bi-Minṭaqat al-Madīnah almnwwarh, mjllah Jāmi'at ṭىbh lil-Ādāb wa-al-'Ulūm al'nsāniah, Alssanh alssāb'h, al-'adad 20, 1441, Jāmi'at ṭىbh-Qism al-'Ulūm alājtmā'iah.

[8] 8-Āl Sa'ūd, Mashā'il bint mḥmmad ibn Sa'ūd ibn 'bdālrraḥmn, (1986m), al-Insiyāq alrramlyyu wa-khaṣā'iṣuhu alḥjmyyah bṣḥrā' alddahnā' 'alá khṭṭi alrriyāḍ alddamām, Silsilat 'lmyyah taṣdur 'an Waḥdat al-Baḥth wālttarjmh – alṭṭab'h al-ūlá – aljm'yyah aljghrāfyyah alkwytyyah, al-Kuwayt.

[9] 9-Āl Sa'ūd, Mashā'il bint mḥmmad, (2004m), taṭbīq tqnyyāt al-Istish'ār 'an bu'd fī murāja'at Zaḥf al-kuthbān alrramlyyah fī wāḥat al-Iḥsā', Rasā'il jghrāfyyah (285) - dwryyah 'lmyyah mḥkkamh yuṣdiruhā Qism al-jughrāfiyā bi-Jāmi'at al-Kuwayt wa-al-Jam'īyah aljghrāfyyh alkwytyyah, al-Kuwayt.

[10] 10-alshsharqāwy, mḥmmad Maḥmūd 'Alī, (2015), jywmwrfwlwjyyah alttakwynāt alrramlyyah shrqyyi wa-Janūb shrqyyi alrrub' al-Khālī bi-

al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah, klyyah al-‘Ulūm alājtmā‘yyah, Qism al-jughrāfiyā, Jāmi‘at al-Kuwayt, al-Kuwayt.

[11] 11-alshsharyf, ‘Abd alrraḥmn Ṣādiq (2009M), jughrāfīyah al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah, Dār al-Mirrīkh llnnashr, alrriyāḍ.

[12] 12-alṣṣālḥ, mḥmmad ibn ‘Abd Allāh, (2010m), Mu‘ālajat ṣuwar al-Istish‘ār ‘an bu‘d alrraqmyyah bi-istikhdām Barnāmaj ILWIS, Fahrasat Maktabat al-Malik Fahd alwṭnyyah athnā’ alnnashr, alrriyāḍ.

[13] 13-alṭṭāhr, ‘Abd Allāh Aḥmad, (1999M), al-Aḥsā’-drāsh jghrāfyyah, Ṭ1, Maṭābi‘ al-Ḥusaynī al-ḥadīthah, al-Aḥsā’.

[14] 14-alnnashwān, ‘Abd alrraḥmn ibn ‘Abd al-‘Azīz, (2010m), jughrāfīyah al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah, Fihrist Maktabat al-Malik Fahd alwṭnyyah athnā’ alnnashr, alrriyāḍ.

[15] 15-al-Walī‘ī, ‘Abd Allāh ibn Nāṣir, (1997m), Biḥār alrrimāl fī al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah (alṭṭab‘h al-ūlá), Fahrasat Maktabat al-Malik Fahd alwṭnyyah athnā’ alnnashr, alrriyāḍ.

[16] 16-Turāb, mḥmmad Majdī, (2011M), al-Mawsū‘ah aljywmwrfwlwjyyah, al’skndryyah, Miṣr.

[17] 17-Salāmah, Ḥasan Ramaḍān, (2010m), uṣūl aljywmwrfwlwjyyah, Dār al-Masīrah llnnashr wālttawzy‘ wālṭṭibā‘h, ‘Ammān.

[18] 18-‘Abd al-Ḥamīd, ‘Āṭif Mu‘tamid, (2007m), takāmul bayānāt al-Istish‘ār ‘an bu‘d wa-al-murāja‘ah alḥqlyyah fī dirāsah al-kuthbān alrramlyh ḥaql aljāfwrh – Sharq alssu‘wdyyah, dwryyah ‘lmyyah mḥkkamh tu‘ná bālbḥwth aljghrāfyyah yuṣdirhā Qism al-jughrāfiyā bi-Jāmi‘at al-Kuwayt wāljm‘yyah aljghrāfyyah alkwytyyah, al-Kuwayt.

[19] 19-Maḥsūb, mḥmmad Ṣabrī, (2007m), al-Qāmūs aljghrāfyyi al-jawānib alṭṭaby‘yyah wālbshryyah, Maktabat alrrushd, alrriyāḍ.

[20] 20-Musharraf, mḥmmad ‘Abd al-Ghanī ‘Uthmān, al-Mu‘jam al-jiyūlūjī almṣwwr, Hay’at al-Misāḥah aljywlwjyyah alssu‘wdyyah, al-mawqi‘ alrrasmy : www. sgs. org. sa.

[21] 21-Muṣṭafá, ‘Abbās alṭṭayb Bābakr, (2019m), al-jiyūmūrfūlūjiyā wālāstdāmh alby’yyah fī al-Mamlakah al-‘Arabīyah alssu‘wdyyah Mashārī‘ Ḥajz alrrimāl unmūdhajan, aljm‘yyah aljghrāfyyah alssu‘wdyyah, al-Mu’tamar al’wwal lltta‘lym min ajl alttanmyh al-mustadāmah fī al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah "al-jughrāfiyā min ajl alttanmyh almustdāmh li-ru’yat 2030m", Jāmi‘at al-Imām ‘Abd alrraḥmn ibn Fayṣal, alddamām.

[22] 22-Hay’at al-Misāḥah aljywlwjyyah alssu‘wdyyah (2012m), al-Mamlakah al‘rbyyah alssu‘wdyyah : ḥaqā’iq wa-arqām, Hay’at al-Misāḥah aljywlwjyyah-ālssu‘wdyyah, jddh.

[23]23-Yūsuf, Ḥasan ‘Alī Ḥasan (2003m), al-kuthbān alrramlyyah bi-shamāl Diltā Nahr al-Nīl : dirāsah tḥlylyyah lkhṣā’ṣhā wmkwnāthā, al-Majallah al-jughrāfīyah al‘rbyyah – al-‘adad 42 – al-juz’ alththāny, aljm‘yyah aljghrāfyyah almṣryyah, al-Qāhirah.