

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

جواهر مفرح مرعي القحطاني^١ أحمد بن عبد الله الدغيري^٢

^١ باحثة بالمركز الإقليمي للعواصف الرملية والغبارية - باحثة دكتوراه، الفلسفة في الدراسات البيئية -

^٢ أستاذ البيئة والاستشعار عن بُعد، قسم الجغرافيا كلية اللغات والعلوم الإنسانية

جامعة القصيم، بريدة، المملكة العربية السعودية

¹jawaheralsareai@gmail.com

²Ahmadam320@gmail.com

المستخلص:

يُحاول هذا البحث تحديد المواقع السائدة التي تنبعث منها العواصف الغبارية في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بهدف تقدير مساهمة كل مصدر في كميات الغبار المنتشر في المحمية من خلال تطبيق تقنيات الاستشعار عن بُعد. الأمر الذي يسهل تقديم الحلول المناسبة لمعالجتها للحد من تأثيراتها، ومن خلال استخلاص الانعكاسات الطيفية من: النطاقين الثالث والسابع من الصور الفضائية للقمر MODIS خلال فصل الربيع للفترة بين (٢٠٢٤-٢٠٢٣) وتطبيق مؤشر الغبار الطبيعي في برنامج Arc gis Pro عليها؛ تبين أن الجزء الشمالي الغربي من المحمية هو المصدر الأكبر للغبار فيها بنسبة ٦٣% يليه وسط المحمية من جهة الغرب ويساهم بنسبة ٣١% بينما أقصى الجنوب يساهم بما يقارب ٦% تقريباً من الغبار المنبعث في المحمية، مما يؤكد أهمية عامل جيولوجية التربة ونوعها في ذلك، ويسهل توفير الإمكانات وتنفيذ الحلول لمعالجتها.

الكلمات المفتاحية: العواصف الغبارية، المحميات الطبيعية، الاستشعار عن بُعد، مرئيات موديس MODIS، محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية.

المقدمة

العواصف الغبارية واحدة من أكثر الظواهر البيئية خطورة تحدث بشكل متكرر في المناطق الجافة وشبه الجافة، تاركةً ندوبها على البيئة، بل وعلى الإنسان ونشاطاته ومقدّراته. والغبار من الظواهر الطبيعية التي تحدث بسبب حركة الرياح السريعة التي تثير الأتربة الجافة والمفككة لمسافات طويلة (Rezazadeh, 2020).

(et al, 2013, 105). ويؤثر الغبار بشكل كبير على المناخ، ويتسبب في مشاكل بيئية واقتصادية وصحية لا حصر لها، وتعد الجزيرة العربية من أكثر مناطق العالم تضرراً من الغبار وتداعياته (Furman, 2003, p.420).

وتعتبر صحاري جنوب غرب آسيا من بين أهم تسعة مصادر في العالم للغبار (Goudie et al., 2021). وتعد صحاري شبه الجزيرة العربية واحدة من أكبر مناطق مصادر الغبار (Prospero, et al, 2012, p.1079). وصنفت مصادر الغبار في هذه الصحاري إلى مجموعتين الأولى: محلية وتتضمن غبار الصحاري السورية والعراقية والربع الخالي والدهناء والنفود (Notaro et al., 2013, p.6029). والثانية خارجية حيث يأتي الغبار من خارج صحاري جنوب غرب آسيا وذلك من الصحراء الكبرى (Mashat et al., 2021, p.657).

وفي شمال وشرق شرق المملكة العربية السعودية بصورة عامة، ومحمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بصورة خاصة، تعتبر صحاري سوريا والعراق من أهم مصادر الغبار. وعادة ما تظهر العواصف الغبارية شمال وشمال شرق المملكة خلال الفترة الممتدة بين فبراير - يونيو (AL-Abbasi, et al, 2023, p.402). وتبرز أكثر عواصف الغبار كثافة خلال شهري مارس وأبريل (Hamidi, 2019, p.179)، وقد أعطت الأدبيات أهمية كبيرة لبيانات الاستشعار عن بعد عند تحليل أحداث العواصف الغبارية. بما في ذلك تحديد مصادر الغبار ومسارات الانتشار (Attiya & Jones, 2022, p. 3). وتعتبر نظم المعلومات الجغرافية أداة قوية في معالجة بيانات الاستشعار، قبل تحليل مناطق انتشار الغبار ونمذجة مخاطره (Banja, et al, 2010, p. 17). واستطاع العلماء في الفترة الأخيرة الاعتماد على تقنيات الرصد الفضائي Remote Sensing لتحديد مصادر تلك العواصف الغبارية ونمذجتها والتنبؤ بها، وتترتب عليها اتخاذ القرارات اللازمة (Zhang, et al, 2016). واعتمدت دراسات رصد العواصف الرملية على مرئيات (MODIS) لدقتها الطيفية والمكانية والزمنية الصحيحة (Al-Khudhairy, et al, 2023, p.2). وبمساعدة بيانات الاستشعار عن بعد يمكن مراقبة العواصف الغبارية وتحديد مصادرها بنجاح، ويمكن أيضاً استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في نمذجة الغبار والتنبؤ به (Zhang, et al, 2016, p. 4). غالباً ما يُستخدم النطاقين (٣، ٧) للكشف عن الهباء الجوي (Albugami, et al, 2018, p. 5).

ونظراً للأهمية الاستراتيجية لموقع البحث في شمال المملكة العربية السعودية؛ حيث يُعدّ بوابة دخول الرياح الشمالية المثيرة للغبار؛ فإنه من الأهمية بمكان تحديد المواقع النشطة التي يتكرر انبعاثها منها، لتحقيق المستهدفات الاستراتيجية من إنشاء المحميات الطبيعية، وسيتم ذلك من خلال اعتماد الدراسة على الاستشعار عن بعد لتحديد المواقع النشطة لانبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية، واستخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل بيانات الاستشعار للتسليط الضوء على ظاهرة الغبار، وتحديد

مناطق نشأتها وتتبع مسار حركتها وتغيراتها، والتي من شأنها أن تلعب دوراً مهماً في التخطيط والحفاظ على البيئة في المحمية.

مشكلة البحث:

تتبلور مشكلة البحث في وجود مقومات نشأة وتكرار ظاهرة الغبار، لاسيما الكثبان الرملية والرواسب الرباعية والظروف المناخية خاصة جفاف التربة والرياح؛ فضلاً عن ذلك تتصف محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بغطاء نباتي فقير وسيادة الأراضي الجرداء، كل هذه المقومات تعزز من مخاطر ظاهرة الغبار على صحة الإنسان وتنعكس سلباً على التنمية البيئية المستدامة، خاصة وأنها تقع ضمن المناطق التي تتصف بكثافة وتركز الغبار، وتقع المحمية على مقربة من أكثر مناطق انبعاث الغبار في صحاري جنوب غرب آسيا؛ لاسيما الصحراء العراقية شمال شرق المحمية وصحراء الشام شمال المحمية، وقد أوردت العديد من الدراسات ذلك ووثقتها التقارير المناخية الرسمية، ولتتشكل هذه الصورة الذهنية سنورد أدناه بعضاً منها.

دراسات سابقة:

حدد الدوسري (Al-Duosari et al, 2022) ما أسماه بالنقاط الساخنة للعواصف الغبارية في الشرق الأوسط بهدف استصلاح المناطق التي تمثل بؤراً ساخنة لانبعاث الغبار في الكويت وجنوب العراق، واعتمد في ذلك على بيانات الأقمار الصناعية على مدى ٣٠ عام قام بتحليلها في برامج نظم المعلومات الجغرافية ومن ثم قام باقتطاع عينات من تلك المصادر وتحليلها كيميائياً وباستخدام محلل قياس الحبيبات بالليزر لتقدير النسبة المئوية لأحجامها، واستنتج أن شمال الكويت و جنوب العراق بمساحة ٥٦٣٥٦ كم^٢ تساهمان بنسبة ٨٥% من إجمالي العواصف في المنطقة.

شرح كاظم (كاظم، ٢٠٠٠م) كيفية تذليل العلماء لبيانات الأقمار الصناعية في رصد ومراقبة العواصف الغبارية. وحدد المواقع التي يتكرر منها انبعاث الغبار ثم العوامل المسببة لحدوثه في تلك المناطق، وذكر أن جنوب العراق والمنطقة الحدودية بين السعودية والعراق تمتاز بوجود ترب غرينية مفككة سهلة التحرك، خاصة في مواسم سيادة المنخفضات الجوية والجبهات الهوائية وتندنى الرؤية الأفقية إلى ما دون ٨٠٠م، مما يجعل تأثيرها يصل إلى خارج الحدود العراقية باتجاه شمال المملكة.

حلل المسند (المسند، ٢٠١٠) بيانات مناخية يومية للمناطق الواقعة في منصرف رياح البوارح الشمالية التي تهب خلال شهري يونيو ويوليو بسبب اختلاف مراكز الضغط الجوي بين شمال المملكة وجنوبها، ومن خلال ذلك وضح أن هذه الرياح تثير الأتربة والغبار بسبب قحولة المناطق المارة بها

وتفكك تربتها وعدم وجود مصدّات تضاريسية تعيق حركتها. لذلك تتوقف هذه الرياح بمجرّد الوصول للهضاب الوسطى والجبال الغربية من المملكة العربية السعودية، ويبيّن أنها تنشط منتصف النهار، واستنتج أن شمال المملكة العربية السعودية من مصادر الغبار الرئيسية الإقليمية .

رصد المطلق (المطلق، ٢٠١٩) خمسًا من حالات العواصف الغبارية المميزة التي اجتاحت المملكة العربية السعودية خلال العقد الأخير، واستخدم في ذلك صور القمر MODIS الفضائية ثم معالجتها واستخلاص تراكيز الغبار من خلال فرز النطاقات الطيفية المناسبة بهدف تحديد مصادر الغبار المتكررة على مستوى المملكة العربية السعودية، وبيّنت النتائج أن معظم الحالات الغبارية كانت قادمة من العراق وبادية الشام مقتحمة المنطقة الشمالية، وأوصى بضرورة معالجة تلك المصادر من خلال التعاون المشترك مع دول الإقليم لاقتلاع جذور هذه المشكلة.

وتطرقت دراسة البقمي (Albaqami, 2019) إلى التحليل المكاني والزمني للعواصف الترابية في المملكة العربية السعودية وتأثيراتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، واعتمدت على مرئيات (MODIS) ومن المؤشرات الطيفية المستخدمة بهذه الدراسة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار (NDDI) لتحديد مناطق انتشار الغبار ضمن مختلف أنواع الغطاء الأرضي.

وتعرضت دراسة البقمي وآخرون (Albugami, et, 2019) للتباين المكاني والزمني لانتشار الغبار في المملكة العربية السعودية، واعتمدت الدراسة على بيانات الأرصاد الجوية لرصد وتحليل توزيع الغبار بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠١٦، وأكدت النتائج موسمية حدوث الغبار مع أعلى تواتر لانتشاره خلال فصل الربيع، وربطت هذه الدراسة كثافة انتشار الغبار بسرعة واتجاه الرياح، واتجاه، والأمطار، والحرارة.

وتناولت دراسة غاندهام وآخرون (Gandham, et al, 2020) ديناميكيات تغير أحداث الغبار الشديد في شبه الجزيرة العربية خلال الفترة ٢٠٠٣-٢٠١٧ باستخدام مرئيات (MODIS, CALIOP) لاشتقاق أحداث الغبار، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تكوين الغبار الشديدة يرتبط بشكل أساسي بتغير نطاقات الضغط العالي، وسرعة حركة الرياح الربعية الشمالية.

وتناولت دراسة العباسي وآخرون (AL-Abbasi, et al, 2023) خصائص التباين المكاني للعواصف الغبارية في فصل الربيع بالمملكة العربية السعودية، واعتمدت الدراسة على إجراء تحليل إحصائي من بيانات الأرصاد الجوية للغبار بنحو ٢٧ محطة وبيانات (NCEP / NCAR)، وأكدت نتائج الدراسة أن المنطقة الشمالية الشرقية والشرقية للمملكة هي الأكثر تضرراً بالعواصف الغبارية.

وعلى ضوء ما جاء في الدراسات السابقة، يتضح مدى الأهمية التطبيقية لهذه الدراسة في تحديد قيم مؤشرات الغبار وامتداد العواصف الغبارية وتحركاتها، ودرء أخطارها البيئية، وفي مقدمتها على صحة

الإنسان، فقد ذكرت دراسة (الدوسري، وآخرون، ٢٠٢٢م) في المنهجية استخدام مرئيات فضائية لثلاثين عام ممثلة بمرئيات كورونا ولانداست LANDSAT، وفي المتن لا توجد سوى صور للقمر موديس MODIS، ولم نجد أي خرائط توضح قيم مؤشرات الغبار، ومناطق تركيزها وتغيراتها. وتعتبر دراسة كاظم (كاظم، ٢٠٠٠) وصفية أكثر منها تطبيقية، وبالتالي كانت هناك فجوة واضحة بين عنوان الدراسة والمنهجية، ويظهر ذلك من خلال استعمال صور فضائية دون تطبيق لمؤشرات الغبار التي كان ينبغي أن تظهر من خلال الخرائط التي توضح ذلك. وتعتبر دراسة (المسند، ٢٠١٠م) مناخية وصفية ركزت على الرياح وأهملت الجانب التطبيقي لربط أثر الرياح في العواصف الغبارية التي كان ينبغي اشتقاقها من بيانات الاستشعار عن بعد. أما دراسة (المطلق، ٢٠١٩) فاعتمدت على خمسة عواصف غبارية تعرضت لها المملكة العربية السعودية، وجاءت منهجيتها ونتائجها واضحة، واعتمدت هذه الدراسة على النطاقات الحرارية (٣١، ٣٢) لمرئيات موديس، في تحديد مصادر الغبار ومناطق انطلاقها وتحركاتها. واعتمدت دراسي (البقي، وآخرون، ٢٠١٩) الأولى: على بيانات الاستشعار عن بعد والثانية: على بيانات محطات الرصد الأرضية في اكتشاف مناطق تركيز الغبار. بينما اعتمدت دراسة (غاندهام وآخرون، ٢٠٢٠) على بيانات الاستشعار عن بعد. بينما استخدمت دراسة (العباسي وآخرون، ٢٠٢٣) بيانات محطات الرصد في تحليل تباين انتشار الغبار في الغلاف الجوي.

وبذلك تتفق هذه الدراسة كثيرًا مع منهجية دراسة (المطلق، والبقي، وغاندهام) وتطبيقاتها، وتختلف عنها في نوع المؤشر والنطاقات المستخدمة في تحديد مواضع العواصف الغبارية وامتدادها. في المقابل تختلف هذه الدراسة كليًا عن دراسات (الدوسري، وكاظم، والمسند، والبقي، والعباسي) وذلك من خلال تركيزها على الجانب التطبيقي في تحديد مناطق انبعاث الغبار الأكثر تكرارًا، ومساراته وذلك بتتبع عشر حالات غبارية تعرضت لها المحمية بين عامي ٢٠٠٣م إلى ٢٠٢٤م، واستخدام مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار (Normalized Difference Dust Index) المستخلص من النطاقين (٣ و ٧) من مرئيات (MODIS)، وذلك بسبب قدرتها العالية على فصل الغبار عن السحب، لذا يعتبر هذا المؤشر من أهم مؤشرات تحديد مواقع انبعاث الغبار.

أهداف البحث:

- التحقق من دلالة علاقة انتشار الغبار بمتغيرات البيئة المكانية في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية.
- تحليل أشد العواصف الغبارية التي تعرضت لها محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بين عامي ٢٠٠٣ - ٢٠٢٤م.

- تحديد البؤر التي يتكرر منها انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية.

