

## التحليل المكاني للعواصف الغبارية ومخاطرها على حركة النقل في الطرق بالمملكة العربية السعودية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

أمينة عطا الله عبد ربه الرحيلي

قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية

**المستخلص.** العواصف الغبارية كوارث طبيعية لها تأثير خطير على مختلف جوانب الحياة كانهخفاض الرؤية وإعاقة قطاع النقل، وتترسب الجزيئات الأكبر حجماً من الغبار في الجهاز التنفسي العلوي (البلعوم، والقصبه الهوائية)، بينما يمكن أن تدخل الجزيئات الأصغر إلى أنسجة الرئة العميقة، ويمكن أن تسبب الخصائص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية لهذه الجسيمات اضطرابات في صحة الجسم، بالإضافة إلى الجهاز التنفسي، ويلحق الغبار ضرراً بأنظمة الجسم، كالجهاز الدماغي، والقلب والأوعية الدموية، والجلد، والدم، والجهاز المناعي. وتحدث العواصف الغبارية في المناطق ذات المناخ الجاف، حيث يقل متوسط هطول الأمطار السنوي عن 100 ملم، وتتشكل عندما تهب رياح قوية على الأسطح المغطاة بالتربة الرخوة والرمال الجافة وتنفق إلى الغطاء النباتي. وتقع المملكة بنقطة ساخنة عالمية لنشاط الغبار، حيث يبدأ نشاط العواصف الغبارية أوائل الربيع ويصل ذروته خلال الصيف، بسبب ظروف الجفاف الشديد ومدته، والرياح الشمالية المعروفة محلياً برياح الشمال، والتصحّر والأنشطة البشرية. وتؤثر العواصف الترابية على مختلف جوانب حياة الإنسان، حيث تؤثر الجزيئات الموجودة في العواصف الترابية على الظروف الجوية، من خلال زيادة تغيير توازن إشعاع الأرض، بسبب امتصاص وتشتت الأشعة القصيرة والطويلة الموجة، مما يؤثر على درجات حرارة الهواء، ويسبب أضراراً على النظم البيئية، والإنتاج الزراعي، ويؤثر الغبار على الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب، مما يؤثر على كفاءة هطول الأمطار، ويقلل من حموضة التربة، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية. وتهدف الدراسة لتحليل أهم أحداث العواصف الغبارية بالمملكة، وكشف تأثيراتها على الرؤية الأفقية، ومخاطرها على النقل بالطرق، ولتحقيق ذلك أتبعنا منهجية تدرجت من مراجعة الأدبيات لرصد أهم العواصف الغبارية ومعرفة منهجياتها وبياناتها، وبالتالي جمعت بيانات الجسيمات الدقيقة لإحدى عشرة عاصفة بين عامي 2000 - 2022 للقرن الصناعي (MERRA 2)، والحصول على طبقة (Shapfile) للطرق. وتمت تهيئة البيانات لتكون مناسبة لاشتقاق طبقات الغبار لتحديد مستوى

الرؤية، وبالتالي تمت نمذجة مخاطر العواصف مجتمعة، وتقييم مخاطرها على النقل بالطرق، واستخدمت الدراسة طريقة التحليل الهرمي لتحديد أهمية كل عاصفة، وصولاً لجبر طبقات مستويات الرؤية في (GIS)، لإنتاج خريطة مستويات مخاطر العواصف الغبارية على الطرق. وتوصلت نتائج الدراسة لوقوع الطرق التي تعاني من مخاطر شديدة جداً، حيث تتجاوز نسبة خطر العواصف الغبارية 82% في المنطقة الشرقية وشرق منطقة الرياض، بمساحة 546512,8 كم<sup>2</sup>، بنسبة 28,05%، ويقع بهذا النطاق 32349,55 كم بنسبة 15,49% من إجمالي الطرق. وتظهر الطرق التي تواجه مخاطر شديدة للعواصف الغبارية، حيث تتراوح نسبة خطر الغبار بين 82 - 62% شمال وجنوب المنطقة الشرقية وجنوب شرق الحدود الشمالية ووسط وجنوب منطقة الرياض وشرق نجران، بمساحة 204061 كم<sup>2</sup>، بنسبة 10,47%، وتبلغ الطرق الواقعة ضمنها 36589,5 كم بنسبة 17,13% من إجمالي الطرق. ويقع ضمن المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار 45498,14 كم من الطرق بنسبة 21,79% من إجمالي أطوال الطرق، وتقع بقية الطرق بمناطق تتصف بمخاطر ضعيفة وضعيفة جداً للعواصف الغبارية. وبالتالي ستساعد نتائج الدراسة صناعات السياسات على اتخاذ مسارات العمل الصحيحة للتخفيف من الآثار السلبية للعواصف الغبارية على حوادث الطرق خاصة في مواسم هبوب العواصف الغبارية.

**الكلمات المفتاحية:** العواصف الغبارية، الطرق، المملكة العربية السعودية، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد.

## 1. المقدمة

العواصف الترابية ظاهرة طبيعية تحدث عادة في المناطق الصحراوية، وتحدث نتيجة للرياح القوية التي تثير الغبار والرمال من الصحاري والمناطق المحيطة بها وتحملها لمسافات طويلة ( Rezazadeh, et al., 2013, 105). وتحدث العواصف الغبارية في المناطق الجافة وشبه الجافة بسبب الرياح السطحية التي تعمل على نفث الغبار والرمال من أسطح التربة الجافة الرخوة في الغلاف الجوي، ويمكن أن يكون لمثل هذه الأحداث آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة والبنية التحتية والنقل (Albaqami, 2019, p.II). وبالتالي تعتبر العواصف الترابية هي المسؤولة بشكل رئيس عن نقل الغبار من مكان لآخر في الغلاف الجوي (Shalaby, 2015, p. 1524).

وتعد الصحاري الجافة جنوب غرب آسيا من بين مصادر الغبار التسعة الرئيسة في جميع أنحاء العالم (Goudie et al., 2021). وتساهم هذه الصحاري بنحو 20% من إجمالي غبار العالم (Tanaka and Chiba, 2006, p.89). وتعتبر صحراء الربع الخالي من أكثر مصادر الغبار في شبه الجزيرة العربية حسب مرئيات (Giles, 2005, p.817). وبحسب مرئيات موديس (Ali et al., 2017, p.1268). وكذلك حسب القياسات الأرضية (Prakash et al., 2015, p.201).

وصنفت دراسات مصادر الغبار جنوب غرب آسيا هذه المصادر إلى مجموعتين رئيسيتين، مصادر محلية وأخرى بعيدة، وتشمل المصادر المحلية صحاري الربع الخالي والدهناء والنفود والصحراء السورية والعراقية (Notaro et al., 2013, p.6029).

وحددت صحراء الربع الخالي كمصدر رئيس للغبار المحلي غرب المملكة والصحراء الكبرى كمصدر رئيس بعيد (Mashat *et al.*, 2021, p.657).

وتعتبر الصحاري السورية والعراقية مصادر الغبار شمال وشرق المملكة العربية السعودية، وتبرز العواصف الترابية فوق المملكة العربية السعودية خلال الفترة من فبراير إلى يونيو (AL-Abbasi *et al.*, 2023, p.402). وتحدث أشد العواصف الغبارية في المملكة خلال شهري مارس وأبريل (Hamidi, 2019, p.179). وبذلك يعتبر الشرق الأوسط أكثر مناطق العالم تضرراً من العواصف (Furman, 2003. p.420). وتعتبر شبه الجزيرة العربية واحدة من أكبر مناطق مصادر العواصف الترابية (Prospero, *et al.*, 2012, p.1079).