منهجية البحث وأدواته:

استخدم البحث منهج التحليل المكاني القائم على تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، لمعالجة وتحليل بيانات الأقمار الصناعية. وبعد معالجتها تم تطبيق معادلة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار (Normalized Difference Dust Index)، لاشتقاق ظاهرة الغبار، فضلاً عن تحليل بيانات المتغيرات الأخرى المؤثرة في نشأة الغبار ومساراته كبيانات التربة وأنواع الصخور والتضاريس وعناصر المناخ وغيرها، بهدف إنتاج خرائط نوعية وكمية دقيقة للغبار وتغيراته ومحدداته المكانية.

وبذلك فقد اعتمدت الدراسة في تطبيق مؤشر الغبار على النطاقين ٣ و ٧ من مرئيات (MODIS) بدقة مكانية ٥٠٠ متر. ويمتاز هذان النطاقان بانعكاس طيفي عند نطاق الطول الموجي ٤٥٩-٤٧٩ نانومتر للنطاق ٣، و ٢١٠٥-٢١٥٥ نانومتر للنطاق ٧. واستخدمت الدراسة مؤشر الغبار (NDDI)، لتحديد انتشار الغبار ورسم خرائط توزيعه من مرئيات (MODIS)، بالاعتماد على منهجية العتبة لتحديد نطاقات امتداد العواصف الغبارية والنقاط الساخنة، وتم التمييز بين الغبار والأغطية الأخرى لاسيما السحب، بسبب الانعكاس العالي من النطاق الثالث ٤٦٩، مايكرومتر، والمنخفض في النطاق السابع ٢،١٣ مايكرومتر، وتعد مخرجات موديس (MODIS) المرتبطة بقمريين صناعيين موديس تيرا (Terra) الذي أطلق في ديسمبر ١٩٩٩م، وموديس أكوا (Aqua) الذي أطلق في مايو ٢٠٠٢م، من أكثر البيانات المستخدمة في دراسة العواصف الغبارية، لأنها تتصف بوجود عدد كبير من النطاقات الطيفية، تغطي المجال المرئي، ومجال الأشعة تحت الحمراء القريبة، والأشعة تحت الحمراء الحرارية للطيف الكهرومغناطيسي.

وعلى الرغم من إمكانية استخدام مرئيات أخرى ذات دقة مكانية أعلى من مرئيات موديس MODIS كمرئيات لاندسات LANDSAT أو سينتال SENTENAL في تحليل ظاهرة الغبار، لكن مرئيات موديس MODIS تمتاز بمميزات لا نجدها عن غيرها من الأقمار الصناعية، فهي تمتاز بدقة مكانية وطيفية وزمنية عالية الجودة، وتغرز من إجراء تحليلات دقيقة لمناطق انبعاث الغبار، وتتبع تغير مسار حركته يومياً، فأقمار (MODIS) تتسم بالتقاط صور يومية (دقة زمنية عالية) ومناسبة للغاية لدراسة ظاهرة الغبار، كما أنها مرئياته متاحة للتحميل بدقة مكانية جيدة وكافية للكشف عن مناطق تولّد وتكرار الغبار، حيث تصل دقتها المكانية إلى ٢٥٠ م، وتتميز بمجموعة واسعة من الإشعاعات الطيفية تصل إلى ٤٠ نطاق، ويمكن من خلال هذا التنوع الطيفي إنتاج صور بألوان حقيقة وزائفة، تهدف كل صورة ضمن كل تركيب إلى إظهار ظاهرة معينة على سطح الأرض وفي الغلاف الجوي والمائي، فمثلاً يتم إنشاء صور تظهر مناطق انتشار

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

الغبار بتركيب لوني من النطاقات ١، ٤، ٣، وبالتالي فإن الدقة الزمنية والطيفية والمكانية لهذه المرئيات تجعل منها الأفضل والأكثر استخداماً في تتبع هذه الظاهرة وتغيراتها يومياً.

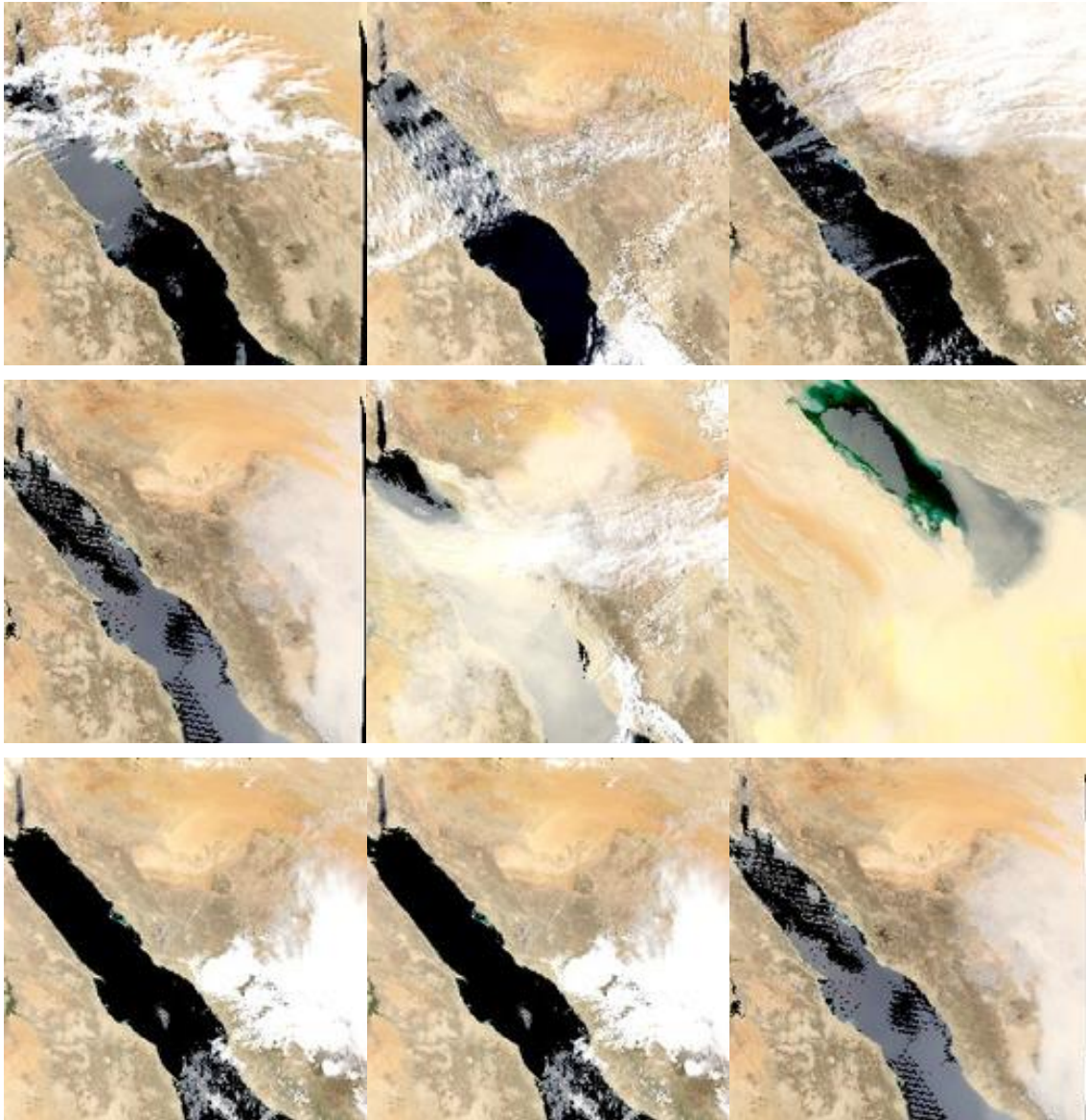
وبذلك تتمثل البيانات المستخدمة في هذه الدراسة ببيانات (MOD09GA) بدقة مكانية ٥٠٠ م لعدد من الاعوام التي تعرضت فيها المحمية للغبار الذي عادة ما ينشط خلال فصل الربيع بين شهري مارس ومايو (٢٠٠٣، ٢٠٠٥، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩، ٢٠١١، ٢٠١٢، ٢٠١٥، ٢٠١٧، ٢٠٢٢)، وتم الحصول عليها من موقع ناسا.

الجدول (١) خصائص مرئيات (MODIS) المستخدمة في منطقة الدراسة بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٣م

الموقع	ملف تعريف مرئية MODIS	المرئية	التاريخ (D/M/Y)		
			الساعة	اليوم	الشهر
محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية	MOD09GA.A2003070.h21v06.061.2020088051705	Terra	٢٣:٥٩	١١	٣
	MOD09GA.A2005081.h21v06.061.2020227115641	Terra	٢٣:٥٩	٢٢	٣
	MOD09GA.A2007072.h21v06.061.2021056233832	Terra	٢٣:٥٩	١٣	٣
	MOD09GA.A2009092.h21v06.061.2021124121131	Terra	٢٣:٥٩	٢	٤
	MOD09GA.A2011084.h21v06.061.2021185082318	Terra	٢٣:٥٩	٢٥	٣
	MOD09GA.A2012073.h21v06.061.2021205084706	Terra	٢٣:٥٩	١٣	٣
	MOD09GA.A2015092.h22v06.061.2021321191110	Terra	٢٣:٥٩	٢	٤
	MOD09GA.A2017078.h21v06.061.2021268095720	Terra	٢٣:٥٩	١٩	٣
	MOD09GA.A2022145.h21v06.061.2022147033205	Terra	٢٣:٥٩	٢٥	٥
	MOD09GA.A2024120.h21v06.061.2024122074738	Terra	٢٣:٥٩	٢٩	٤

المصدر : (https://search.earthdata.nasa.gov/).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (١) مرئيات موديس (Terra-MODIS)

المصدر: (<https://search.earthdata.nasa.gov>)

واستُخدمت هذه المرئيات لتقييم مدى الانعكاس الطيفي في تحديد النقاط الساخنة وتقدير التغطية المكانية للعاصفة في المحمية، بواسطة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار (NDDI)، الذي يعتبر من أهم المؤشرات المستخدمة في تحديد مواقع انبعاث الغبار، كونه يساعد في التخلص من تأثيرات الغطاء السحابي بشكل فعال.

وتم تطبيق معادلة هذا المؤشر المبينة أدناه بعد القيام بمعالجة النطاقات المفردة لكل مرئية من مرئيات موديس MODIS من خلال التصحيح الجوي والإشعاعي لكل نطاق ومن ثم دمج النطاقات والاقطاع

على حدود المحمية، وبعد تصحيح النطاقين الثالث والسابع من بيانات (MOD09GA) ثم تطبيق معادلة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار في حاسبة (GIS).

$$NDDI = \frac{(b7-b3)}{(b7+b3)} \text{ (Bahrami, et al, 2020).}$$

حيث (NDDI) مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار، (b3) انعكاس النطاق الثالث، و (b7) النطاق السابع من مرئيات (MODIS)، وتشير الخاصية الطيفية إلى وجود امكانية عالية لاستخلاص المواقع المصدرة للغبار باستخدام الفرق بين طيف النطاق السابع (٢,١٣) ميكرومتر، والنطاق الثالث (٠,٤٦٩) ميكرومتر، ويميز هذا الاختلاف بشكل جيداً بين الغبار والسحب، وبسبب إمكانية التمييز القوية هذه، يعتبر هذا المؤشر من أهم مؤشرات تحديد مواقع انبعاث العواصف الغبارية، حيث تظهر مناطق توجد السحب حسب نتائج تطبيق هذا المؤشر سالبة، بينما القيم الأكبر من ٠ تمثل مناطق انتشار الغبار وبذلك حددت القيمتين العليا والدنيا لمؤشر (NDDI) اما المتوسط المكاني للمؤشر فقد حدد من خلال عمل إعادة تصنيف لطبقة (NDDI) وقراءته من البيانات الوصفية.

وبعد تطبيق المعادلة السابقة على النطاقين السابع والثالث من مرئيات موديس استخدمت حاسبة (GIS) لتحديد نطاق امتداد كل عاصفة غبارية من خلال ادخال طبقات مؤشر (NDDI) ثم اشارة أكبر من (>) ثم ٠، وبذلك حدد نطاق امتداد الغبار الناتج عن كل عاصفة وحسبت مساحته بعد تحويل الطبقة على (Shapefile Polygon) باستخدام الحاسبة الهندسية (Calculator Geometry).

حيث إن قيمة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار تتراوح بين $1^- - 1^+$ ، وتقع القيم السالبة اقل من صفر ضمن مناطق انعدام الغبار، وتصنف قيم المؤشر من $0 - 0,2$ ضمن انتشار غبار خفيف جداً في الغلاف الجوي، وتشير القيم التي تتراوح بين $0,2 - 0,4$ لمناطق انتشار غبار خفيف في الجو، بينما تتراوح قيمة انتشار الغبار المعتدل بين $0,4 - 0,6$ ، وما بين $0,6 - 0,8$ انتشار غبار كثيف في الغلاف الجوي، $0,8 - 1$ غبار كثيف جداً في الهواء، وتقع بؤر انبعاث الغبار وتزداد مخاطره على صحة الانسان والبيئة في المناطق التي تتصف بانتشار غبار يتراوح بين كثيف إلى كثيف جداً، ومن هنا رأى الباحثان اعتماد عتبة $0,6$ فأعلى، ويمكن تغيير هذا العتبة من باحث إلى آخر. وعليه فقد استخدم البحث حاسبة (GIS) لتحديد مواضع النقاط الساخنة للغبار ضمن كل عاصفة غبارية بعد إدراج طبقات مؤشر (NDDI) تعقبها اشارة أكبر من (>)، وتليها عتبة $0,6$ لكل العواصف الغبارية في كل الأعوام وبذلك حُدد نطاق مواقع انبعاث الغبار.

وأخيراً قامت الدراسة بدمج جميع طبقات الغبار في طبقة واحدة تمثل انتشار الغبار بجميع العواصف المدروسة، وبالتالي تحويل هذه الطبقة التي تمثل المتغير التابع وجميع طبقات المتغيرات المستقلة المؤثرة

في نشأة الغبار من (Raster to Points)، ليتم الحصول على عينة عشوائية مكونة من (٢٢٥٤٣) نقطة بمسافة تفصل بين كل نقطة وأخرى ٢ كم لكل من المتغير التابع مؤشر (الغبار)، والمتغيرات المستقلة المؤثرة في تشكّل الغبار (نسيج التربة، وصلابة الصخور والعناصر المناخية واستعمالات الأرض والغطاء النباتي) ومن ثم تحويل (Points to Excel)، وأدخلت بيانات المتغيرات لكل نقطة في برنامج (SPSS) لمعرفة مدى تأثير المتغيرات المستقلة في انتشار الغبار، من خلال حساب معاملات الارتباط (Kendall، Pierson، Spearman).

أولاً: مُحددات مواقع انبعاث الغبار

تصنف محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة، وتتسم بتغطية غالبيتها بالرواسب الرباعية التي شكّلت الكتبان الرملية، وافتقار غالبيتها للغطاء النباتي، الأمر الذي يجعلها مصدر لنشأة الغبار خاصة خلال فصل الربيع.

(١) التربة: تعتبر التربة من أهم المتغيرات المكانية لتحديد مناطق انبعاث الغبار، وتم الحصول على بيانات تربة المحمية من أطلس الخريطة العامة للتربة بمقياس ١:٢٥٠٠٠٠، وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦م، ويُظهر الشكل (١) وجود إحدى عشرة نوع من التربة تختلف عن بعضها من حيث الخصائص الكيميائية والفيزيائية التي تؤثر في مواضع انبعاث الغبار، وعند الربط المبدئي بين خريطة التربة وخرائط الغبار نجد تركيز الغبار حيث الترب الرملية الحصوية والطينية.

وتوصلت نتائج التحقق من علاقة انتشار الغبار بمتغير تابع، بنسيج التربة في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بمتغير مستقل جدول (٢) إلى وجود علاقة طردية ضعيفة جداً بينهما حسب معامل ارتباط بيرسون الذي بلغ ٠,١٩٢، وبالتالي يؤدي زيادة نسيج التربة لزيادة انتشار الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ١٩,٢% والعكس، ورغم ضعف هذه العلاقة إلا أنها مهمة بسبب دلالتها الإحصائية عند مستوى ٠,٠١، وعليه فإن علاقة المتغيرين جوهرية، وليست ناتجة عن الصدقة بمستوى ثقة ٩٩%.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

جدول (٢) علاقة انتشار الغبار بنسيج التربة في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (نسيج التربة)	معامل ارتباط		
	معامل ارتباط Spearman	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Pierson
قيمة العلاقة	٠,٣٣٧	٠,٢٦٦	٠,١٩٢
درجة المعنوية	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠
مستوى الدلالة	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين		٢٢٥٤٤	
نسيج التربة	المتوسط	٣٩,١٤	
	الانحراف المعياري	١٠,١٨	
مؤشر الغبار	المتوسط	٠,١٢	
	الانحراف المعياري	٠,٠٩	

المصدر: الباحثان بالاعتماد على أطلس الخريطة العامة للتربة، وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦م، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

(٢) **التركيب الصخري:** تعد أنواع الصخور من أهم المتغيرات المكانية التي تحدد مواقع انبعاث الغبار ويُظهر الشكل (١) خمسة أنواع من الصخور، ولكن نجد أن غالبية مواقع انبعاث الغبار تتركز حيث انتشار الكثبان الرملية والرواسب الرباعية التي توفر المواد اللازمة لانبعاث الغبار في المحمية. وتظهر نتائج تحليل علاقة انتشار الغبار بنسبة صلابة الصخور جدول (٣) وجود علاقة عكسية ضعيفة جدًا بينهما؛ حيث بلغت قيمة معامل ارتباط بيرسون بين المتغيرين نحو -0.102 ، وبالتالي فإن زيادة صلابة الصخور تؤدي إلى تراجع مؤشر الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة 10.2% والعكس، وعلى الرغم من ضعف هذه العلاقة إلا أن أهميتها تكمن في دلالتها الإحصائية عند مستوى 0.01 ، وعليه؛ لذلك هذه العلاقة بين المتغيرين تعتبر جوهرية بمستوى ثقة 99% .

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

جدول (٣) علاقة انتشار الغبار بدرجة صلابة الصخور في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

معامل ارتباط spearman	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Pierson	المتغير المستقل (صلابة الصخور)	
			المتغير التابع (مؤشر الغبار)	
٠,٠٦٠ ⁻	٠,٠٤٤ ⁻	٠,١٠٢ ⁻	قيمة العلاقة	
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	درجة المعنوية	
٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	مستوى الدلالة	
٢٢٥٤٤			عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين	
٤٥,٦٧			المتوسط	نسبة صلابة الصخور
٢٣,٦٤			الانحراف المعياري	
٠,١٢			المتوسط	مؤشر غبار العواصف
٠,٠٩			الانحراف المعياري	

المصدر: الباحثان بالاعتماد الخرائط الجيولوجية للمحمية، هيئة المساحة الجيولوجية، ١٩٨٥، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

(٣) التضاريس: تؤثر التضاريس في سرعة واتجاه الرياح التي تعمل على إثارة الأتربة والغبار في الغلاف الجوي، وتم الحصول على نموذج ارتفاع رقمي من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية للقمر الصناعي (SRTM) بدقة مكانية ٣٠ م (<https://earthexplorer.usgs.gov>). وتراوح ارتفاع تضاريس المحمية الشكل (١) بين ٣٩٤ - ٩٣٦م، وعند الربط بين مواضع انبعاث الغبار وارتفاع تضاريس المحمية نجد تركزها على ارتفاع يتجاوز ٦٠٠م.

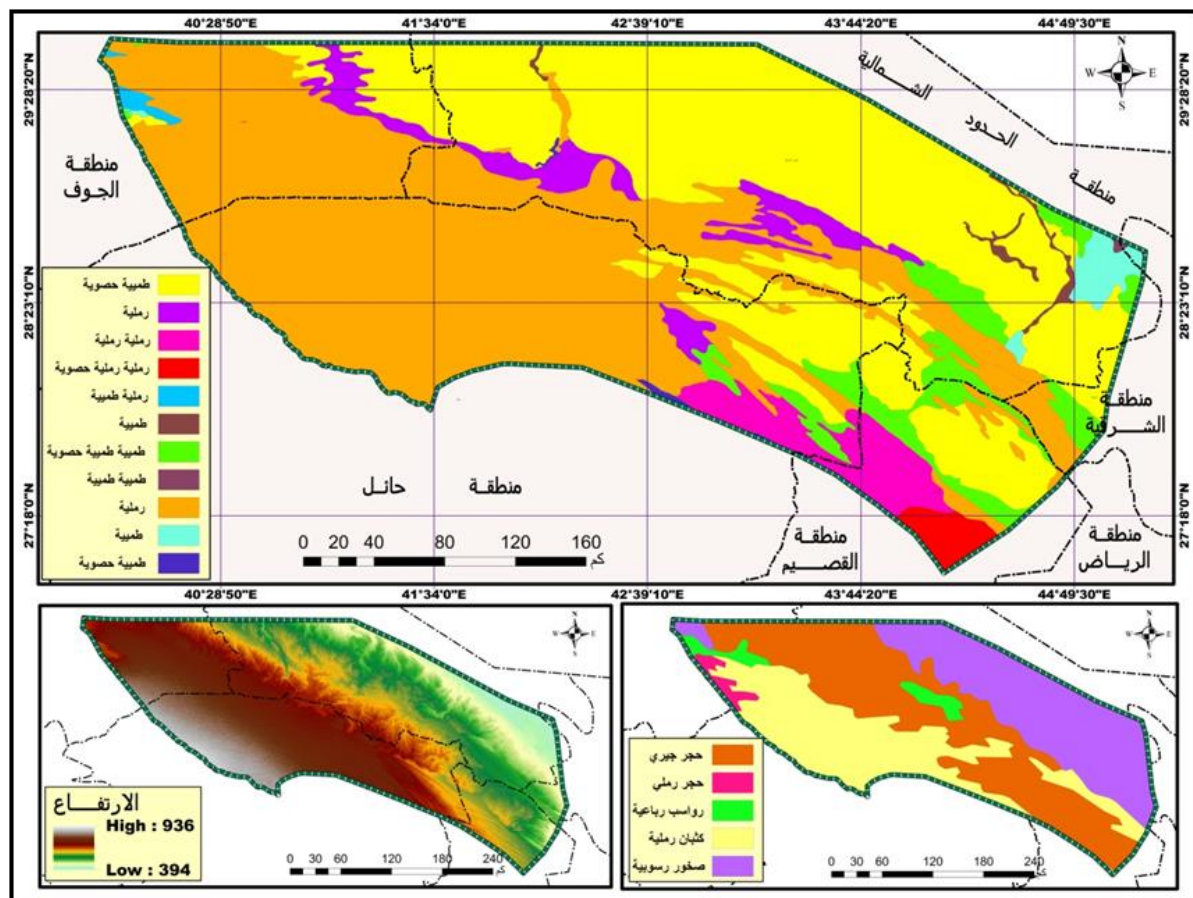
جدول (٤) علاقة انتشار الغبار بارتفاع التضاريس في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

معامل ارتباط Spearman	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Pierson	المتغير المستقل (ارتفاع التضاريس)	
			المتغير التابع (مؤشر الغبار)	
٠,٢٩٥	٠,٢٠٢	٠,٢٧٤	قيمة العلاقة	
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	درجة المعنوية	
٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	مستوى الدلالة	
٢٢٥٤٤			عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين	
٦٤٨,٥			المتوسط	ارتفاع التضاريس
١١٨,٦٦			الانحراف المعياري	
٠,١٢			المتوسط	مؤشر غبار العواصف
٠,٠٩			الانحراف المعياري	

المصدر: الباحثان بالاعتماد نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

وبذلك تظهر نتائج التحقق من علاقة انتشار الغبار بارتفاع التضاريس في محمية الإمام تركي وجود علاقة طردية ضعيفة بينهما؛ إذ بلغت قيمة معامل ارتباط بيرسون جدول (٤) السابق نحو ٠,٢٧٤، وعليه فإن زيادة الارتفاع يؤدي إلى زيادة الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ٢٧,٤% والعكس، وتكمن أهمية هذه العلاقة بين المتغيرين من دلالتها الاحصائية عند مستوى ٠,٠١، أي أن هذه العلاقة جوهريّة بمستوى ثقة ٩٩%.



الشكل (١) أنواع التربة والصخور وارتفاع التضاريس في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على الخريطة العامة للتربة، وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦م. وهيئة المساحة الجيولوجية، طبقة رقمية للتركيب الجيولوجي، ١٩٨٥. ونموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM)، موقع المساحة الجيولوجية الامريكية، ٢٠٢٤م.

(٤) **عناصر المناخ:** تم الحصول على بيانات عناصر المناخ كرطوبة التربة السطحية كج/م^٢ بشهري مارس وابريل بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٢ م على عمق من ٠ - ٤٠ سم، للنموذج (GLDAS)، وبيانات حرارة التربة نموذج (FLDAS)، وبيانات التبخر المباشر من سطح الترب العارية كج/م^٢ ث من بيانات نموذج (GLDAS)، من موقع وكالة ناسا بيانات مناخ الأرض (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>)، على شكل طبقات (Raster)، بدقة مكانية تتراوح بين ١٠ - ٢٧ كم.

ونظرًا لأهمية عامل رطوبة التربة في انبعاث الغبار من عدمه؛ فقد تم قياس رطوبتها السطحية كج/م^٢ بشهري مارس وأبريل بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٤ م على عمق من ٠ - ٤٠ سم، للنموذج (GLDAS). ويظهر الشكل (٢) تراوح رطوبة التربة أثناء حدوث العواصف الربيعية بين ٠,٤١ - ١,٤٦ كج/م^٢، وعند الربط بين مواقع انبعاث الغبار بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٤ م يلاحظ تأثير رطوبة التربة على انتشار الغبار في المحمية، ويلاحظ أيضًا تركيز غالبية مواقع انبعاث الغبار حيث تقل رطوبة التربة غرب وجنوب ووسط المحمية في الشكل (٢).

وبذلك توصلت نتائج تحليل علاقة انتشار الغبار، برطوبة سطح التربة في المحمية جدول (٥) لوجود علاقة عكسية ضعيفة بينهما، ومما يؤكد ذلك قيمة معامل ارتباط بيرسون التي بلغت نحو -٠,٢٨٤، وعليه كلما زادت رطوبة التربة قل انتشار الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ٢٨,٤% والعكس، وعلى الرغم من ضعف هذه العلاقة، لكن تكمن أهميتها من وجود دلالة احصائية عند مستوى ٠,٠١، وعليه فإن علاقة انتشار الغبار برطوبة سطح التربة في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية ليست ناتجة عن الصدقة بمستوى ثقة ٩٩%.

جدول (٥) علاقة انتشار الغبار برطوبة التربة السطحية في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (رطوبة التربة)	معامل ارتباط			المتغير التابع (مؤشر الغبار)
	Pierson	Kendall	Spearman	
قيمة العلاقة	-٠,٢٨٤	-٠,١٩٨	-٠,٢٨٨	
درجة المعنوية	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	
مستوى الدلالة	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	
٢٢٥٤٤				عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين
رطوبة التربة كج/م ^٢	المتوسط	٠,٩٧		
	الانحراف المعياري	٠,٣١		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على بيانات نموذج (GLDAS)، ناسا، بيانات مناخ الأرض، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

من جانب آخر تم الحصول على خريطة حرارة التربة شكل (٢) من بيانات نموذج (FLDAS)، وعليه فقد تراوحت حرارة التربة في المحمية خلال موسم نشاط العواصف الغبارية بين ٢٢,٢٤ - ٢٦,٥٢

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

درجة م، ويبدو أن هناك تأثير ضعيف لحرارة التربة ويلاحظ تركيز جزء كبير من مواقع انبعاث الغبار حيث ترتفع درجات حرارة التربة جنوب شرق المحمية.

وتوضح نتائج تحليل علاقة انتشار الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية، بحرارة سطح التربة أن قيمة معامل ارتباط بيرسون بين المتغيرين جدول (٦) نحو ٠,٣٠١، وعليه تؤدي زيادة حرارة التربة لزيادة انتشار الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ٣٠,١% والعكس، وبالرغم من ضعف علاقة المتغيرين، لكنها تتسم بوجود دلالة احصائية عند مستوى ٠,٠١، وبالتالي فإن علاقة انتشار الغبار بحرارة سطح التربة في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بمسئولية ثقة ٩٩%.

جدول (٦) علاقة انتشار الغبار بحرارة التربة السطحية في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (حرارة التربة)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Spearman	المتغير التابع (مؤشر الغبار)
قيمة العلاقة	٠,٣٠١	٠,٢١٥	٠,٢٩٩	
درجة المعنوية	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	
مستوى الدلالة	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين				٢٢٥٤٤
حرارة التربة م	المتوسط	٢٤,٤٣		
	الانحراف المعياري	١,٠٤		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على بيانات نموذج (FLDAS)، ناسا، بيانات مناخ الأرض، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

واستخلصت الدراسة خريطة التبخر المباشر من سطح الترب العارية كج/م^٢/ث شكل رقم (٢) من بيانات نموذج (GLDAS)، وعليه فقد تراوحت قيم التبخر المباشر بين ٤,٨ - ٨,٢٣ كج/م^٢/ث، ويبدو من خلال ربط خريطة التبخر بخرائط انتشار الغبار بمحمية الإمام تركي بن عبد الله في مختلف العواصف