ويصاب 20-50 مليون شخص بعجز على مستوى العالم في حوادث الطرق كل عام (Jacobs, *et al.*, 2000, p.3). وعلى مستوى منطقة الخليج تأتي السعودية في المرتبة الثانية بعد إيران من حيث عدد حوادث الطرق (WHO, 2013). وتعتبر حوادث الطرق أحد الأسباب الرئيسية لوفاة الشباب حيث تمثل 49% من حالات الوفاة للأشخاص الذين تقل أعمارهم عن 30 عاماً (Hassan, 2015, p.114). وتؤثر العواصف الترابية بشكل كبير على المناخ الإقليمي، ويتسبب الغبار في مشاكل صحية للجهاز التنفسي. ويؤثر نقل الغبار على الرؤية فوق المنطقة، ويتسبب بصعوبات في حركة المرور (Gandham, 2020, p.2). وبالتالي يؤثر الغبار على الطرق إما من خلال انتشاره على

الطرق أو من خلال تدني الرؤية الأفقية التي يترتب عليها حوادث الطرق. فبيئة الطرق تتأثر مع شدة تواتر الحرارة والعواصف الغبارية (Islam *et al.*, 2019, p.2). ففي المملكة تشير التقديرات إلى وجود أكثر من مليون حادث سيارة سنوياً يرجع 80% منها تقريباً إلى مشاكل الرؤية (Almutairi & Ahmad, 2022, p.1). وذكرت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية أن رواسب الغبار السطحي مصدراً للمغذيات الدقيقة لكل من النظم البيئية القارية والبحرية، حيث يُعتقد أن الغبار الصحراوي يُخصب غابات الأمازون المطيرة، ومن المعروف أن الغبار ينقل الحديد والفسفور الذي يفيد إنتاج الكتلة الحيوية البحرية في أجزاء من المحيطات التي تعاني من نقص هذه العناصر (<https://public.wmo.int>).

وتعد بيانات الاستشعار مهمة في تحليل العواصف الغبارية في المناطق التي لا تتوفر فيها محطات رصد، وتتيح نظم المعلومات الجغرافية تحليل ودمج بيانات الاستشعار عن بعد في التخطيط البيئي، وتساعد على كشف تغيرات العواصف الغبارية ومحاكاتها في المستقبل، والتي من شأنها أن تلعب دوراً مهماً في الحفاظ على البيئة، ويتم استخدام (AirGIS)، وهو نظام قائم على أنظمة المعلومات الجغرافية لتحليل تلوث الهواء ونمذجة مخاطر التعرض البشري له، وتستخدم بيانات وطرق الاستشعار عن بعد والبرمجيات ذات الصلة لتسليط الضوء على ظاهرة الغبار، واستخدام البيانات السينوبتيكية في تحليل تحديد مناطق نشأة العواصف

الغبارية وتتبع مسارات حركتها ( Derakhshannia, et al., 2020, p.334).

ويؤدي الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية دوراً مهماً في المراقبة الديناميكية لتوزيع الغبار وعمليات التغيير أثناء العواصف الترابية القوية (Shin, et al., 2021, p. 863). وتستخدم بيانات الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستشعار للكشف عن العواصف الترابية، وطورت مستشعرات الأشعة فوق البنفسجية لعدة أقمار (TOMS, OMI) مع خوارزميات الهباء الجوي لامتناس الأشعة فوق البنفسجية، فضلاً عن مرئيات لأجهزة الاستشعار الحرارية بالأشعة تحت الحمراء (GEOS, MERRA, MODIS) (AVHRR, الصناعية ومؤشرات الغبار. وتشمل بيانات الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار المستخدمة على نطاق واسع لدراسة الغبار بشكل أساسي مستشعرات الأشعة فوق البنفسجية، وأجهزة مراقبة الأوزون (Sowden, 2018, p.155).

وتؤكد الدراسات السابقة أهمية بيانات الاستشعار عن بعد في توفير تحليلاً جيداً لأحداث العواصف الترابية، بما في ذلك تحديد مناطق مصدر الغبار ومسارات الانتشار، وتفيد بيانات الاستشعار عن بعد في تقييم جودة الهواء (Attiya & Jones, 2022, p. 3). وتستخدم بيانات العمق البصري للهباء الجوي (AOD) من القمر الصناعي (MODIS)، إلى جانب أنواع الهباء الجوي المحددة للارتفاع من قياسات (CALIOP) للتحقق من انتشار الغبار (Guo, et al., 2013, p. 567). وتفيد بيانات الاستشعار عن بعد

متعددة الأطياف من القمر الصناعي (FY-4A) مع بيانات القمر الصناعي (Himawary-8) من المجال المرئي إلى الأشعة تحت الحمراء القريبة في المراقبة المستمرة لمسار العواصف الغبارية (Luo, et al., 2022, p. 157).

وتعتبر نظم المعلومات الجغرافية أداة قوية تساعد في تحليل ونمذجة مخاطر العواصف الغبارية، وعرض ومعالجة بيانات الاستشعار عن بعد (RS). (Banja, et al., 2010, p. 17). فضلاً عن أنها أداة قوية لرسم الخرائط والتحليل الحاسوبي، مما يسمح بالربط المكاني لأنواع مختلفة من البيانات. ومن أهم التحليلات المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية محاكاة الأسطح باستخدام الطرق الإحصائية (Beelen, et al., 2007, p. 1343).

## 2. الدراسات السابقة

تناولت دراسة (Albaqami, 2019) التحليل المكاني والزماني للعواصف الترابية في المملكة العربية السعودية وتأثيراتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، واعتمدت الدراسة للكشف عن الغبار من مرئيات (MODIS) على مؤشرات (NDDI, BTDR, MEDI, RSB, MEDI)، وتشير النتائج إلى أن المؤشرات الأكثر ملاءمة لتحديد العواصف الترابية بمختلف أنواع الغطاء الأرضي في شبه الجزيرة العربية هي (BTDR, RSB, MEDI)، أما بقية المؤشرات لها قيود في اكتشاف الغبار بمختلف أنواع الغطاء الأرضي.

وتطرق (Albugami, et al., 2019) إلى كشف الاختلافات المكانية والزمانية في حدوث العواصف

الترابية في المملكة العربية السعودية، واعتمدت الدراسة على بيانات الأرصاد الجوية الشهرية من 27 محطة رصد لتحليل التوزيع المكاني والزمني للغبار الجوي بين عامي 2000 - 2016، وتوصلت النتائج لموسمية حدوث العواصف الغبارية، مع أعلى تواتر للأحداث خلال فصل الربيع، فضلاً عن علاقة مهمة بين حدوث العاصفة الترابية وسرعة الرياح واتجاه الرياح وهطول الأمطار، وضعيفة مع درجات الحرارة.

وقامت دراسة (Islam, et al., 2019) آثار تغير المناخ على حدوث الاطرق في المملكة العربية السعودية وضع سياسات التخفيف من تغير المناخ والتكيف معه لجعل الاطرق آمنة، واستخدمت الدراسة بيانات 13 علماً بين عامي 2003 2013 - . وتوصلت النتائج إلى أن درجات الحرارة والأمطار والعواصف الرملية وعدد المركبات كانت مسؤولة بشكل كبير عن عدد الإصابات بحدوث الاطرق.

وتناول (Gandham, et al., 2020) التغيرات الرئيسية في ديناميكيات أحداث الغبار الشديد فوق شبه الجزيرة العربية خلال الفترة 2003-2017 باستخدام عمق بصري طويل المدى للغبار تم استرجاعه من بيانات القمر (MODIS) تم اشتقاق ملامح الغبار من بيانات القمر (CALIOP) لتقييم التوزيع الرأسي لأحداث الغبار. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تكوين الغبار الشديد يرتبط بشكل أساسي بأنظمة الضغط العالي، وتنتقل الرياح الشمالية الغربية إلى جميع أنحاء البلاد.

وكشف (Almujibah, et al., 2022) آثار العواصف الرملية على شبكة السكك الحديدية في

المملكة العربية السعودية، واستخدمت الدراسة سرعة الرياح لكشف آثار العواصف الرملية، ووجدت أن خصائص الموقع من حيث حجم جزيئات الرمل وسرعة واتجاه الرياح أكثر الخصائص المحركة للرمال، وأن أفضل طريقة لتحقيق حماية سكك الحديد من العواصف هي الجمع بين الخنادق والسدود والأشجار والحواجز الخرسانية.

وتناول (AL-Abbasi, et al., 2023) الخصائص

الشاملة للتدريج المكاني للعواصف الترابية الطبيعية في المملكة العربية السعودية، وأجريت هذه الدراسة تحليلاً إحصائياً شاملاً للعواصف الترابية الطبيعية باستخدام الملاحظات السطحية من 27 محطة رصد وبيانات الأرصاد الجوية من تحليل (NCEP / NCAR) للفترة 1978-2008. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المنطمة الشمالية الشرقية والشرقية من المناطق الأكثر تضرراً بالعواصف الترابية.

ودرس (Labban & Farahat, 2023) تأثير

أحداث الغبار الكبرى على درجة الحرارة المحيطة ومكونات الإشعاع الشمسي في المملكة العربية السعودية. واستخدمت الدراسة بيانات أرضية من محطات الأرصاد الجوية الموجودة لست مع مرئيات (MODIS)، وتم فحص تأثيرات الغبار على درجات حرارة الهواء والإشعاع الشمسي. وتوصلت نتائج الدراسة لوجود علاقة قوية بين الغبار ودرجات الحرارة والإشعاع الشمسي.