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

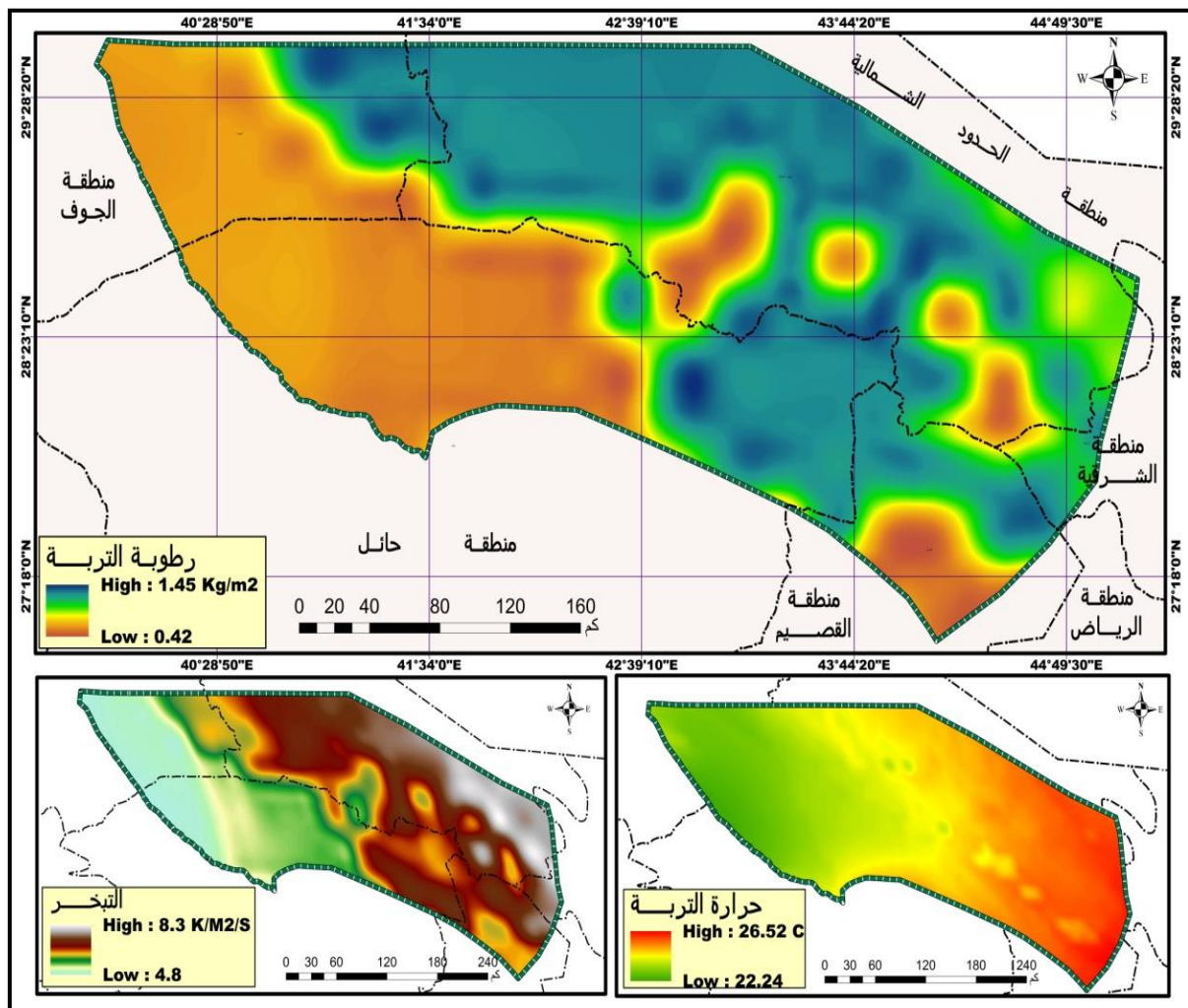
المدرسة أن هناك تأثير ضعيف للتبخر في انتشار الغبار، وللتحقق من مدى تأثير التبخر المباشر على انتشار الغبار في المحمية تظهر نتائج تحليل علاقة المتغيرين جدول (٧) أن قيمة معامل ارتباط بيرسون بين المتغيرين قد بلغت ٠,٣٠٧، وهي علاقة طردية ضعيفة، تعني أن زيادة معدلات التبخر المباشر تعزز من انتشار الغبار في المحمية بنسبة ٣٠,٧% والعكس، ورغم ضعف علاقة المتغيرين إلا أنها تتصف بدلالة احصائية عند مستوى ٠,٠١

جدول (٧) علاقة انتشار الغبار بالتبخر المباشر من سطح التربة في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (التبخر المباشر)	المتغير التابع (مؤشر الغبار)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط SPerman
		قيمة العلاقة	درجة المعنوية	مستوى الدلالة
		٠,٣٠٧	٠,٢١٥	٠,٣١٢
		٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠
		٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين		٢٢٥٤٤		
التبخر المباشر من سطح التربة كج/م ^٢ /ث	المتوسط	٦,٤		
	الانحراف المعياري	٠,٩٤		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على بيانات نموذج (GLDAS)، ناسا، بيانات مناخ الأرض، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (٢) رطوبة وحرارة التربة والتبخّر المباشر في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وبعد حصول الدراسة على بيانات سرعة واتجاه الرياح في المحمية على ارتفاع اقل من ١٠ م كما يظهر في الشكل (٣) من موقع أطلس الرياح (<https://globalwindatlas.info/en>). بدقة ٢٧٠م، والغرض من ذلك تحديد مدى تأثيرها في انبعاث الغبار خلال الفترة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٤م، أثناء التحقق من انتشاره باستخدام مؤشر (NDDI). وتعتبر الرياح السطحية العامل الرئيسي الذي يؤثر على حركة الرمال وانتشار الغبار، وعليه فقد تراوحت سرعة الرياح في المحمية شكل (٣) بين ٢,٢٧ - ٥,٥٥ م/ث، ومن خلال ربط مواقع تركّز انبعاث الغبار في المحمية مع سرعة الرياح يتضح تباين واضح لسرعة الرياح في مؤشر الغبار.

وبذلك توصلت نتائج التحقق من تأثير سرعة الرياح على انتشار الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية جدول (٨) أن قيمة معامل ارتباط بيرسون بينهما قد بلغت نحو ٠,٢٢٩، وهي علاقة طردية

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

ضعيفة، تفسر أن زيادة سرعة الرياح تتسبب في زيادة انتشار الغبار في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ٢٢,٩% والعكس، وتتصف هذه العلاقة رغم ضعفها بدالة احصائية عند مستوى ٠,٠١.

جدول (٨) علاقة انتشار الغبار بسرعة الرياح في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

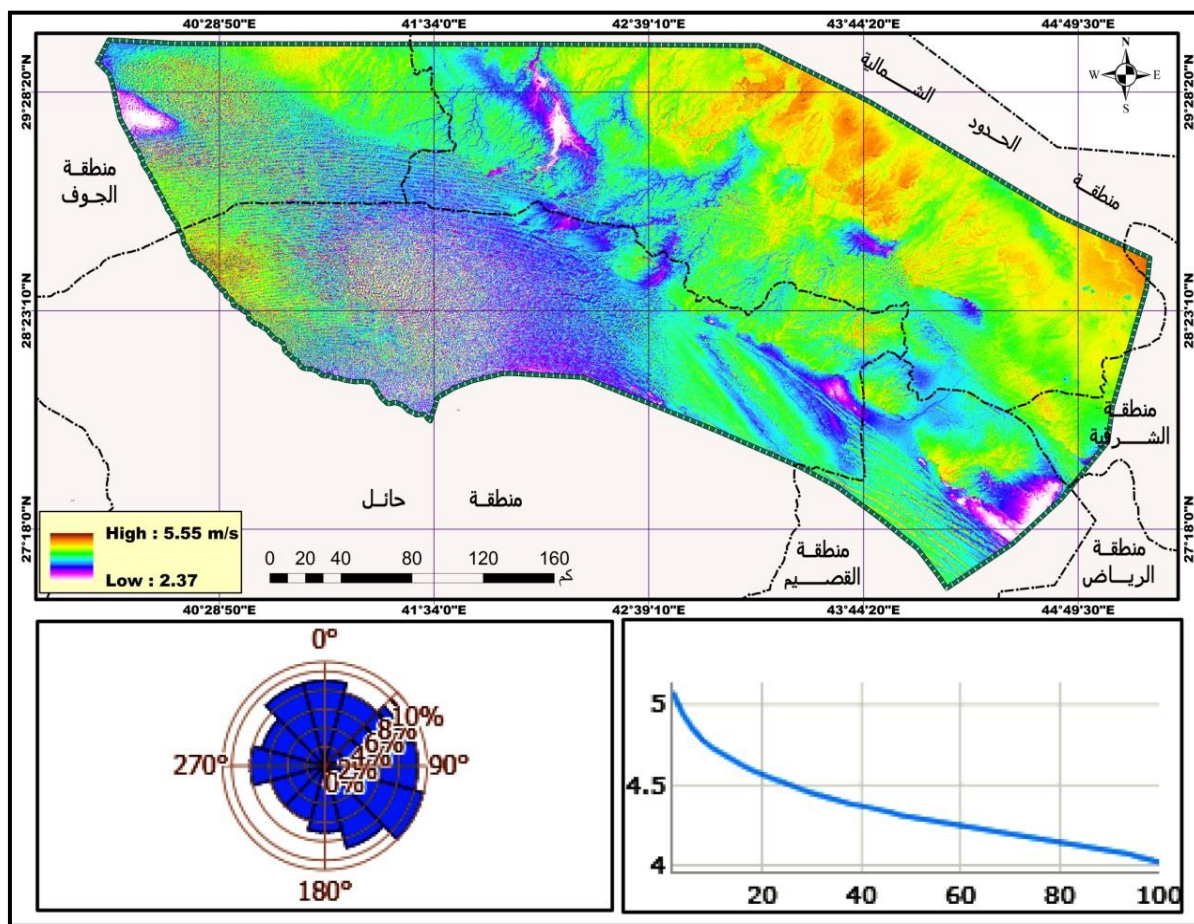
المتغير المستقل (سرعة الرياح)	المتغير التابع (مؤشر الغبار)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman
		معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman
قيمة العلاقة		٠,٢٢٩	٠,١٧٣	٠,٢٥٨
درجة المعنوية		٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠
مستوى الدلالة		٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين		٢٢٥٤٤		
سرعة الرياح م/ث	المتوسط	٤,٠٩		
	الانحراف المعياري	٠,٢٥		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على بيانات سرعة الرياح، أطلس رياح العالم، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

ويبين الشكل (3) كذلك أن اتجاه غالبية الرياح في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية جنوبية

غربية إلى غربية وشمالية. لذلك تتركز بؤر انبعاث الغبار في تلك المواقع.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (٣) متوسط سرعة الرياح واتجاهاتها في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على موقع أطلس الرياح (<https://globalwindatlas.info/en>).

وتظهر نتائج التحليل المكاني لتوزيع الأمطار خلال شهري مارس وابريل بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٤م شكل رقم (٤) تراوح متوسط كمية الأمطار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بين ٦١,٦٣ - ١١٣,٢٩ ملم، ويلاحظ بعد الربط بين خرائط مناطق انبعاث الغبار في المحمية وخريطة توزيع الأمطار في المحمية عكسية وضعف علاقة المتغيرين.

تظهر نتائج التحقق من شكل وقوة ودلالة علاقة انتشار الغبار بتوزيع الأمطار في محمية الإمام تركي أن قيمة معامل ارتباط بيرسون بينهما جدول (٩) نحو $-0,323$ ، وهي علاقة عكسية ضعيفة، تشير إلى أن زيادة الأمطار في المحمية تؤدي إلى تراجع انتشار الغبار في الغلاف الجوي بنسبة ٣٢,٣% والعكس، وعلى الرغم من ضعف علاقة المتغيرين إلا أن هذه العلاقة ذات أهمية بسبب دلالتها احصائية عند مستوى ٠,٠١، وبالتالي يمكن القول إن علاقة المتغيرين جوهرية بمستوى ثقة ٩٩%.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

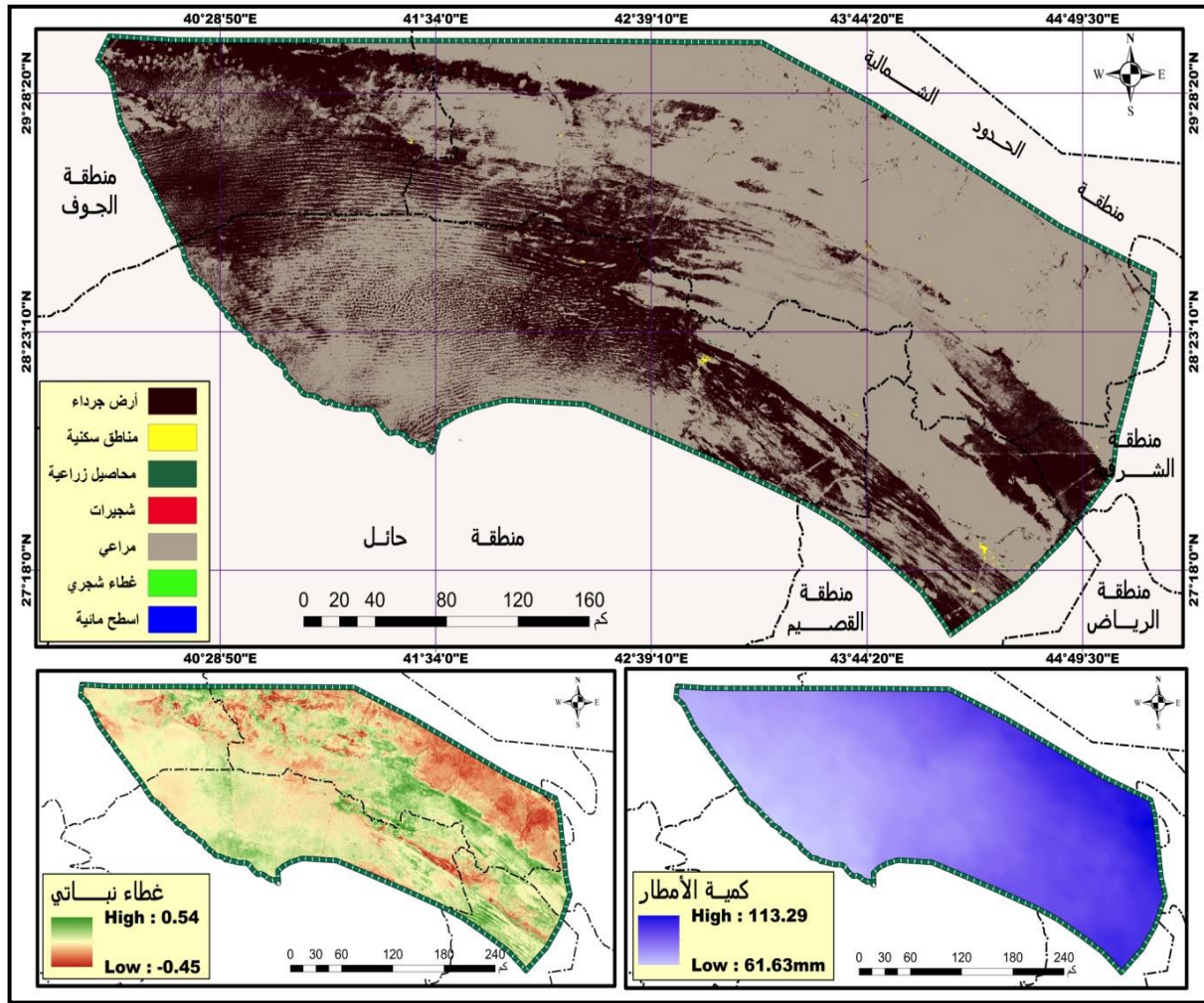
جدول (٩) علاقة انتشار الغبار بكمية الأمطار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (كمية الأمطار)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman	المتغير التابع (مؤشر الغبار)
قيمة العلاقة	٠,٣٢٣ ⁻	٠,٢١١ ⁻	٠,٣٠٠ ⁻	
درجة المعنوية	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	
مستوى الدلالة	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين				٢٢٥٤٤
كمية الأمطار ملم	المتوسط	٨٣,٧٥		
	الانحراف المعياري	١٣,٣٢		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على نموذج (GPM)، ناسا، بيانات مناخ الأرض، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

(٥) **الغطاء النباتي:** اشتق البحث الغطاء النباتي في محمية الإمام تركي بن عبد الله بالاعتماد على مرئيات لاندسات (٩)، واستخدام مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI). (<https://earthexplorer.usgs.gov>). وتظهر نتائج ذلك شكل رقم (٤)، تراوح قيمة المؤشر بين ⁻٠,٤٦٢ إلى ٠,٥٤ في المناطق الخالية من الغطاء النباتي، إلى ٠,٥٤ في المناطق التي تتصف بوجود الغطاء النباتي.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (٤) استعمالات الارض وكمية الأمطار والغطاء النباتي في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على مرئيات Landsat 9، Sentinel 2، (٢٠٢٤م)، ونموذج (GPM)، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وعند تحليل شكل وقوة ودلالة علاقة انتشار الغبار بتوزيع الغطاء النباتي في المحمية بلغت قيمة معامل ارتباط بيرسون بينهما كما يوضح جدول (١٠) نحو -0.25 ، وهي علاقة عكسية ضعيفة جداً، تعني أن زيادة الغطاء النباتي يؤدي إلى تراجع انتشار الغبار في المحمية بنسبة ٢,٥% والعكس، وعلى الرغم من ضعف علاقة المتغيرين؛ إلا أن لها أهمية بسبب دلالتها الإحصائية عند مستوى ٠,٠١، وبالتالي فإن علاقة المتغيرين جوهريّة، وليست بفعل الصدقة بمستوى ثقة ٩٩%.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

جدول (١٠) علاقة انتشار الغبار بالغطاء النباتي في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المتغير المستقل (الغطاء النباتي)	المتغير التابع (مؤشر الغبار)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman
قيمة العلاقة		0.025^-	0.002^-	0.001^-
درجة المعنوية		0.000	0.000	0.000
مستوى الدلالة		0.01	0.01	0.01
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين		٢٢٥٤٤		
مؤشر الغطاء النباتي	المتوسط	0.01		
	الانحراف المعياري	0.04		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	0.12		
	الانحراف المعياري	0.09		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على مرئيات Landsat 9، ٢٠٢٤م، المساحة الجيولوجية الأمريكية، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

٦) **أغطية واستعمالات الأرض:** أظهرت نتائج تصنيف أغطية واستعمالات الأرض في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية التي اعتمد البحث فيها على مرئيات القمر الأوربي Sentinel-2 بدقة مكانية ١٠ م (<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>)، وجود سبعة من أغطية واستعمالات الأرض ترتب حسب المساحة تنازلياً المراعي ٦٧,٣٥%، والأراضي الجرداء ٣٢,٥٧%، والمباني ٠,٠٦٣%، ومناطق زراعة المحاصيل ٠,٠١٣%، والأشجار ٠,٠٠٠١٢%، والشجيرات ٠,٠٠٠٠١٤%، وأخيراً مياه السدود والخزانات ٠,٠٠٠٠٠١% من إجمالي مساحة المحمية.

وعند التحقق من علاقة انتشار الغبار بملاءمة أغطية واستعمالات الأرض لإثارة الغبار كانت الملاءمة صفرية بمناطق وجود المسطحات المائية، وترتفع إلى ١٥% حيث تنتشر الشجيرات، إلى ٣٠% حيث زراعة المحاصيل، إلى ٤٥% بمناطق الأشجار، إلى ٧٠% بمناطق انتشار المراعي، إلى ٨٥% في مناطق ممارسة الأنشطة العمرانية، إلى ١٠٠% في مناطق الترب الجافة الخالية من الغطاء النباتي. ووجدت الدراسة أن هناك علاقة طردية ضعيفة، إذ بلغت قيمة معامل ارتباط بيرسون جدول (١١) نحو ٠,٢٣١،

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

وتعني أنه كلما زادت حساسية أغطية الأرض واستعمالاتها للغبار زادت كثافته في الغلاف الجوي للمحمية بنسبة ٢٣,١% والعكس، وتعتبر علاقة المتغيرين مهمة بسبب دلالتها الإحصائية عند مستوى ٠,٠١

جدول (١١) علاقة انتشار الغبار بنوعية الغطاء الأرضي في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

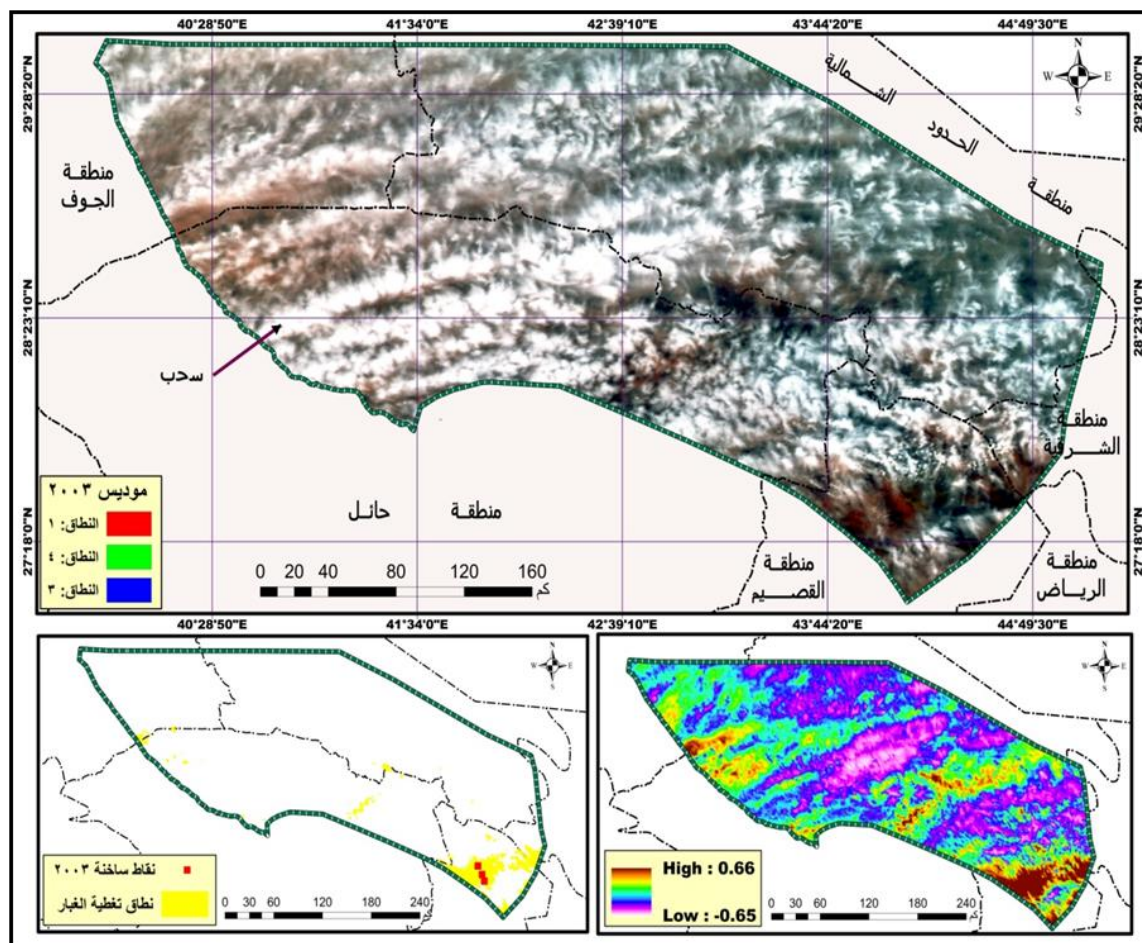
المتغير المستقل (الغطاء الأرض)	المتغير التابع (مؤشر الغبار)	معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman
		معامل ارتباط Pierson	معامل ارتباط Kendall	معامل ارتباط Sperman
قيمة العلاقة		٠,٣٢٣ ⁻	٠,٢١١ ⁻	٠,٣٠٠ ⁻
درجة المعنوية		٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠
مستوى الدلالة		٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
عدد نقاط التحقق من علاقة المتغيرين		٢٢٥٤٤		
نسبة ملاءمة أغطية واستعمالات الأرض للغبار	المتوسط	٨٩,٨		
	الانحراف المعياري	٧,٠٣		
مؤشر غبار العواصف	المتوسط	٠,١٢		
	الانحراف المعياري	٠,٠٩		

المصدر: الباحثان بالاعتماد على أغطية واستعمالات الأرض للقمر سينتينال (Sentinel-2)، ازري، ومتوسط مؤشر الغبار المستخلص من مرئيات (MODIS).

ثانيًا: مواقع انبعاث الغبار

مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠٠٣م: تتكون الصورة الرقمية الملونة المعروضة على الخرائط الآتية من ثلاث قنوات ألوان مختلفة: الأحمر للنطاق الأول والأخضر للنطاق الرابع والأزرق للنطاق الثالث من مرئيات MODIS، ويبين الشكل (٥) سواء من خلال التركيب اللوني للمرئية أو من خلال نتائج مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار وقوع مركز هذه العاصفة جنوب شرق المحمية وتنتشر النقاط الساخنة حيث تتجاوز عتبة المؤشر ٠,٦ بنفس موقع مركزها، وعليه فقد تراوحت قيمة المؤشر بين ٠,٦٥⁻ حيث لا يوجد غبار، إلى ٠,٦٦ أينما يتركز الغبار بالغلاف الجوي، وينتشر الغبار بكثافة معتدلة جنوب شرق المحمية.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (٥) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية ٢٠٠٣م

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية (MODIS)، بتاريخ (١١ - ٣ - ٢٠٠٣).

وتظهر نتائج تطبيق العتبة على طبقة مؤشر الغبار تغطية نطاق هذه العاصفة لمناطق صغيرة جنوب شرق وجنوب وغرب المحمية، بمساحة لا تتجاوز كما يوضح جدول (١٢) ٢,٧٥ كم^٢، بنسبة ٠,٦٦ % من إجمالي مساحة المحمية.

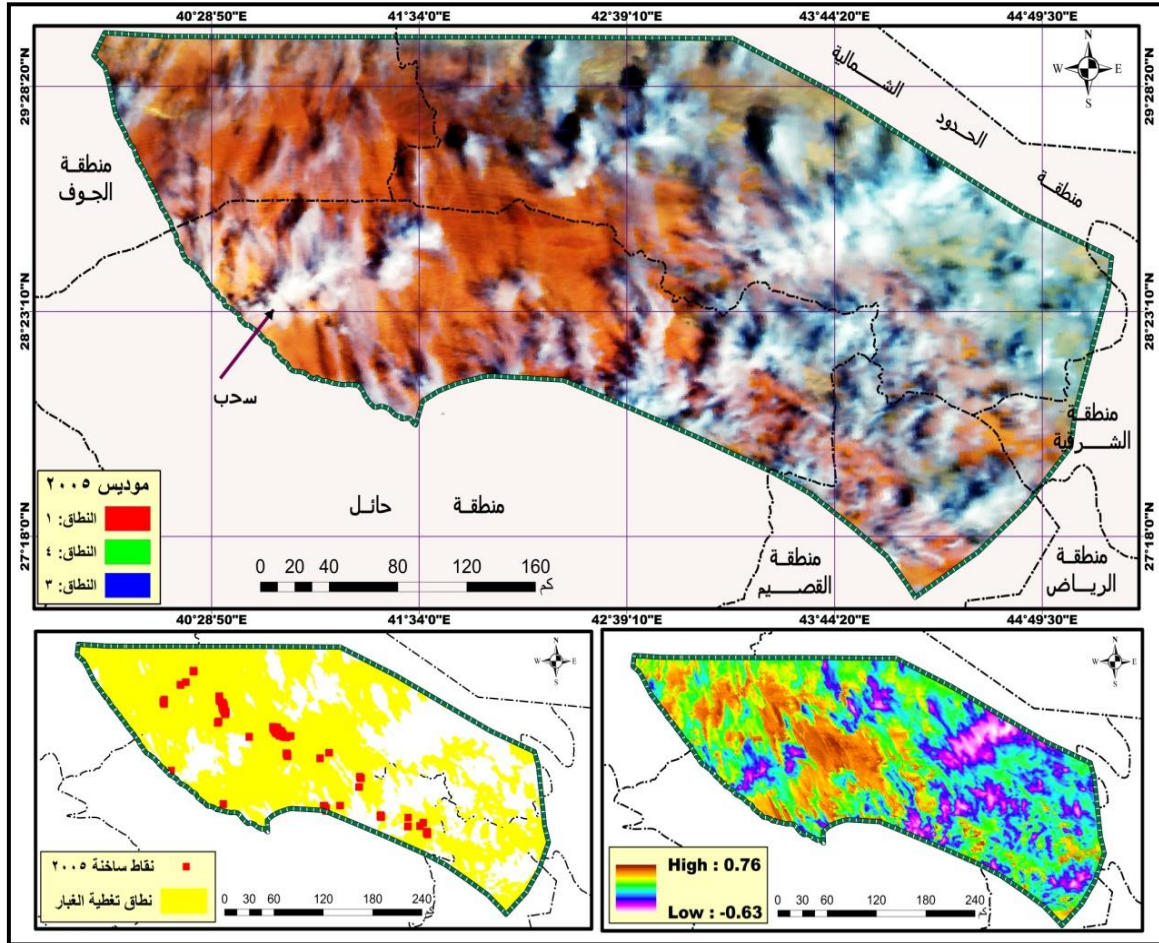
الجدول (١٢) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠٠٣م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
جنوب شرق المحمية	جنوب شرق ووسط وغرب	٢٥٢٩,٢١	٢,٧٥	٠,٦٦	٠,٦٥	٠,٣٧

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (١١ - ٣ - ٢٠٠٣).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

- **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠٠٥م:** يوضح الشكل (٦) في الأعلى التركيب اللوني لمرئية MODIS (٢٠٠٥)، وعلى الجانب الايمن في الاسفل نتائج مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار الذي تراوح بين $0,63^-$ ، حيث يختفي تأثير عاصفة غبار ٢٠٠٥ شمال شرق المحمية، إلى $0,76^+$ حيث يتركز الغبار بكثافة وسط غرب المحمية، وتظهر النقاط الساخنة لانبعاث الغبار منتشرة من جنوب حتى شمال غرب المحمية، اينما تتجاوز عتبة المؤشر $0,6$.



الشكل (٦) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية ٢٠٠٥م

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS، بتاريخ (٢٢ - ٣ - ٢٠٠٥).

وتبين نتائج تطبيق العتبة على طبقة مؤشر الغبار تغطية الغبار الناتج عن هذه العاصفة لمساحة كبيرة شمال وغرب ووسط غرب وجنوب غرب المحمية، بمساحة تصل كما يبين جدول (١٣) إلى $61421,3$ كم^٢، بنسبة ٦٧% من إجمالي مساحة المحمية.

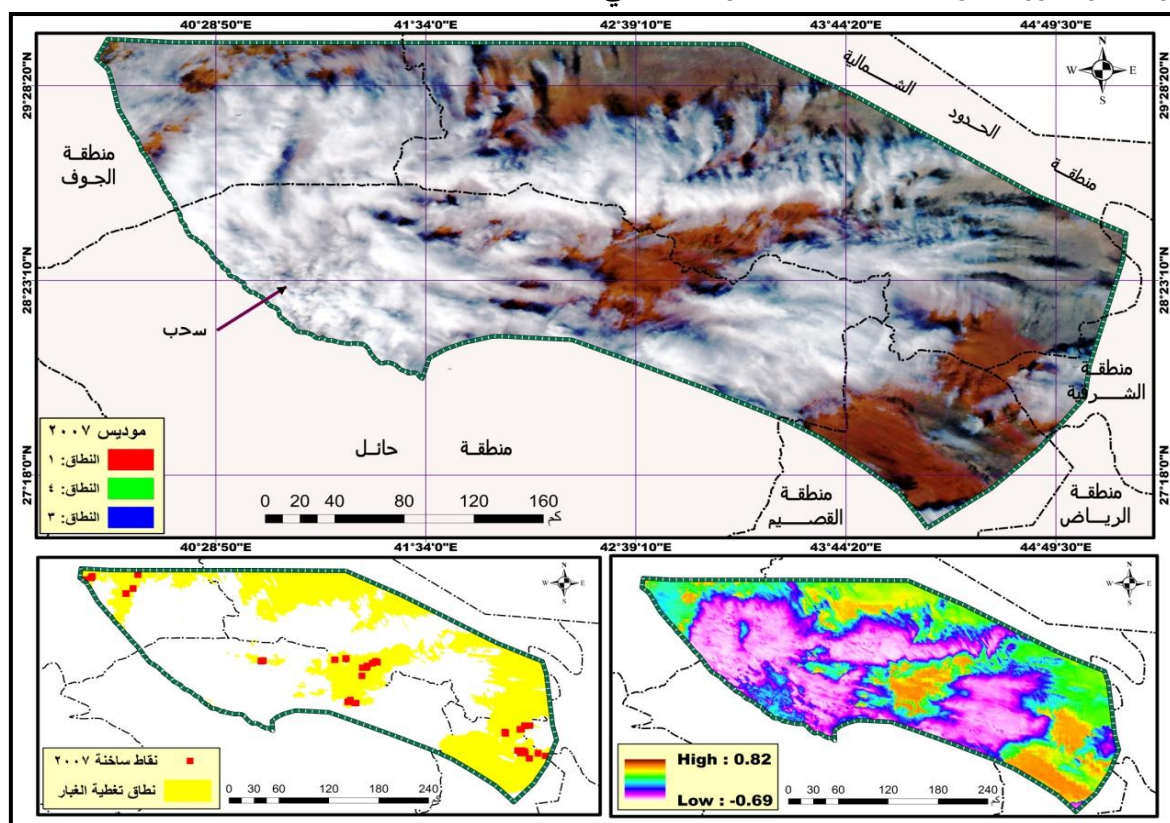
توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

الجدول (١٣) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠٠٥م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
وسط المحمية	شمال وغرب ووسط وجنوب غرب المحمية	٦١٤٢١,٣	٦٧	٠,٧٦	٠,٦٣ ⁻	٠,١٤

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (١١ - ٣ - ٢٠٠٥).