أهمية الدراسة

- تحديد الطرق التي تأثرت بمخاطر العواصف الرملية بالمملكة العربية السعودية.

### منطقة البحث

تقع المملكة العربية السعودية جغرافياً (شكل 1) جنوب غرب قارة آسيا، وتقع المملكة فلكياً 15°: 5: 16° - 32: 10: 30° شمالاً، وخطي طول 20°: 55: 34° - 55: 56: 50° شرقاً، بمساحة بلغت 2331143.43 كم<sup>2</sup>، وتغطي مساحة كبيرة من المملكة بالكتبان والصحاري الشاسعة التي تتميز بكميات قليلة جداً من الأمطار وغطاء نباتي متناثر، وتعد هذه المناطق من مصادر العواصف الغبارية. ويرتبط نشاط العواصف الترابية في المملكة العربية السعودية بخصائص الأحوال الجوية أي تكوين أنظمة الضغط العالي والضغط المنخفض ( Parrott, et al., 2018. p.527). ونشاط الرياح الشمالية الغربية، فقد أظهرت الدراسات الحديثة ارتباط العواصف الترابية في المملكة بسرعة الرياح ( Rezazadeh, 2013, p.105).

### 3. مواد وطرائق الدراسة

لتحقيق الأهداف السابقة اتبعت الدراسة المنهج التاريخي في التعرف على أهم العواصف الغبارية التي تعرضت لها المنطقة بين عامي 2000 - 2022، وأخذ عدد من هذه العواصف بما يغطي عنوان الدراسة ويحقق أهدافها، لتحديد مصادر نشأة هذه العواصف على مدى 22 عاماً الماضية، ومراقبة تحركات كل عاصفة منها، ومقارنة ذلك لنحو 11 عاصفة كبرى.

ومن خلال مراجعة الأدبيات السابقة، لا تزال دراسة آثار عناصر المناخ بصورة عامة والعواصف الغبارية بشكل خاص على الطرق لم تحظى باهتمام الأدبيات السابقة، رغم أن مناخ المملكة يتصف بجفاف شديد وقلة الأمطار، وصيف حار وجاف، فضلاً عن ذلك تهتم معظم مبادرات وسياسات السلامة على الطرق في المملكة بالإصلاحات المؤسسية والتنظيم، ويتم تجاهل الظروف المناخية في المنطقة وتغيراتها وتأثيراتها على الطرق، ومن هنا جاءت الحاجة لهذه الدراسة في تحديد الطرق الأكثر عرضة لمخاطر العواصف الغبارية، والحد من حوادث الطرق عليها، وبالتالي تأتي أهمية هذه الدراسة من مساعدة صانعي السياسات على اتخاذ الإجراءات المناسبة للحد من حوادث الطرق خاصة في مواسم هبوب الغبار. وتعطي نتائج هذه الدراسة نظرة لمخاطر العواصف الغبارية على حركة النقل في الطرق بجميع أنحاء المملكة العربية السعودية، وتوفر أساساً للبحث المستقبلي حول الاتجاهات المكانية والزمانية لمخاطر العواصف الغبارية وتغيراتها على البيئة بصورة عامة وحركة النقل على الطرق البرية بصورة خاصة.

### أهداف الدراسة

- التحليل المكاني لأحداث العواصف الغبارية في المملكة العربية السعودية بين عامي 2000 - 2022.
- كشف أثر العواصف الغبارية في تباين الرؤية الأفقية وما قد يترتب على ذلك من حوادث النقل على الطرق.

كما اتبعت الدراسة المنهج التحليلي الوصفي القائم على نظم المعلومات الجغرافية، لتحليل ووصف التباين المكاني لانتشار الغبار الناتج عن أهم العواصف الغبارية، وتحديد مدى تأثير كل منها في تباين مستويات الرؤية الأفقية، وما يترتب على ذلك من انعكاسات على حركة النقل البري في طرق المملكة، من خلال تحديد الطرق التي تقع بمناطق خطرة اثناء حدوث كل عاصفة، وتقييم مخاطر هذه العواصف مجتمعة على النقل البري في الطرق، بتحديد الطرق التي تقع ضمن خمسة نطاقات حسب مستويات مخاطر العواصف الغبارية، وبالتالي مرت منهجية البحث بخطوات متعددة تدرجت فيما يأتي:

**(1) مراجعة الأدبيات:** حيث قامت الباحثة بمراجعة أدبيات موضوع الدراسة للاطلاع على أهم العواصف الغبارية التي تعرضت لها المنطقة، وطرق تناول الموضوع والمنهجيات المتبعة والبيانات المستخدمة في تناول هذه المواضيع والدوال الرياضية التي تم استخدامها ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتحقيق اهداف كل دراسة.

**(2) جمع البيانات:** بعد مراجعة الدراسات السابقة بالذات لمنطقة الدراسة ومعرفة البيانات المستخدمة في كل منها، قامت الباحثة بجمع البيانات تختلف عما استخدم في الدراسات السابقة، بهدف مقارنة نتائجها مع هذه الدراسات، وبالتالي حصلت الدراسة على بيانات الاستشعار عن بعد (MERRA 2) لنحو 11 عاصفة غبارية تعتبر من اشد العواصف التي تعرضت لها المنطقة بين عامي 2000 - 2022

بحسب دراستي (Albaqami, 2019, Labban & Farahat, 2023). وتم جمع بيانات هذه العواصف بتواريخ وقوعها المبينة في الجدول (1) من موقع وكالة ناسا.

وتعتبر بيانات (MERRA 2) أحدث بيانات لتحليل الغلاف الجوي مقمنة من وكالة ناسا (Gelaro, et al., p. 5421). وتصدر بيانات القمر (MERRA 2) عددًا كبيراً من البيانات كالغبار، والعمق البصري للهبوط الجوي (AOD)، والتأثير السطحي، وأول أكسيد الكربون، والأوزون، وتشخيص الإشعاع (Molod, et al., p. 1341). ويفرد (MERRA2) سلسلة من بيانات الغبار، بما في ذلك بيانات الغبار المصحح للإزاحة التي تم استنتاجه بواسطة مقياس الإشعاع المتقدم عالي الدقة (AVHRR)، ومقياس طيف التصفيد متوسط الدقة مرفيس (Levy, et al., 2010, p. 10399).

وتستوعب بيانات (MERRA2) عمليات رصد شبكة الهبوط الجوي الأرضية (AERONET) بواسطة نموذج نظام الأرض، وبالمقارنة مع مجموعة بيانات (MERRA)، فإن بيانات الغبار (MERRA-2) تقلل من الأخطار المترتبة بالتغيرات في نظام مراقبة الأرصاد الجوية، كما أن بيانات (MERRA-2) غنية، ويسهل الحصول عليها، ولها سلسلة زمنية طويلة، وتغطية عالمية، وتوزيع متساوٍ (Yao, et al., 2020, p. 4).

وحصلت الدراسة على طبقة الطرق بصيغة (Shapfile) من موقع (Open Street Map)، وتتضمن قاعدة بيانات الطرق العديد من المعلومات الوصفية كنوع الطرق جسور (Bridleway)، وممرات

(Footway)، وطرق سريعة (Motorway)، ورئيسة (Primary)، وثانوية (Secondary)، وسكنية (Residential)، وخدمية (Service)، وطرق غير المصنفة (Unclassified)، كما تتضمن قاعدة بيانات الطرق عدد من الحقول أهمها اتجاه الطريق والحد الأعلى للسرعة والطول.

### 3) تهيئة البيانات: بعد الانتهاء من جمع البيانات

المشار إليها في الجدول السابق لتركز الجسيمات الدقيقة لكتلة الغبار (PM 2.5) انتقلت الدراسة إلى الخطوة التالية متمثلة بمعالجة أو تهيئة البيانات تمهيداً للانتقال لخطوة قادمة متمثلة باشتقاق الطبقات المعلوماتية النهائية التي ستدخل في نمذجة مخاطر الغبار من جميع العواصف وتقييم أثرها على الطرق، وتدرجت خطوات المعالجة من تغيير نظام إرجاع البيانات من نظام الإرجاع الجغرافي إلى النظام المترى، وتحويل وحدة القياس من كج/م<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>) إلى ميكروجرام/م<sup>3</sup> (µg/m<sup>3</sup>) باستعمال حاسبة نظم المعلومات الجغرافية (Raster Calculator) لضرب الطبقات المرجعة في (1000000000). وبالتالي حولت هذه الطبقات الناتجة باستخدام أداة (Raster to Points) لنحصل على 461 نقطة أو محطة رصد دخل حدود منطقة الدراسة، وضعف هذا العدد بمحاذاة المنطقة، وكل محطة لها قيمة معينة لتركز الغبار أثناء هبوب العواصف الغبارية.