- مواقع انبعاث الغبار لعام ٢٠٠٧م: تبين من تركيب صورة ملونة للغبار من مرئية (MODIS) عام (٢٠٠٧) في الشكل (٧) في الأعلى، المناطق التي يتركز فيها الغبار حيث يسود اللون البني الداكن، ومما يؤكد ذلك ما توصلت إليه نتائج تطبيق مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار الذي تراوح كما يبين جدول (١٤) بين ٠,٦٩⁻ حيث يتلاشى الغبار جنوب وغرب المحمية، إلى ٠,٨٢ بمناطق تركيز الغبار بكثافة عالية جنوب غرب ووسط وشمال المحمية، بمتوسط مكاني ٠,١٦⁻.



الشكل (٧) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية ٢٠٠٧م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية (MODIS)، بتاريخ (١٣ - ٣ - ٢٠٠٧).

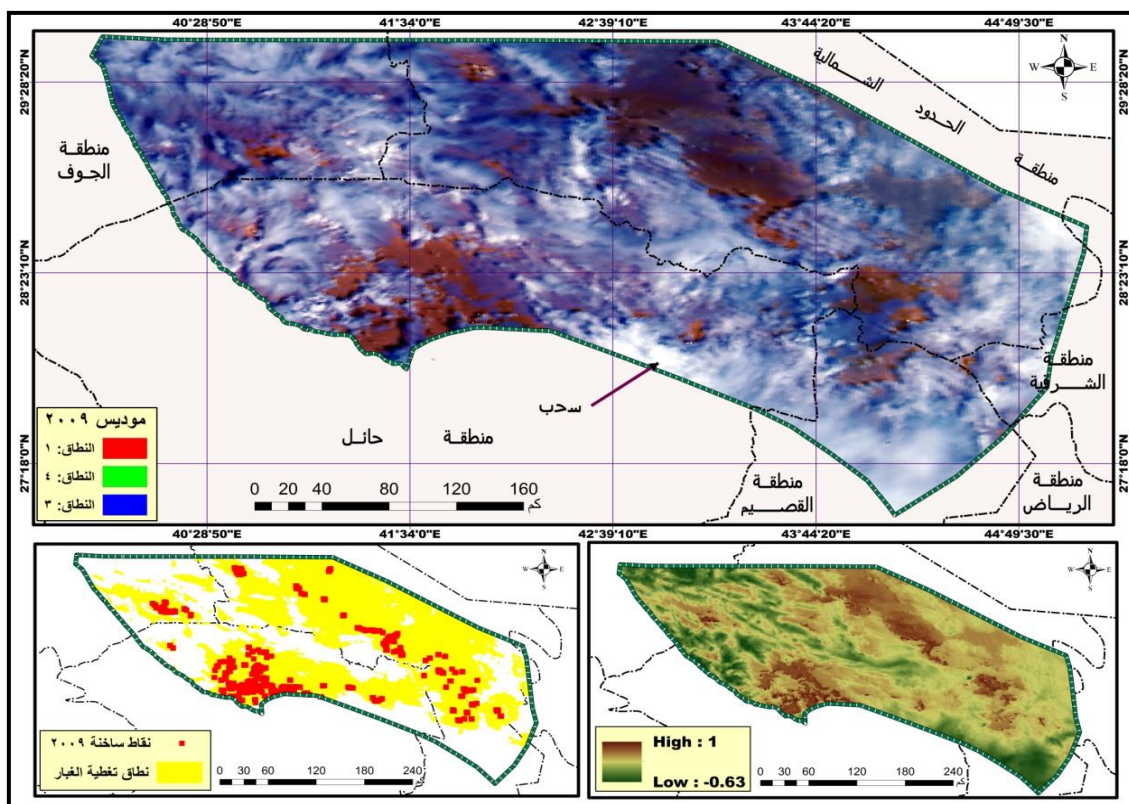
وتعكس القيمة المتوسطة السالبة لمؤشر الغبار أن غالبية مساحة المحمية لم تتأثر بغبار عاصفة ٢٠٠٧م، ومما يؤكد ذلك في الجدول (١٤) تظهر نتائج تطبيق عتبة مؤشر تغطية الغبار أن مساحة التغطية الناتجة عن هذه العاصفة لنحو ٣٣٤٦٧ كم^٢، بنسبة ٣٦,٥% من إجمالي مساحة المحمية.

الجدول (١٤) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠٠٧م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
جنوب شرق المحمية	جنوب غرب ووسط وشمال المحمية	٣٣٤٦٧	٣٦,٥	٠,٨٢	٠,٦٩	٠,١٦

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (١٣-٣-٢٠٠٧).

- **مواقع انبعاث الغبار ٢٠٠٩م:** تظهر نتائج اكتشاف مناطق انتشار الغبار من خلال تركيب نطاقات مرئية (MODIS)، وتطبيق مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار على النطاقين السابع والثالث من مرئية عام (٢٠٠٨)، تطابق مناطق تركيز وانبعاث الغبار في الشكل (٨) اللون البني الداكن بالشكل في الأعلى، بمناطق تجاوز عتبة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار ٠,٦ في الشكل الأسفل على الجانب الأيمن، حيث تراوحت قيمة المؤشر بين ٠,٦٣⁻ في المناطق التي لا يتواجد فيها غبار شمال غرب وجنوب شرق المحمية، إلى واحد اينما يتركز الغبار بكثافة عالية جدًا جنوب ووسط وشمال المحمية، ويبلغ المتوسط المكاني لمؤشر الغبار نحو ٠,٠١٢.



الشكل (٨) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠٠٩م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية (MODIS)، بتاريخ (٢-٤-٢٠٠٩).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

وتعكس هذه القيمة الموجبة للمتوسط المكاني للمؤشر تغطية الغبار مساحة كبيرة من محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية، ومما يدعم ذلك تبين نتائج تطبيق العتبة على طبقة مؤشر الغبار تغطية غبار عاصفة عام ٢٠٠٩م جدول رقم (١٥) لمساحة بلغت نحو ٥٢٥٩٠,٢ كم^٢، بنسبة ٥٧,٣٦% من إجمالي مساحة المحمية.

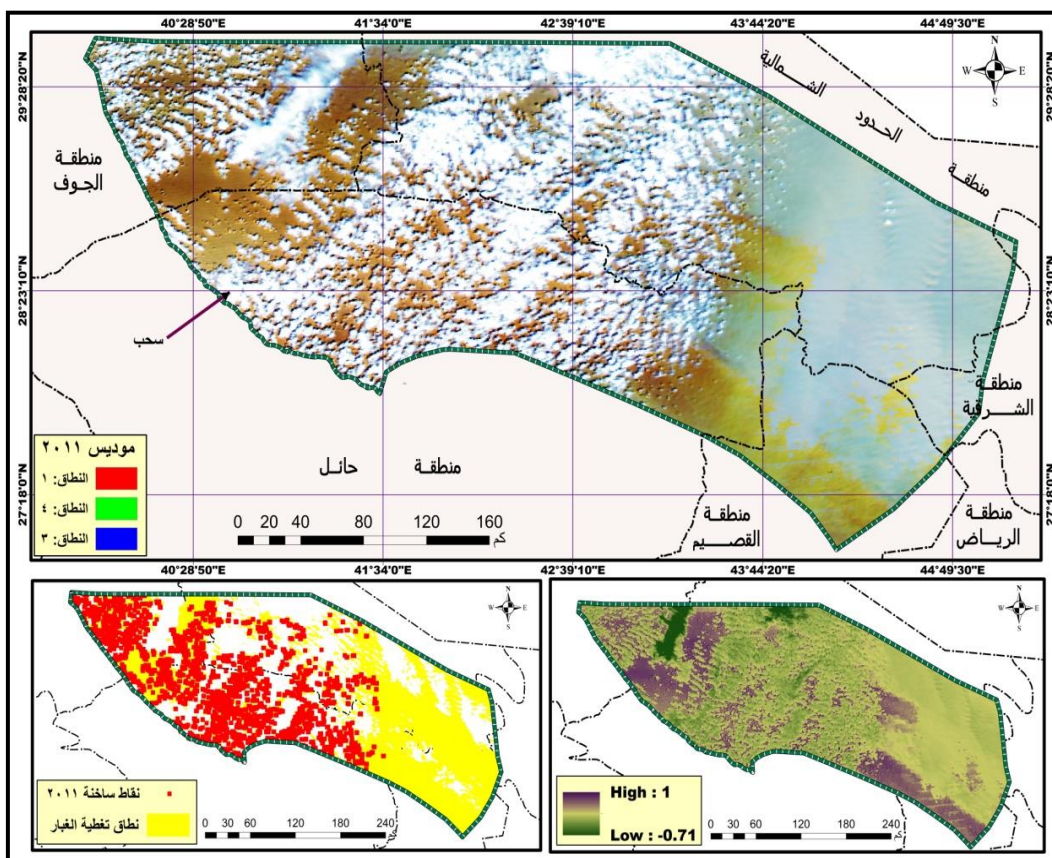
الجدول (١٥) خصائص الغبار المنبعث لعام ٢٠٠٩م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
جنوب المحمية	جنوب ووسط وشمال المحمية	٥٢٥٩٠,٢	٥٧,٣٦	١	٠,٦٣ ⁻	٠,٠١٢

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (٢-٤-٢٠٠٩).

• **مواقع انبعاث الغبار ٢٠١١م:** توصلت نتائج التحليل المكاني للعاصفة الغبارية التي حدثت في نهاية مارس ٢٠١١م سواء من خلال التركيب اللوني لنطاقات مرئية MODIS (١، ٤، ٣)، أو من خلال تطبيق مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار على النطاقين السابع والثالث في الشكل (٩)، وقوع مركز العاصفة وسط غرب المحمية، وانتشار الغبار بكثافة جنوب ووسط شمال المحمية حيث تتجاوز عتبة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار ٠,٦، وتراوح قيمة مؤشر الغبار شكل (٨) على الجانب الأيمن أسفل الشكل بين ٠,٧١⁻ في الأطراف الشمالية من المحمية الخالية من الغبار إلى ١ أينما يتركز الغبار بكثافة عالية جدًا جنوب ووسط شمال المحمية.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية



الشكل (٩) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠١١م

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS، بتاريخ (٢٥ - ٣ - ٢٠١١).

وبلغ المتوسط المكاني لمؤشر الغبار جدول (١٦) نحو ٠,٠٦، مما يعني انتشار الغبار بأكثر من نصف مساحة المحمية، ومما يؤكد ذلك تطبيق العتبة على طبقة مؤشر الغبار، والتي تظهر امتداد الغبار على مساحة بلغت نحو ٥٠٨٠٤,٧ كم^٢، بنسبة ٥٥,٤٢% من إجمالي مساحة المحمية.

الجدول (١٦) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠١١م

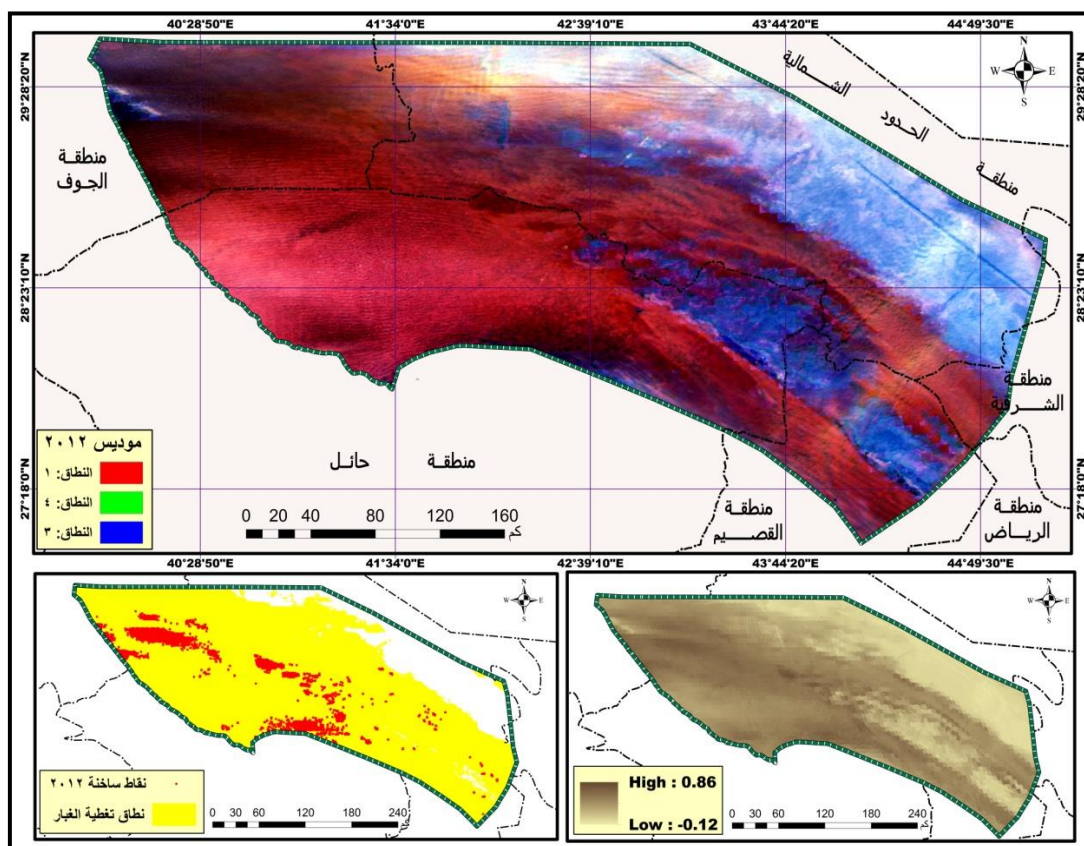
مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
وسط غرب المحمية	جنوب وغرب ووسط شمال المحمية	٥٠٨٠٤,٧	٥٥,٤٢	١	٠,٧١-	٠,٠٦

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (٢٥ - ٣ - ٢٠١١).