### 4) اشتقاق الطبقات المعلوماتية: بعد الانتهاء من

تهيئة البيانات اعتمدت الدراسة على طبقة (Points) لعمل (Interpolation) لكل عاصفة غبارية باستخدام

خوارزمية (Spline) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وبالتالي تم اشتقاق طبقات تركز الغبار ضمن كل عاصفة، ورافق ذلك توحيد الدقة المكانية لجميع الطبقات العواصف الغبارية الناتجة عند 500م. وبالاعتماد على هذه الطبقات تم حساب مدى الرؤية الأفقية للعواصف الغبارية باستخدام الصيغة الرياضية في حاسبة (GIS).

$$Vis = \frac{4050}{Dust-0.016} \cdot (Baddock, et al., 2014, p.332).$$

حيث (Vis) مدى الرؤية، (Dust) طبقات الغبار ميكروجرام/م<sup>3</sup>. وبعدها تم استعمال أداة (Reclassify) لتصنيف طبقات الرؤية الأفقية إلى مستويات أقل من 0,5 كم حيث تعاني الطرق ودركة النقل فيها من مخاطر شديدة لتركز الغبار، والثاني بين 0,5 - 1 كم حيث تواجه الطرق ودركة النقل مخاطر معتدلة لتركز الغبار، والثالث بينما يتجاوز مدى الرؤية الأفقية 1 كم حيث لا تواجه الطرق ودركة النقل مخاطر تركيز الغبار.

### 5) بناء نموذج مخاطر العواصف الغبارية: قامت

الدراسة ببناء هذا النموذج بالاعتماد على طريقة القرار متعدد المعايير (MCDA)، واعتمدت الدراسة في بناء نموذج المخاطر على أهم إحدى عشرة عاصفة غبارية تعرضت لها المملكة، ولتحديد مدى الأهمية النسبية للعواصف، تم استخدام عملية التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process)، وهي إحدى الأساليب المعتمدة في اتخاذ القرار متعددة المعايير، ولأجل اتخاذ القرار المتعدد المعايير لتأثير مخاطر العواصف الغبارية على الطرق بطريقة التحليل الهرمي ضمن

نظم المعلومات الجغرافية، تدرجت خطوات بناء النموذج كما يأتي:

(أ) تحديد الهدف، ويتمثل بالحصول على الأهمية النسبية (الأوزان) لكل من عاصفة غبارية تعرضت لها المنطقة.

(ب) اشتقاق طبقات الغبار لكل عاصفة غبارية بواسطة خوارزمية (Spline)، وبالاعتماد على هذه الطبقات وتطبيق المعادلة السابق تم اشتقاق طبقات مجال الرؤية، وبالتالي تمت إعادة تصنيف طبقات مجال الرؤية الأفقية لكل عاصفة إلى ثلاثة فئات (الجدول 2)، ورافق ذلك إعطاء وزن لكل فئة حسب شدة مخاطرها على حركة النقل في الطرق، فأعطيت الفئة الأولى حيث مجال الرؤية الأفقية للغبار أقل من 0,5 كم<sup>3</sup>، كونها أكثر الفئات خطورة على الطرق، وأعطيت الفئة الثانية حيث يتراوح مجال الرؤية الأفقية بين 0,5 - 1 كم<sup>3</sup>، كونها ذات مخاطر معتدلة على حركة النقل في الطرق، وأعطيت الفئة الثالثة حيث يتجاوز مدى الرؤية الأفقية 1 كم الوزن 1، كونها مناطق قليلة الخطر على الطرق.

(ج) تقييس الطبقات الناتجة عن الخطوة السابقة، وذلك من خلال تحويل الطبقات من أسطح رتبية (فئات) أو منفصلة، الي أسطح مستمرة، وتم تقييس الطبقات باستخدام خوارزمية أو دالة (Large) ضمن حزمة (Rescale by Function) ببرنامج (GIS).

(د) تحديد المتوسط المكاني لمدى الرؤية الأفقية ضمن كل عاصفة على مستوى المملكة (الجدول 2)، وبالاعتماد على متوسطات مدى الرؤية تم استخدام

حاسبة التحليل الهرمي (AHP Online System) لتحديد العلاقات بين طبقات مستويات الرؤية الناتجة عن كل عاصفة مع عدد من البدائل بشكل هرمي فكل طبقة حسب طريقة التسلسل الهرمي لها بدائل، وتقاس البدائل بمقياس يتراوح بين 1 - 9.

(هـ) بناء مصفوفة المقارنة الزوجية، وتم من خلالها مقارنة كل زوج من مستوى الرؤية الأفقية بدلالة مقياس الأهمية، فبعد تحديد علاقة مستوى الرؤية بكل عاصفة وبدائلها تم الضغط على أيقونة (Calculator)، ليتم بناء مصفوفة مقارنة زوجية (الجدول 2) بين مستوى الرؤية الأفقية لكل عاصفة وبقيّة العواصف بمقياس يتراوح من (1 - 9)، فالرقم 1 يُعد ذو أهمية قليلة، والرقم 3 له أهمية متوسطة، والرقم 5 له أهمية كبيرة، والرقم 7 له أهمية كبيرة جداً، والرقم 9 له أهمية مطلقة أو تامة، أما الأرقام 2، 4، 6، 8 فهي درجات بينية بين الأحكام، وتخضع كل عاصفة للمقارنة الزوجية لتعيين الأوزان بمقارنة كل عاصفة مع أخرى بالاعتماد على متوسط الرؤية الأفقية، وتحسب عدد المقارنات بالمعادلة الآتية:

$$NC = n(n - 1)/2. (Gacu, et al., 2023, p. 8)$$

حيث (NC) عدد المقارنات، (n) عدد العواصف المقارنة، وبالتالي يتم حساب مصفوفة المقارنة الزوجية بين العواصف الغبارية (الجدول 2).

وتحسب مصفوفة المقارنة الزوجية بالمعادلة:

$$C = \{ \frac{w_i}{w_j} = 1, 2, \dots, n. (Gacu, et al., 2023, p. 9) .$$

حيث (C) مصفوفة المقارنة الزوجية،  $w_i/w_j$  هي الأهمية النسبية للعاصفة (i) إلى العاصفة (j).

(و) تحديد الأهمية النسبية لمخاطر الغبار الناتج عن العواصف الغبارية واستعمالات مصفوفة المقارنة النوجية لاستقطاب أوزان أو أهمية كل عاصفة. ويبين الجدول (3) الأهمية النسبية لكل عاصفة غبارية حسب مخاطرها على الطرق الناتجة عن طريقة التحليل الهرمي (AHP)، حيث بلغت أهمية عاصفة عام 2017 في مخاطرها الغبار ندو 24,6٪، وعاصفة عام 2003 ندو 19,7٪، وعاصفة عام 2021 ندو 15٪، وعاصفة عام 2008 ندو 11,1٪، وعاصفة عام 2013 ندو 8٪، وعاصفة عام 2015 ندو 5,6٪، وعاصفة عام 2001 ندو 4,8٪، وعاصفة عام 2007 ندو 4,2٪، وعاصفة عام 2018 ندو 3٪، وعاصفة عام 2011 ندو 2,2٪، وعاصفة عام 2005 ندو 1,8٪، وحسبت الأهمية النسبية لكل عاصفة حسب معادلة طريقة التحليل الهرمي كما يأتي:

$$\sum_{i=0}^n W_i = 1. \text{ (Karymbalis, et al., 2021, p.8) .}$$

(ز) تحديد مستوى ثبات الأحكام أو ما يعرف بمستوى التناسق (CR)، الذي ينبغي ألا يتجاوز 10٪، فكلما كانت قيمة التناسق أقل من 10٪ دل ذلك على اقتدار الأحكام من الثبات وعدم وجود تناقض بينها، أما إذا تجاوزت قيمة التناسق 10٪، يتم رفض الأحكام وإعادة التحليل مرة أخرى، وعليه فقد بلغت نسبة التناسق 1,5٪، مما يعني ثبات الأحكام وعدم تناقضها، ويتم حساب مستوى التناسق (CR) بالمعادلة التالية:

$$CR = \frac{CI}{RI}. \text{ (Karymbalis, et al., 2021, p.8) .}$$

حيث (CR) مستوى الثبات، (RI) المؤشر العشوائي: وهو قيمة ثابتة تعتمد على ترتيب المصفوفة (Saaty, 1987, p.171)، (CI) هو مؤشر الاتساق المحسوب بالمعادلة الآتية:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}. \text{ (Karymbalis, et al., 2021, p.8)}$$

حيث (n) عدد العواصف التي تمت مقارنتها في المصفوفة، ( $\lambda_{max}$ ) لقيمة القصوى للقيمة الذاتية التي يتم الحصول عليها بواسطة المعادلة:

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{vi}}{W_i}\right). \text{ (Karymbalis, et al., 2021, p.8) .}$$

حيث  $\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_{vi}}{W_i}\right)$  تماسك المتجهات (C)،  $W_i =$  معامل الترتيح المقدر وفق الجدول (2)،  $W_{vi} =$  عامل المجموع المرجح.

(ح) وتمثلت آخر خطوات النمذجة بإنتاج خريطة تبين مخاطر جميع العواصف الغبارية بين عامي 2000 - 2022 على الطرق من خلال دمج طبقات مستويات الرؤية الأفقية لجميع العواصف الناتجة عن خطوة (ج) حسب أهميتها النسبية المحددة في الخطوة (و)، وتمت عملية الدمج باستخدام حاسبة (Raster Calculator in GIS)، وتم تصنيف الطبقة الناتجة إلى خمس فئات حسب شدة مخاطر الغبار على الطرق.

(6) تقييم مخاطر العواصف الغبارية على الطرق

على الطرق، وصنفت الطرق حسب مخاطر العواصف الغبارية لخمس مجموعات. تمت عملية التقييم باقتطاع الطرق التي تقع ضمن كل فئة من فئات مخاطر العواصف الغبارية، وحساب أطوالها، وتحديد مواقعها للجهات المختصة لعمل الإجراءات لحماية السكان من مخاطر الغبار



شكل 1. موقع منطقة الدراسة.

جدول 1. بيانات أهم العواصف الغبارية التي تعرضت لها المملكة بين عامي 2000 2022 -.

العنصر	الوحدة	القمر	الدقة الزمنية	الدقة المكانية	بداية المدة	نهاية المدة
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2001 - 2 -22	2001 - 2 -22
PM 2,5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2003 - 3 -25	2003 - 3 -27
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2005 - 1 -5	2005 - 1 -7
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2007 - 3 -1	2007 - 3 -3
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2008 - 2 -19	2008 - 2 -21
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2011 - 3 -25	2011 - 3 -27
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2013 - 5 -7	2013 - 5 -9
PM 2.5	Kg/M <sup>3</sup>	MERRA 2	ساعية	0,5	2015 - 4 -1	2015 - 4 -3

2017 -3 -21	2017 -3 -19	0,5	ساعية	MERRA 2	Kg/M <sup>3</sup>	PM 2.5
2018 -4 -13	2018 -4 -13	0,5	ساعية	MERRA 2	Kg/M <sup>3</sup>	PM 2.5
2021 -4 -16	2021/4-14	0,5	ساعية	MERRA 2	Kg/M <sup>3</sup>	PM 2.5

المصدر: (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).

### جدول 2. مصفوفة المقارنة الزوجية لمخاطر العواصف الغبارية على الطرق.

2005	2011	2018	2007	2001	2015	2013	2008	2021	2003	2017	تاريخ العاصفة الغبارية
9,00	8,00	7,00	6,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	1	2017
8,00	7,00	6,00	5,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	1	1,00	2003
7,00	6,00	5,00	4,00	4,00	3,00	2,00	1,00	1	1,00	0,50	2021
6,00	5,00	4,00	3,00	3,00	2,00	1,00	1	1,00	0,50	0,33	2008
5,00	4,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1	1,00	0,50	0,33	0,25	2013
4,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	2015
4,00	3,00	2,00	1,00	1	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	2001
3,00	2,00	1,00	1	1,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	2007
2,00	1,00	1	1,00	0,50	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	2018
1,00	1	1,00	0,50	0,33	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	2011
1	1,00	0,50	0,33	0,25	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	2005

المصدر: الباحثة بالاعتماد على حاسبة التسلسل الهرمي (<https://bpmmsg.com/ahp/ahp>).

### جدول 3. الأهمية النسبية للعواصف الغبارية حسب مخاطرها على الطرق.

الأهمية النسبية	تاريخ العاصفة الغبارية	الأهمية النسبية	تاريخ العاصفة الغبارية
4,8	2001	24,6	2017
4,2	2007	19,7	2003
3	2018	15	2021
2,2	2011	11,1	2008
1,8	2005	8	2013
		5,6	2015

المصدر: الباحثة بالاعتماد على حاسبة التسلسل الهرمي (<https://bpmmsg.com/ahp/ahp>).



شكل 2. مخطط منهجية البحث.

#### 4. النتائج والمناقشة

##### أولاً: التحليل المكاني للعواصف الغبارية

تُعرف العواصف الغبارية بأنها الأحداث التي تنخفض فيها الرؤية إلى كم أو أقل نتيجة انتشار

الغبار، وبذلك تحاول الدراسة التركيز على أهم أحداث العواصف الرملية التي تعرضت لها المنطقة، والتي قل فيها مدى الرؤية عن 1 كم، والتي يترتب عليها آثار سلبية على حركة النقل بالطرق سواء من خلال كثافة الأتربة التي تتراكم على الطرق، أو من خلال

تدني الرؤية التي ينجم عنها حوادث النقل على الطرق. ومن أهم هذه العواصف عاصفة 2001 / 2 / 21 (Albaqami, 2019. p.44).

ومن خلال تتبع كثافة غبار هذه العاصفة وتحركاتها المكانية بداية من اليوم السابق وحتى اليوم التالي لهذا التاريخ فقد تراوح تركيز الغبار على مستوى المملكة بتاريخ (2001/2/20) بين 11,3 غرب محافظة تيماء بمنطقة تبوك إلى 190 ميكروجرام/م<sup>3</sup> حيث يقع مركز العاصفة شرق محافظة قرية العليا وشمال غرب محافظة النعيرية بمنطقة الشرقية، وفي اليوم التالي تحرك مركز العاصفة الغبارية شرق وجنوب المنطقة الشرقية حيث وصل الغبار بكثافة وسط محافظات الأحساء والعديد في المنطقة الشرقية ووسط محافظة الأفلاج والسليح في منطقة الرياض، وتراوح تركيز الغبار يوم (2001 / 2 / 21) بين 3,4 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة القريات شمال المملكة إلى 353 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شرق محافظة النعيرية وشمال الجبيل، وفي اليوم التالي للعاصفة بتاريخ (2001 / 2 / 22) تراوح تركيز الغبار بين 2,9 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة القريات إلى 463,4 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب محافظة الأحساء، وبالتالي ترحل مركز العاصفة الغبارية جنوباً، ليغطي الغبار الكثيف جنوب الأحساء، وجنوب غرب العديد، وشمال محافظة شروره، وغالبية محافظة السليح، وشرق الأفلاج. ودمج طبقات العاصفة الغبارية للأيام الثلاثة (شكل 3) يلاحظ تركيز الغبار الكثيف الناتج عن هذه العاصفة بالمنطقة الشرقية، وجنوب شرق منطقة الرياض، وشمال منطقة

نجران، أي في منطقة الربع الخالي حيث تتوافر مصادر الغبار، وتراوح متوسط تركيز الغبار للأيام الثلاثة بين 5,7 شمال المملكة إلى 249,9 ميكروجرام/م<sup>3</sup>.