• **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠١٢م:** أظهرت نتائج تحديد مواقع نشوء الغبار الذي تعرضت له المحمية في عاصفة مارس عام ٢٠١٢م، بطريقتي التركيب اللوني، ومؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار في الشكل (١٠)، تطابق النتائج في مسألة وقوع مركز العاصفة وسط المحمية، وينتشر الغبار بكثافة بمناطق تجاوز عتبة مؤشر الغبار ٠,٦ جنوب ووسط وشمال غرب المحمية، وعليه فقد تراوح قيمة مؤشر الغبار كما يوضح

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

شكل (١٠) على الجانب الأيمن في الأسفل بين ٠,١٣⁻، أينما يختفي الغبار جنوب ووسط وشمال غرب محمية الإمام تركي، إلى ٠,٨٦، حيث ينتشر الغبار بكثافة عالية جنوب ووسط وشمال غرب المحمية.



الشكل (١٠) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠١٢م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS، بتاريخ (١٣ - ٣ - ٢٠١٢).

وبلغ متوسط مؤشر الغبار الناتج عن هذه العاصفة جدول (١٧) نحو ٠,٢٩، مما يشير إلى تغطية الغبار لغالبية مساحة المحمية، ومما يعزز ذلك نتائج عتبة مؤشر الغبار التي توصلت إلى أن مساحة تغطيته قد بلغت ٧٧٤٧٥,٤ كم^٢، بنسبة ٨٤,٥% من إجمالي مساحة محمية الإمام تركي.

الجدول رقم (١٧) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠١٢م

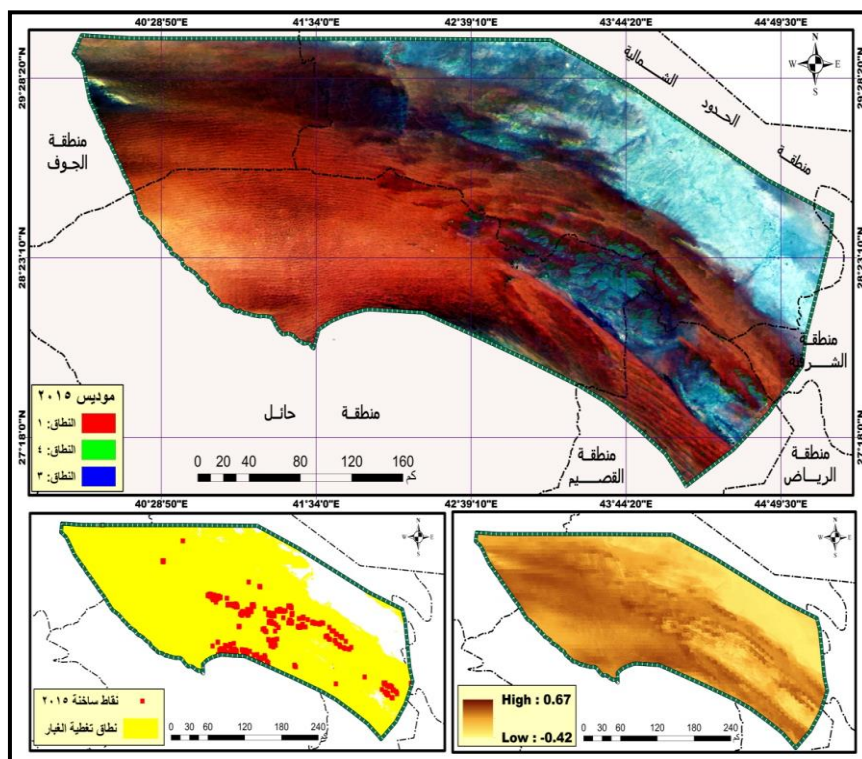
متوسط مؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	النسبة %	مساحة تغطية الغبار	مواقع انبعاث الغبار	مركز العاصفة
٠,٢٩	٠,١٣ ⁻	٠,٨٦	٨٤,٥	٧٧٤٧٥,٤	جنوب ووسط وشمال غرب المحمية	وسط المحمية

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (١٣ - ٣ - ٢٠١٢).

• **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠١٥م:** توصلت نتائج استخلاص الغبار الناتج من عاصفة ابريل ٢٠١٥م بطريقتي التركيب اللوني في الشكل (١١) في الأعلى، والأسفل على الجانب الأيمن تركّز مواقع نشوء الغبار

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

وسط محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية، ويظهر انتشار الغبار بكثافة عالية جنوب ووسط المحمية حيث تجاوزت عتبة مؤشر الغبار ٠,٦، وتراوحت مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار من هذه العاصفة بين ٠,٤١⁻ شمال شرق المحمية، إلى ٠,٦٧ حيث تركز الغبار وسط وجنوب المحمية.



الشكل (١١) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠١٥ م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية (MODIS)، بتاريخ (٢-٤-٢٠١٥).

وتوضح نتائج الجدول (١٨) بلوغ قيمة المتوسط المكاني لمؤشر الغبار على مستوى المحمية نحو ٠,٢٥، وبالتالي تعكس قيمة المتوسط الموجبة أن غالبية المحمية تعرضت لانتشار الغبار المرافق لهذه العاصفة، إذ بلغت مساحة منطقة تغطية الغبار نحو ٨٠٦٣٦,٤ كم^٢، بنسبة ٨٧,٩٥% من المساحة الإجمالية للمحمية.

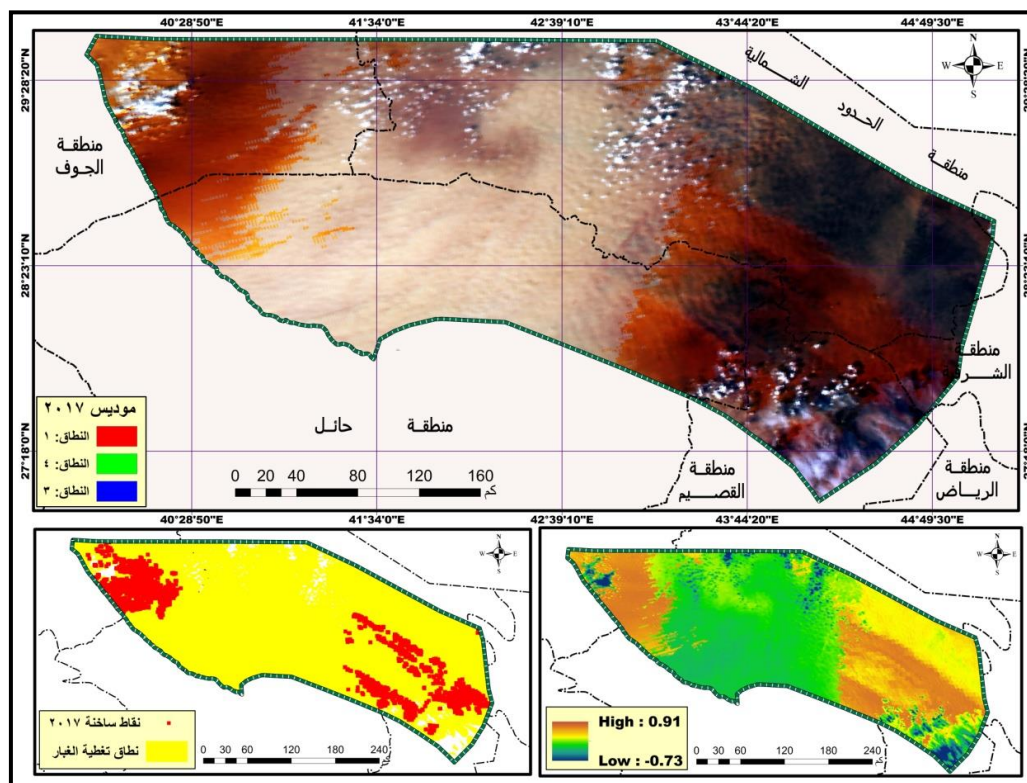
الجدول (١٨) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠١٥ م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
وسط المحمية	جنوب ووسط المحمية	٨٠٦٣٦,٤	٨٧,٩٥	٠,٦٧	٠,٤١ ⁻	٠,٢٥

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (٢-٤-٢٠١٥).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

- **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠١٧م:** تبين من نتائج التحليل المكاني لمواقع انبعاث الغبار الناتج عن عاصفة مارس عام ٢٠١٧م أدناه، تطابق نتائج طريقة التركيب اللوني لنطاقات مرئية Modis في الشكل (١٢) بالأعلى، من حيث وقوع مركز العاصفة شمال غرب المحمية، مع طريقة مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار في الشكل نفسه على الجانب الأيمن في الأدنى، حيث تراوحت قيم مؤشر اختلاف الغبار جدول (١٩) بين $٠,٧٣^-$ حيث يختفي الغبار وسط شمال وجنوب المحمية، إلى $٠,٩٢$ اينما يتركز الغبار في الغلاف الجوي شمال غرب وجنوب شرق المحمية.



الشكل (١٢) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠١٧م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS، بتاريخ (١٩ - ٣ - ٢٠١٧).

بمتوسط مكاني على مستوى المحمية بلغ نحو $٠,٣٦$ ، وتعكس القيمة المتوسطة الموجبة أن غالبية المحمية تأثرت بالغبار المرافق لهذه العاصفة، حيث بلغت مساحة تغطيته للمحمية جدول رقم (١٩) حوالي $٨٨١٧٨,٥$ كم^٢، بنسبة $٩٦,١٨\%$ من إجمالي مساحتها.

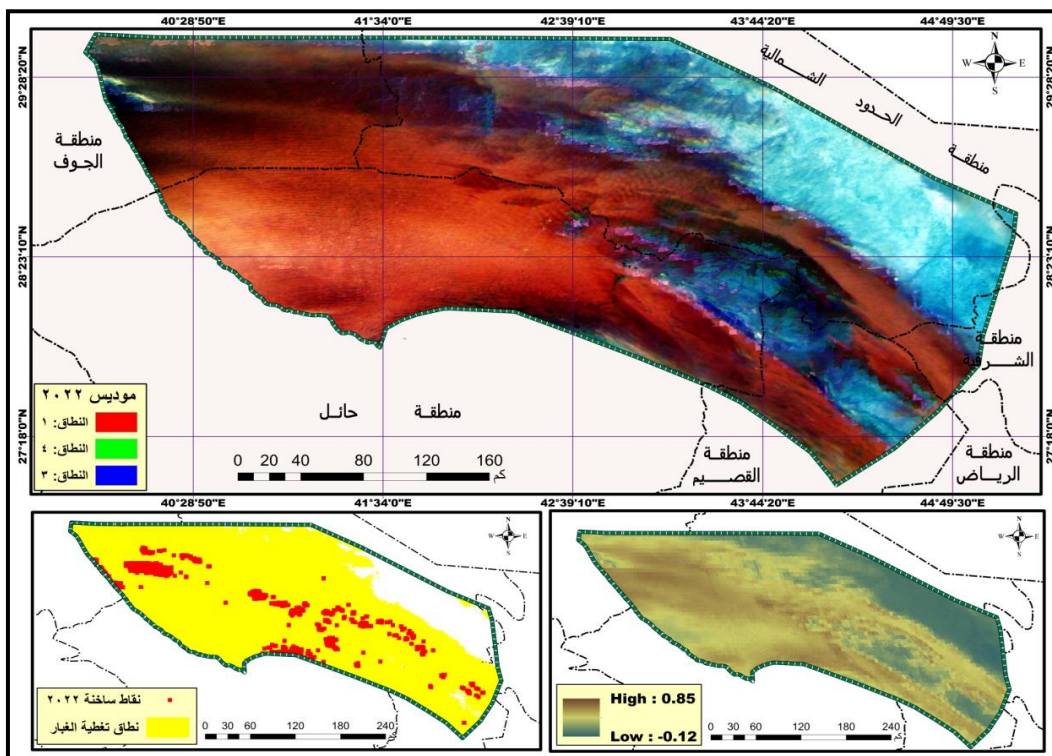
الجدول (١٩) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠١٧م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
شمال غرب المحمية	شمال غرب وجنوب شرق المحمية	$٨٨١٧٨,٥$	$٩٦,١٨$	$٠,٩٢$	$٠,٧٣^-$	$٠,٣٦$

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المصدر: إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (١٩ - ٣ - ٢٠١٧).

- **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠٢٢م:** تطابقت نتائج تطبيق طريقتي التركيب اللوني في الشكل (١٣) بالأعلى، مع نتائج مؤشر الاختلاف الطبيعي للغبار في الشكل نفسه على الجانب الأيمن أدناه، في وقوع مركز غبار عاصفة مايو ٢٠٢٢م شمال غرب المحمية، وانتشر الغبار الناتج عنها من شمال غرب إلى جنوب شرق المحمية، وذلك حيث تجاوزت عتبة مؤشر الغبار ٠,٦، وتراوحت قيم مؤشر الغبار بين ٠,١٢⁻، بمناطق خلو الغلاف الجوي من الغبار شمال شرق المحمية، إلى ٠,٨٥ في المناطق التي شهدت أعلى كثافة للغبار شمال وشمال غرب وجنوب المحمية.



الشكل (١٣) مناطق انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية عام ٢٠٢٢م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS، بتاريخ (٢٥ - ٥ - ٢٠٢٢).

وتبين نتائج تحليل خصائص الغبار من هذه العاصفة جدول (٢٠)، أن المتوسط المكاني لمؤشر الغبار بلغ ٠,٣، وتعكس هذه القيمة المتوسطة الموجبة انتشار واسع للغبار في المحمية، ومما يؤكد ذلك مساحة تغطية الغبار لنحو ٨٠٠٧٥,٤ كم^٢، بنسبة ٨٧,٣٤% من إجمالي مساحة المحمية.

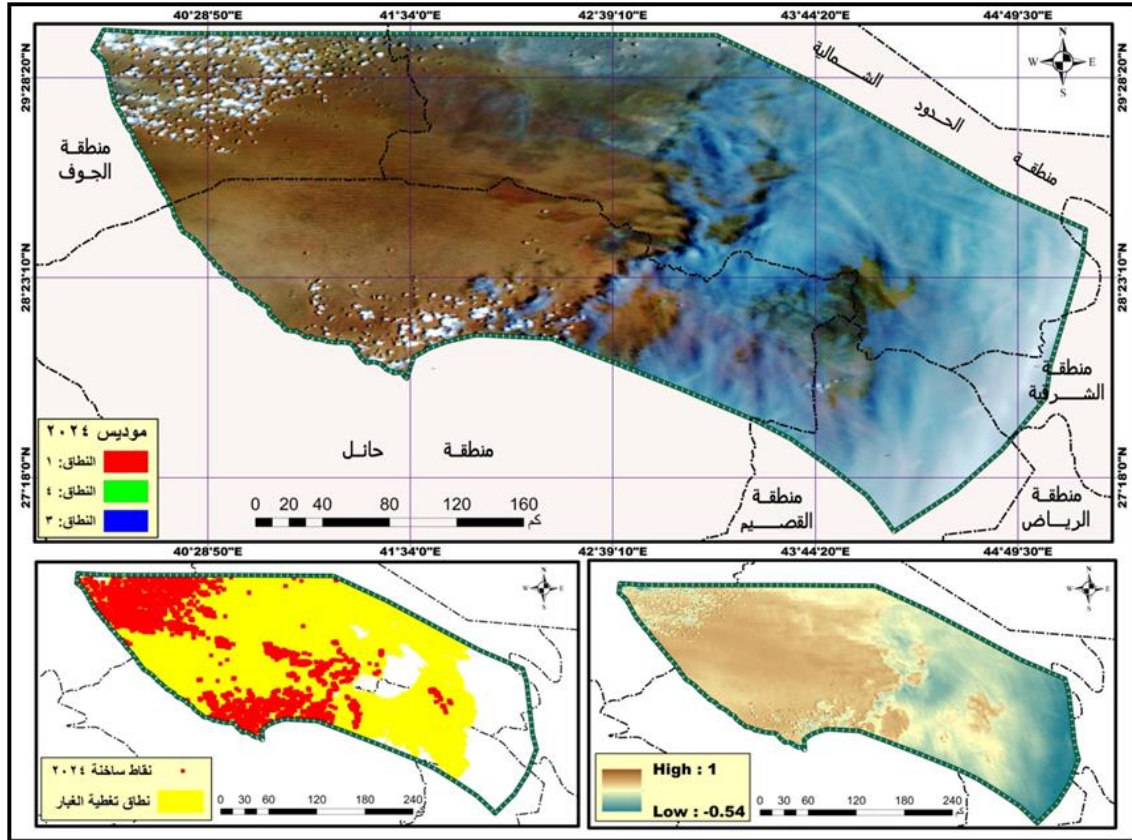
الجدول (٢٠) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠٢٢م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
شمال غرب المحمية	شمال غرب ووسط وجنوب المحمية	٨٠٠٧٥,٤	٨٧,٣٤	٠,٨٥	٠,١٢ ⁻	٠,٣

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية MODIS بتاريخ (٢٥ - ٥ - ٢٠٢٢).