بناءً على ذلك، يظهر شكل (4) تباين مستوى الرؤية الأفقية خلال الأيام الثلاثة على مستوى المملكة أثناء هذه العاصفة، ومما يؤكد ذلك تراوح متوسط مستوى الرؤية الأفقية بين 260 م في المنطقة الشرقية والرياض ونجران، وما قد يترتب على ذلك من تراكم الرمال وحوادث الطرق بهذه المناطق بسبب تدني مستوى الرؤية، ثم يرتفع متوسط مستوى الرؤية مع الاتجاه غرب وشمال غرب وشمال المملكة ليصل إلى أعلى مستوياته شمال وشمال منطقتي الجوف وتبوك. وعليه تبرز المنطقة التي تتصف بشدة مخاطر هذه العاصفة الغبارية على حركة النقل بالطرق، حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في المنطقة الشرقية وشرق وجنوب شرق الرياض وشمال منطقة نجران، وتبلغ أطوال الطرق ضمن هذا النطاق 36242,5 كم بنسبة 17,35٪، وتقع المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق ضمن مناطق شمال غرب وجنوب شرق الشرقية، وشرق الحدود الشمالية والقصيم، ووسط الرياض ونجران، وجنوب جازان، وتبلغ أطوال الطرق الواقعة ضمن المناطق التي تعاني من مخاطر معتدلة للغبار 58552,9 كم بنسبة 28,04٪، وتقع بقية الطرق ضمن المناطق التي لم تواجه مخاطر عاصفة 2001.

ومن أهم العواصف الغبارية التي تعرضت لها المملكة، كما ذكرت دراسة (Albaqami, 2019. p.44) عاصفة بتاريخ 26 / 3 / 2003، وبتتبع مسار هذه العاصفة وتغير تحركاتها مكانياً من تاريخ 25/3/2003 فقد تراوح تركيز الغبار الناتج عنها بين 13,9 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب محافظة تثليث بمنطقة عسير إلى 458 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب محافظة حفر الباطن شمال المنطقة الشرقية، ومن الملاحظ اتباع هذه العاصفة مسارها عام 2001 من حيث مكان نشأتها ومسار حركتها.

وفي اليوم التالي بتاريخ 26 / 3 / 2003 ترحل مركز العاصفة نحو شرق وجنوب المنطقة الشرقية وتراوح تركيز الغبار بين 19,8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في المنطقة التي تقع بين محافظات تثليث التابعة لمنطقة عسير ومحافظتي يدمه وثار، شمال غرب منطقة نجران إلى 690 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة العديـد بالمنطقة الشرقية. وفي اليوم التالي بتاريخ 27/3/2003 تحرك مركز العاصفة الغبارية جنوباً ليغطي الغبار الكثيف وسط محافظتي العديـد والأحساء وشرق محافظة الأفلاج وشمال السليل بمنطقة الرياض، وعليه فقد تراوح تركيز الغبار بين 12,7 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظات حبونا وثار وبدر الجنوب شمال غرب منطقة نجران إلى 621 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة الأحساء.

ومن خلال القيام بالتحليل المكاني لانتشار غبار هذه العاصفة خلال الثلاثة أيام يبين الشكل (5) تركيز الغبار الكثيف في المنطقة الشرقية وشرق منطقة

الرياض، حيث تتوفر مصادر نشأة العواصف الغبارية في منطقة الربع الخالي، وعليه فقد تراوح متوسط تركيز الغبار بين 14,8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق محافظة تثليث بمنطقة عسير إلى 457,8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة العديـد بالمنطقة الشرقية.

وتوضح نتائج تحليل توزيع مستوى الرؤية الأفقية وانعكاسات على حركة النقل (الشكل 6) تدني كبير لمستوى الرؤية الأفقية مقارنة بعاصفة عام 2003، فضلاً عن تباين مستوى الرؤية الأفقية أثناء حدوث هذه العاصفة، وعليه فقد تراوح متوسط مستوى الرؤية الأفقية لهذه العاصفة الغبارية بين 142م في أجزاء واسعة من المنطقة الشرقية وشرق منطقة الرياض، ويزداد متوسط مستوى الرؤية مع الاتجاه غرب وجنوب غرب المملكة، ليصل إلى أعلى مستوياته شمال غرب منطقة نجران وجنوب شرق عسير 4,4 كم. وتغطي المنطقة التي تواجه شدة مخاطر العاصفة الغبارية (الشكل 6) حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في المنطقة الشرقية وشرق الرياض وجنوب شرق الحدود الشمالية، وبلغت أطوال الطرق ضمن هذا النطاق 61311,2 كم بنسبة 29,36%، وتقع المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق جنوب شرق الحدود الشمالية، وشرق حائل والقصيم والرياض، وجنوب الشرقية، وشمال نجران، وغرب منطقة مكة، وتبلغ أطوال الطرق ضمن هذا النطاق 49438,3 كم بنسبة 23,68%، ولم تعاني بقية الطرق شمال ووسط وغرب وجنوب غرب المملكة من مخاطر هذه العاصفة.

ومن العواصف الغبارية التي تعرضت لها المملكة عاصفة (6 / 1 / 2005)، وبتحديد مراكز العاصفة وتحركاتها المكانية من يوم 2005/1/5 فقد تراوح تركيز الغبار الناتج عنها بين 2,5 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب محافظة رابغ بمنطقة مكة المكرمة إلى 144,6 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال شرق محافظة قرية العليا شمال المنطقة الشرقية. وتختلف هذه العاصفة عن العواصف الغبارية في تحركها بتاريخ 2005/1/6 بمسارين شمالي شرقي، وجنوبي شرقي، وتراوح تركيز الغبار بين 4,05 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق محافظة الفرع بمنطقة المدينة إلى 226,7 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق محافظة الخفجي بالمنطقة الشرقية، حيث تم توقيع مركز العاصفة، وغطى الغبار الكثيف هذه اليوم محافظات النعيرية والخفجي وحفر الباطن والجبيل ووسط محافظتي العديد والأحساء. وفي تاريخ 2005/1/7 تحرك مركز العاصفة الغبارية جنوباً ليغطي الغبار الكثيف محافظات الدمام وبقين والخبر وغالبية محافظة الأحساء وغرب محافظة العديد في المنطقة الشرقية وجنوب شرق محافظة الأفلاج وشرق وشمال شرق محافظة السليل بمنطقة الرياض، وتراوح تركيز الغبار بين 3,5 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق محافظة الفرع بمنطقة المدينة المنورة إلى 318,8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة الأحساء.

وتظهر نتائج التحليل المكاني لانتشار متوسط الغبار الناتج عن هذه العاصفة خلال الأيام الثلاثة (شكل 7) تركيز الغبار الكثيف في المنطقة الشرقية وجنوب شرق منطقة الرياض، حيث تتوافر مصادر

نشأة العواصف الغبارية، لاسيما الجفاف والحرارة العالية والرياح، تراوح متوسط تركيز الغبار بين 5,52 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب غرب منطقة المدينة المنورة شمال غرب منطقة مكة المكرمة إلى 183,1 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط المنطقة الشرقية.

وتوضح نتائج تحليل مستوى الرؤية الأفقية ارتفاع مستوى الرؤية مقارنة بعاصفة عام 2003، وتراوح متوسط مستوى الرؤية بين 354م في المنطقة الشرقية وجنوب شرق منطقة الرياض، ويزداد مستوى الرؤية غرباً ليصل إلى أعلى مستوياته 11,75 كم جنوب غرب منطقة المدينة المنورة. ويبين شكل (8) المنطقة التي تشتت فيها آثار العاصفة الغبارية على حركة النقل بالطرق، حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في المنطقة الشرقية وجنوب شرق الرياض، وتبلغ أطوال الطرق الواقعة ضمن المناطق التي تعاني من شدة مخاطر العاصفة الغبارية 17456,5 كم بنسبة 8,36%، تقع المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق في الحدود الشمالية والقصيم والرياض والشرقية ونجران، وتبلغ أطوال الطرق الواقعة ضمن المناطق التي تعاني من مخاطر معتدلة للغبار 22316,7 كم بنسبة 10,68%، وتتصف بقية المناطق بمخاطر منخفضة للغبار على الطرق وسط وغرب وجنوب وجنوب شرق المملكة، وتقع بقية الطرق ضمن المناطق التي لم تعاني من مخاطر العاصفة الغبارية.

ومن أحداث العواصف الغبارية في المملكة عاصفة (2 / 3 / 2007)، وتؤكد نتائج تتبع مسار

العاصفة من اليوم السابق بتاريخ 2007/3/1 فقد تراوح تركيز غبارها بين 10,8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب غرب محافظة تيماء بمنطقة تبوك إلى 308,24 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة حفر الباطن شمال شرق المملكة، وغطى الغبار الكثيف شمال المنطقة الشرقية وشرق منطقة الحدود الشمالية. وتحرك الغبار الناتج عن هذه العاصفة بتاريخ 2007/3/2 جنوب المنطقة الشرقية ليبرز مركزها وسط محافظة الأحساء، وتراوح تركيز الغبار في الغلاف الجوي بين 2,85 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في محافظة حقل شمال غرب تبوك إلى 333,7 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق محافظة الأحساء، وغطى الغبار الكثيف المنطقة الشرقية من الشمال وحتى شمال منطقة نجران وجنوب شرق الرياض. وفي اليوم الثالث بتاريخ 2007/3/3 ترحل مركز العاصفة الغبارية جنوباً ليبرز الغبار جنوب المملكة، وتراوح تركيز الغبار بين 0,49 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب محافظة حقل بمنطقة تبوك إلى 306 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق منطقة نجران.

بناءً على ذلك، تظهر نتائج تحليل توزيع غبار هذه العاصفة (شكل 9) تركيز كثيف للغبار جنوب وشمال الشرقية وجنوب شرق الرياض وشرق وشمال شرق منطقة نجران، وتراوح متوسط تركيز الغبار للأيام الثلاثة بين 6,97 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب المملكة إلى 237,69 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق المملكة بمنطقتي الشرقية ونجران.

وتبين نتائج تحديد التباين المكاني لمستويات الرؤية الأفقية بفعل غبار هذه العاصفة (شكل 10)

تراوح متوسط مستوى الرؤية الأفقية لهذه العاصفة الغبارية بين 273 م في أجزاء واسعة من المنطقة الشرقية وشرق منطقة نجران وجنوب شرق منطقة الرياض، ويزداد متوسط مستوى الرؤية بالاتجاه شمال وشمال غرب المملكة ليصل إلى أعلى مستوياته 9,3 كم شمال غرب منطقة تبوك. وبذلك تقع المنطقة التي عانت طرقتها من مخاطر العاصفة الغبارية، حيث قل مدى الرؤية عن 0,5 كم بغالبية المنطقة الشرقية وجنوب شرق الرياض وشرق نجران وجنوب شرق الحدود الشمالية، وتبلغ أطوال الطرق الواقعة ضمن المناطق التي تعاني من شدة مخاطر العاصفة الغبارية 35684,88 كم بنسبة 17,1٪، وتمتد المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق من الحدود الشمالية عبر حائل والقصيم ووسط الرياض وغرب نجران وشرق مكة وعسير وجازان، وبلغت أطوال الطرق التي تتسم بمخاطر معتدلة للغبار 72171,80 كم بنسبة 34,57٪، وتقع بقية الطرق بمناطق بعيدة عن مخاطر غبار هذه العاصفة وسط وغرب وشمال المملكة.

وتعتبر عاصفة (2008/2/20) من العواصف الكبرى التي تعرضت لها المملكة، وتبين نتائج مراقبة هذا العاصفة وتغير مسار حركة بداية من تاريخ 2008/2/19 إذ تراوح تركيز غبار هذه العاصفة بين 8,9 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة خباش جنوب منطقة نجران إلى 397,2 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب الخفجي وشرق حفر الباطن شمال المنطقة الشرقية، وبرز الغبار الكثيف في محافظات شمال الشرقية. وتحرك

غبار العاصفة في اليوم التالي نحو جنوب ووسط الشرقية، وتراوح تركيز الغبار بين 5,33 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال شرق محافظة خيبر بالمدينة إلى 537 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب العديد وشمال شرق الأحساء، وظهر الغبار الكثيف بالجبل والنعيرية ووسط العديد والأحساء وشرق الخرج والسليح والأفلاج. وترشح مركز العاصفة بتاريخ 2008/2/21 جنوب العديد والأحساء، وتراوح تركيز الغبار بين 8,9 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في عرعر شمال المملكة إلى 629,39 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب العديد وشرق الأحساء. وتظهر نتائج تحليل غبار العاصفة (شكل 11) تركيز شديد للغبار وسط الشرقية، وتراوح متوسط تركيز غبار الأيام الثلاثة بين 12,54 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب المملكة إلى 395,08 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شرق المملكة.

وتوضح نتائج تحليل مستوى الرؤية الأفقية لهذه العاصفة تراوح المتوسط بين 164م في المنطقة الشرقية، ويزداد مدى الرؤية بالاتجاه شمال غرب المملكة ليصل إلى 5,17 كم شمال غرب منطقة تبوك. وعليه تغطي المنطقة التي واجهت طرقها مخاطر شديدة للغبار (شكل 12) حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم بالمنطقة الشرقية وشرق نجران والرياض وغرب مكة، وبلغت أطوال طرق هذا النطاق 70460,48 كم بنسبة 33,75٪، وتقع المنطقة التي تتصف باعتدال خطر غبار العاصفة على الطرق شمال غرب الشرقية وشرق الحدود الشمالية وفي حائل والقصيم ووسط غرب الرياض وغرب نجران وجنوب

مكة وعسير والباحة وجزان، ويضم هذا النطاق 69545,5 كم من الطرق بنسبة 33,3٪ من إجمالي أطوال الطرق، وتقع بقية الطرق بمناطق بعيدة عن خطر غبار هذه العاصفة وسط وشمال وشمال غرب المملكة.

وتعتبر عاصفة (26 / 3 / 2011) من أخطر العواصف الغبارية التي تعرضت لها منطقة الدراسة، وتوصلت نتائج التحقق من بداية نشأة هذه العاصفة بداية من اليوم السابق بتاريخ 2011/3/25 تراوح تركيز الغبار الناتج عنها بين 3,7 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب محافظة طبرجل بمنطقة الجوف إلى 274,64 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة النعيرية شمال المنطقة الشرقية، ويلاحظ انتشار الغبار الكثيف من شمال حفر الباطن حتى وسط الأحساء. وتحركت العاصفة في اليوم التالي نحو الجنوب وتراوح تركيز الغبار بتاريخ 26 / 3 / 2011 بين 3,93 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة الحقل شمال غرب منطقة تبوك إلى 418,49 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب العديد شرق الأحساء، وانتشر الغبار بكثافة من بقيق والدمام شمال حتى جنوب الأحساء وشرق السليح والأفلاج. وفي اليوم الثالث تحرك مركز العاصفة وكثافة الغبار نحو الجنوب ليصل إلى جنوب منطقة نجران، وتراوح تركيز الغبار في الغلاف الجوي بين 7,6 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في محافظة سكاكا بمنطقة الجوف إلى 342,3 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة شروره. وتبين نتائج تحليل توزيع الغبار الناتج عن هذه العاصفة خلال الأيام الثلاثة (شكل 13) شدة تركيز الغبار في المنطقة الشرقية وجنوب

شرق الرياض، وتراوح متوسط تركيز الغبار بين 6,24 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب المملكة إلى 244,15 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شرق المملكة.

وتظهر نتائج تحليل مستوى الرؤية الأفقية لهذه العاصفة تلوح المتوسط بين 266 م في المنطقة الشرقية وجذب شبق مذطمة الرياض، إلى 10,4 كم شمال غرب بمذطمتي تبوك والجوف. وتقع المذطمة التي عازت طرقها من مخاطر غبار هذه العاصفة (شكل 14) حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في المنطقة الشرقية ونجدان والرياح، وبلغت أطوال الاطرق ضمن هذا النطاق 27682,7 كم بنسبة 13,25٪، وتمتد المذطمة التي تتصف بمخاطر معتدلة للعاصفة الغبارية على الاطرق من شمال غرب الشرقية وجذب شبق الحدود الشمالية باتجاه وسط وجذب غرب الرياض وشبق وغرب مكة وشبق عسيدر والباحة وجازان، ويبلغ طول الاطرق بهذا النطاق نحو 54998,73 كم من الاطرق بنسبة 34,26٪ من إجمالي الأطوال الاطرق، وتقع بقية الاطرق بعيدة عن خطر الغبار جذب غرب ووسط وعرب وشمال المملكة.