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

- **مواقع انبعاث الغبار عام ٢٠٢٤م:** أكدت نتائج استخلاص مواقع انبعاث الغبار المرافق لعاصفة ابريل ٢٠٢٤م شكل (١٣) في الأعلى التركيب اللوني لنطاقات الغبار، وفي الأسفل يمين الشكل نتائج تطبيق مؤشر الغبار، تموضع مركز هذه العاصفة شمال غرب المحمية، وانتشار غبارها شمال غرب ووسط وجنوب المحمية حيث تجاوزت عتبة مؤشر الغبار ٠,٦. وتراوحت قيمة مؤشر غبار هذه العاصفة بين $0,04^-$ ، حيث يختفي الغبار وسط وشرق المحمية، إلى ١ في مناطق انتشار الغبار بكثافة عالية جدًا شمال غرب المحمية.



الشكل (١٤) التغطية المكانية لمواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله عام ٢٠٢٤م

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية موديس (MODIS)، بتاريخ (٢٩ - ٤ - ٢٠٢٤).

ويظهر جدول (٢١) أن قيمة المتوسط المكاني لمؤشر الغبار قد بلغت على مستوى المحمية نحو ٠,٢٥، مما يعني تغطية الغبار الناتج عن هذه العاصفة لغالبية المحمية، ويؤكد ذلك حساب مساحة تغطية الغبار التي بلغت ٢٩٥٥,٩ كم^٢، بنسبة ٧٩,٦% من إجمالي مساحة محمية الإمام تركي.

جدول رقم (٢١) خصائص الغبار المنبعث عام ٢٠٢٤م

مركز العاصفة	مواقع انبعاث الغبار	مساحة تغطية الغبار	النسبة %	الحد الأعلى لمؤشر (NDDI)	الحد الأدنى لمؤشر (NDDI)	متوسط مؤشر (NDDI)
شمال غرب المحمية	شمال غرب ووسط وجنوب المحمية	٧٢٩٥٥,٩	٧٩,٦	١	٠,٥٤ ⁻	٠,٢٥

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على مرئية موديس بتاريخ (٢٩ - ٤ - ٢٠٢٤)

النتائج:

- تؤثر جميع المتغيرات المكانية كالتربة والصخور والتضاريس وعناصر المناخ والغطاء النباتي واستعمالات الأرض في ظاهرة الغبار ومخاطرها في محمية الإمام تركي، ومما يؤكد ذلك دلالة جميع العلاقات المكانية بين انتشار الغبار وتوزيع هذه المتغيرات.
- تركز ٦٠% من إجمالي العواصف التي تعرضت لها المحمية بين عامي ٢٠٠٣ - ٢٠٢٤م في شهر مارس، ٣٠% منها في شهر ابريل، ١٠% من إجمالي العواصف في شهر مايو، ويتفق ذلك بشكل كلي مع نتائج الدراسات السابقة.
- تفاوت المتوسط المكاني لمؤشر الغبار من عاصفة غبارية إلى أخرى في المحمية، والتي تراوحت بين ٠,٣٧ من عاصفة ٢٠٠٣م إلى ٠,٣٦ من عاصفة ٢٠١٧م.
- اتجاه المتوسط المكاني لمؤشر الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله نحو الزيادة بين عامي ٢٠٠٣ - ٢٠٢٤م، وهذا مؤشر إلى تفاقم مخاطره على الإنسان والتنمية المستدامة في المحمية.
- يعتبر الجزء الشمالي الغربي من المحمية هو المصدر الأكبر للغبار فيها بنسبة ٦٣% يليه وسط المحمية من جهة غرب المحمية يساهم بنسبة ٣١% بينما أقصى الجنوب يساهم بما يقارب ٦% تقريباً من الغبار المنبعث في المحمية.
- تباين مساحة تغطية الغبار المرافق للعواصف الغبارية مكانياً وزمانياً والتي تراوحت بين ٢٥٢٩,٢ كم^٢، بنسبة ٢,٧٥% من مساحة المحمية كحد أدنى لمساحة التغطية عام ٢٠٠٣م، إلى ٨٨١٧٨,٥ كم^٢، بنسبة ٢,٧٥% من إجمالي مساحة المحمية كحد أعلى عام ٢٠١٧م.
- اختلاف الحد الأعلى لمؤشر الغبار من عاصفة إلى أخرى حيث برزت أقل قيمة للمؤشر ٠,٦٦ في عاصفة عام ٢٠٠٣م، إلى ١ في العواصف الغبارية بالأعوام ٢٠٠٩، ٢٠١١، ٢٠٢٤م.

التوصيات:

من خلال النتائج أعلاه يوصي البحث بما يلي:

- وضع خطط تنموية تحافظ على موارد البيئة الطبيعية في المحمية لاسيما التربة والموارد المائية والغطاء النباتي وتعزز من تنميتها وتحول دون تعرضها أي مظهر من مظاهر التدهور البيئي الذي يقود في نهاية المطاف إلى ظاهرة التصحر وما يرافقها من توفر مقومات تعزز من الغبار ومخاطره البيئية والتنموية في المحمية.
- ينبغي على الجهات التخطيطية في محمية الإمام تركي بن عبد الله وضع الخطط التي تتناسب مع اتجاه المخاطر المتزايدة لظاهرة الغبار، التي برزت من خلال زيادة مساحة متوسط تغطية الغبار وارتفاع الحدين الأعلى والأدنى للمؤشر خلال ٢١ عشرين سنة الماضية.
- توصي الدراسة بعمل نماذج ملاءمة مكانية بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير والتحليل الهرمي لتحديد المناطق الأكثر ملاءمة لتولد وتكرار ظاهرة الغبار في المحمية بناء على مختلف متغيرات البيئة المكانية الطبيعية والبشرية التي تسهم في هذه الظاهرة وتعزز من مخاطرها.
- بناء على نماذج الملاءمة المكانية متعددة المعايير تعطى الأولوية من قبل الجهات التخطيطية عند إعداد خطط التخفيف من مخاطر ظاهرة الغبار على التنمية البيئية المستدامة في المحمية للمناطق التي حدثت فيها أعلى تكرار للعواصف الغبارية شمال غرب المحمية، وتلك التي تتوافر فيها أعلى نسب الملاءمة لنشأة العواصف الغبارية.
- التعاون مع المركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي لمعالجة تلك المواقع حسب نوع تربة كل منها.
- عدم إقامة المشاريع الهامة والفعاليات السياحية في المواقع المذكورة إلى حين معالجتها.
- أهمية التعاون مع وزارة البترول والثروة المعدنية لدراسة استغلال المعادن في ترب تلك المواقع واستثمارها.

المصادر والمراجع

المراجع العربية

كاظم، محمد حسن، (٢٠١٢)، "رصد العواصف الغبارية باستخدام الأقمار الصناعية الأنوائية"، وقائع المؤتمر الأول للعواصف الترابية وتأثيراتها البيئية، كلية العلوم، جامعة بغداد، العراق، ص ص ١١٦ - ١٢٤.

توظيف تقانة الاستشعار عن بُعد في تحديد مواقع انبعاث الغبار في محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية

المسند، عبد الله (٢٠١٠)، "رياح البوارح وأثرها في إثارة العواصف الرملية في شرقي المملكة العربية السعودية"، مجلة كلية الآداب، جامعة طنطا، العدد (٢٤)، ص ص ١-٤٦.

المطلق، فهد بن عبد العزيز، (٢٠٢٠)، "استخلاص العواصف الغبارية من مرئيات موديس: نطاق المملكة العربية السعودية أنموذجاً". *المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية*، مج ١٣ (١)، ص ص ٤٥-٧٥.

هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، (١٩٨٥). الخرائط الجيولوجية للمحمية، مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، الرياض.

وزارة الزراعة والمياه، (١٩٨٦)، الخريطة العامة للتربة في المملكة العربية السعودية، مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، الرياض.

المراجع الأجنبية

AL-Abbasi, K. A.; Labban, A. H.; Awad, A. M. (2023). Synoptic characteristics of the spatial variability of spring dust storms over Saudi Arabia: *Atmosfera*, 37, 401-424.

Albaqami, S. (2019). Spatial and temporal analysis of dust storms in Saudi Arabia and associated impacts, using Geographic Information Systems and remote sensing: thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Geography, University of Exeter, UK.

Albugami, S.; Palmer, S.; Cinnamon, J.; Meersmans, J. (2019). Spatial and Temporal Variations in the Incidence of Dust Storms in Saudi Arabia Revealed from In Situ Observations: *Geosciences*, 9, 162, 1-20.

Albugami, S; Palmer, S; Meersmans, J; Waive, T. (2018). Evaluating MODIS Dust-Detection Indices over the Arabian Peninsula. *Remote Sens*, 10, 1993; doi:10.3390/rs10121993.

Al-Dousari, A.; Omar, A.; Al-Hemoud, A.; Aba, A.; Alrashedi, M.; Alrawi, M.; Rashki, A.; Petrov, P.; Ahmed, M.; Al-Dousari, N.; et al. (2022). A Success Story in Controlling Sand and Dust Storms Hotspots in the Middle East. *Atmosphere*, 13 (1335). <https://doi.org/10.3390/atmos13081335>

Al-Khudhairy, A. A; Shaban, A. H; Al-Timimi, Y. K. (2023). Modis Satellite Data Evaluation for Detecting the Dust Storm Using Remote Sensing Techniques Over Iraq. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1223, 1-11.

Attiya, A.A.; Jones, B.G.(2022). An extensive dust storm impact on air quality on 22 November 2018 in Sydney, Australia, using satellite remote sensing and ground data: *Environ. Monit. Assess*, 194, 1-18.

Bahrami, H; Homayouni, S; Shah-Hosseini, R; Z and Karimi, A; Safari, A. (2020). Efficient dust detection based on spectral and thermal observations of MODIS imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14, 034513-034513.

- Banja, M.; Como, E.; Murtaç, B.; Zotaj, A. (2010). Mapping air pollution in urban tirana area using GIS:International Conference SDI.
- ESRI. (2025). Sentinel-2, Landcoverexplorer. (1, 2, 2025).
<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>.
- Furman, H.K.H. (2003). Dust storms in the Middle East: Sources of origin and their temporal characteristics: Indoor Built Environ, 12, 419–426.
- Gandham, H.; Dasari, H. P.; Langodan, S.; Karumuri, R. K.; Hoteit, I. (2020). Major changes in extreme dust events dynamics over the Arabian Peninsula during 2003–2017 driven by atmospheric conditions: J. Geophys. Res. Atmos, 125, 1-20.
- Goudie, A.S.; Goudie, A.M.; Viles, H. A. (2021). The distribution and nature of star dunes: A global analysis: Aeolian Research, , 50, <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100685>.
- Hamidi, M. (2019). Atmospheric investigation of frontal dust storms in Southwest Asia: Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 55, 177-193.
- Hassan. M. A. (2013). Remotely Sensing Digital Methods For Dust Storms Monitoring In Iraq. Iraqi Journal of Science, 54 (4), 1219-1232.
- Karami, S; Kaskaoutis, D.G; Pytharoulis, I; Sotiropoulou, R. E.P; Tagaris, E. (2024). Dust Transport from North Africa to the Middle East: Synoptic Patterns and Numerical Forecast. Atmosphere. 15 (531). <https://doi.org/10.3390/atmos15050531>.
- NASA. (2025). Earth's Climate Data, Accessed (1, 2, 2025). <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.
- NASA. (2025). Earth data, MODIS images, Accessed (1, 2, 2025). <https://search.earthdata.nasa.gov/>.
- Notaro, M.; Alkolibi, F.; Fadda, E.; Bakhrjy, F. (2013). Trajectory analysis of Saudi Arabian dust storms: Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118, 6028-6043.
- Prospero, J.M.; Bullard, J.E.; Hodgkins, R. (2012). High-latitude dust over the North Atlantic: Inputs from Icelandic proglacial dust storms: Science, 335, 1078–1082.
- Rezazadeh, M.; Irannejad, P.; Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events: Aeolian Res, 10, 103–109.
- USGS. (2025). Digital Elevation Model, Accessed (1, 2, 2025). <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- USGS. (2025). Landsat image, Accessed (1, 2, 2025). <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- World Wind Atlas. (2025). Wind speed and direction, Accessed (1, 2, 2025). <https://globalwindatlas.info/en>.

Zhang, X; Tong, D. Q; Wu, G; Wang, X; Xiu, A; et al. (2016). Identification of dust sources and hotspots in East Asia during 2000-2015: implications for numerical modeling and forecasting. Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2016-681.

المراجع العربية بالحروف اللاتينية

Al-Mutlaq, F. A. (2020). Extracting Dust Storms from MODIS Visuals: The Kingdom of Saudi Arabia as a Model. Arab Journal of Geographic Information Systems, 13(1), 45-75.

Al-Musnad, A.(2010). Bawarih winds and their impact on causing sandstorms in eastern Saudi Arabia. Journal Faculty of Arts, Tanta University, (24), 1-46.

Khadim, M. H.(2012). The detection of dust storms using metsats salilites, Proceedings of the First Conference on Dust Storms and their Environmental Impacts. College of Science, University of Baghdad, Iraq, 116-124.

Ministry of Agriculture and Water. (1986), General map of soil in the Kingdom of Saudi Arabia, scale 1:250,000, Riyadh.

Saudi Geological Survey. (1985). Geological maps of the nature preserve, scale 1:250,000, Riyadh.

Appling remote sensing technology in determining dust emission sites in Imam Turki Bin Abdullah Royal Reserve

¹Jawaher Mufarreh Marei Al-Qahtani ²Ahmed Abdullah Al-Daghi

¹Researcher at the Sand and Dust Storm Regional Center - PhD Candidate, Department of Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Buraidah, KSA

²Professor of Environment and R.S, Department of Geography, Philosophy in Physical Geography, College of Languages and Humanities, Qassim University, Buraidah, KSA

¹jawaheralsareai@gmail.com

²Ahmadam320@gmail.com

Abstract:

This research attempts to identify common locations from which dust storms blow in Imam Turki bin Abdullah Royal Reserve, to estimate how much dust each source contributes with using Remote Sensing Technology. This process facilitates proposing proper solutions to reduce the effects of dust emissions. This will be conducted through extracting spectral reflections from both bands: third and seventh of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) of the moon during Spring throughout (2003-2024), and applying natural dust indicator of ARC gis Pro. Findings revealed that dust sources contributions are: North-west area of the reserve is the major source of the dust (63%), then the middle area from the west (31%), and far south (6%). That stressed the significance of soil geology factor in this issue, facilitating provision of equipment and applying solutions for this issue.

Keywords: Dust storms, Nature reserves, Remote sensing, Modis images, Imam Turki Bin Abdullah Royal Reserve.