وتأتي العاصفة التي تعرضت لها منطقة الدراسة بتاريخ (8/ 2013/5) من ضمن العواصف الغبارية الكبرى، وتوصلت نتائج التحقق من موقع نشأة هذه العاصفة في اليوم السابق بتاريخ 2013/5/7 تراوح تركيز الغبار بين 16,55 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة تبوك إلى 205,84 ميكروجرام/م<sup>3</sup> حيث يقع مركز العاصفة وسط محافظة النعيرية شمال المنطقة الشرقية، وغطي الغبار المنطقة الشرقية من الشمال

إلى الجنوب. وتراوح تركيز الغبار في اليوم التالي بين 16,57 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال منطقة تبوك إلى 211,06 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة النعيرية، واستقر مركز العاصفة وانتشار الغبار في المكان نفسه. وتراوح تركيز الغبار في الغلاف الجوي بتاريخ 2013/5/9 بين 17,55 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال منطقة تبوك إلى 214,083 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط النعيرية شمال المنطقة الشرقية، وبالتالي لم يتغير مركز هذه العاصفة وانتشار غبارها. وتوصلت نتائج تحليل كثافة غبار هذه العاصفة في الأيام الثلاثة (شكل 15) امتداد المنطقة التي غطيت بالغبار شرق وجنوب شرق المملكة، وتراوح متوسط تركيز الغبار بين 15,23 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمنطقة تبوك شمال غرب المملكة إلى 215,48 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في المنطقة الشرقية.

وتوضح نتائج تحليل توزيع الرؤية الأفقية الناتجة عن هذه العاصفة وآثارها على الطرق تراوح متوسط الرؤية بين 301م في الشرقية، إلى 4,26 كم شمال ووسط وجنوب تبوك. وبالتالي تقع المنطقة التي واجهت طرقها مخاطر غبار هذه العاصفة (شكل 16) حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في الشرقية وشرق الرياض، وبلغت أطوال الطرق 30430,1 كم بنسبة 14,58٪، وتغطي المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق جنوب شرق ووسط المملكة بين منطقتي الحدود الشمالية شمالاً ونجران جنوباً، ويضم هذه النطاق 58382,56 كم من الطرق بنسبة 27,97٪ من إجمالي أطوالها، وتقع بقية الطرق بمناطق بعيدة عن خطر غبار هذه العاصفة.

وتعد عاصفة (2 / 2015/4) من ضمن العواصف الغبارية المهمة التي أثرت على الطرق، وعليه تؤكد نتائج تحليل تغير موقعها وتتبع مسارها من تاريخ 2015/4/1 تراوح تركيز الغبار بين 12,14 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة ثار جنوب محافظة يدمه في نجران إلى 366.55 ميكروجرام/م<sup>3</sup> حيث يقع مركز العاصفة جنوب النعيرية بالمنطقة الشرقية، وغطي الغبار الكثيف شمال ووسط الشرقية وشرق الرياض. وفي اليوم التالي تحرك الغبار الكثيف جنوب شرق المملكة وتراوح تركزه بين 6,2 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال دومة الجندل بمنطقة الجوف إلى 568,97 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب العيديد. وفي تاريخ 2015/4/3 انتقل مركز العاصفة الغبارية لمنطقة جازان وتراوح تركيز الغبار بين 4,73 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في محافظة ضباء شمال غرب منطقة تبوك إلى 347 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة بيش غرب جازان. وبذلك تظهر نتائج تحليل كثافة غبار العاصفة (شكل 17) خلال الأيام الثلاثة امتداد انتشار الغبار بكثافة شرق وجنوب شرق وجنوب غرب المملكة، ليتراوح متوسط تركزه بين 10,14 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال المملكة إلى 286,81 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في المنطقة الشرقية.

بناءً على ذلك تظهر نتائج تحليل توزيع الرؤية الأفقية الناتجة عن العاصفة وما يترتب عليها من آثار على الطرق، فقد تراوح متوسط الرؤية بين 226 م شرق المملكة، إلى 6,4 كم شمال منطقتي الجوف والحدود الشمالية. وبذلك تغطي المنطقة التي واجهت طرقها مخاطر بسبب كثافة الغبار وتدني الرؤية عن

0,5 كم (شكل 18) المنطقة الشرقية وشرق منطقتي نجران والرياض وغالبية منطقة جازان، وبلغت أطوال الطرق بهذا النطاق 31650,14 كم بنسبة 15,16%. وتمتد المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على طرقها من شمال شرق إلى وسط وجنوب وجنوب غرب وغرب مكة المكرمة والمدينة المنورة وجنوب غرب تبوك، ويقع ضمن هذه النطاق 81153,05 كم من الطرق بنسبة 38,87% من إجمالي أطوالها، وتقع بقية الطرق عن خطر غبار هذه العاصفة وسط وجنوب غرب شمال المملكة.

وتعرضت المملكة لعاصفة قوية بتاريخ (2017/3/20)، وعليه تظهر نتائج تحليل نشأة هذه العاصفة وتحركاتها بداية من تاريخ 2017/3/19 حيث انتشر الغبار بكثافة شمال شرق المملكة وغربها في المنطقة الساحلية المحاذية للبحر الأحمر بمنطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة وتبوك، وتراوح تركيز الغبار بين 14,4 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمحافظة طريب منطقة عسير إلى 387,45 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط محافظة النعيرية في المنطقة الشرقية. وفي اليوم التالي اختفى الغبار الكثيف من السواحل الغربية وانتشر بكثافة في محافظتي الأحساء والعيديد وصولاً إلى جنوب محافظة الخفجي شمالاً، وتراوح تركيز الغبار بين 5,7 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب محافظة القريات بمنطقة الجوف إلى 510,38 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب محافظة العيديد في الشرقية. وتزحزح مركز العاصفة جنوب المملكة وتراوح تركيز الغبار في الجو بتاريخ 2017/3/21 بين 3.8 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة

طريف إلى 400 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شرق محافظة شروره. وتوضح نتائج تحليل كثافة غبار العاصفة في الأيام الثلاثة (شكل 19) انتشار الغبار الكثيف شرق وجنوب شرق وغرب المملكة، وتراوح متوسط تركيز الغبار بين 13,11 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمنطقة تبوك شمال غرب المملكة إلى 304,68 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في المنطقة الشرقية.

وتبين نتائج تحليل توزيع الرؤية الأفقية لهذه العاصفة وأثارها على الطرق تراوح مدى الرؤية بين 213م في الشرقية، إلى 4,95 كم شمال غرب تبوك. وتقع المنطقة التي واجهت طرقها شدة مخاطر الغبار (شكل 20) حيث يقل مدى الرؤية عن 0,5 كم في المنطقة الشرقية وشرق نجران ووسط منطقة الرياض، وبلغت أطوال الطرق بهذا النطاق 60237,43 كم بنسبة 28,85%.

وتظهر المنطقة التي تتسم بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق شمال شرق ووسط وجنوب وجنوب غرب وغرب المملكة، ويتضمن هذه النطاق 84554,45 كم من الطرق بنسبة 40,5% من إجمالي أطوالها، وتقع بقية الطرق بمناطق بعيدة عن مخاطر غبار هذه العاصفة جنوب غرب ووسط وشمال المملكة.

وتعد عاصفة (2018/4/23) ضمن العواصف التي أثرت في الرؤية الأفقية والطرق، حيث أكدت نتائج التحليل المكاني لهذه العاصفة وتغيراتها المكانية بداية بتاريخ 2018/4/22 حيث تركز الغبار الكثيف شمال شرق المملكة وحتى وسط محافظتي

العديد والأحساء، وتراوح تركيز الغبار بين 9,44 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب محافظة القريات إلى 329,08 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال محافظة النعيرية جنوب الخفجي. وفي اليوم التالي استمر كثافة الغبار في المنطقة نفسها، مع تراوح تركيز الغبار بين 6,06 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب محافظة طبرجل بمنطقة الجوف إلى 336,48 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق النعيرية شمال غرب بقيق. وتحركت العاصفة في اليوم الثالث بتاريخ 2018/4/24 نحو الجنوب حيث ظهر الغبار الكثيف في المنطقة الواقعة بين القطيف شمالاً إلى السليل جنوباً، وتراوح تركيز الغبار بين 4,42 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب محافظة يدمة بمنطقة نجران إلى 394,25 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب العديد شرق الدمام. وعليه توصلت نتائج تحليل كثافة غبار هذه العاصفة في الأيام الثلاثة (شكل 21) تغطية الغبار الكثيف في المنطقة الواقعة بين محافظتي حفر الباطن والخفجي شمالاً إلى المنطقة التي تقع جنوب الأحساء والعديد، وتمتد حتى المنطقة الوسطى للرياض، وتراوح متوسط تركيز الغبار في الغلاف الجوي بين 8,49 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمنطقة الجوف شمال المملكة إلى 258,77 ميكروجرام/م<sup>3</sup> في المنطقة الشرقية.

وتؤكد نتائج تحديد مدى تأثير هذه العاصفة على مستويات الرؤية الأفقية وانعكاساتها على الطرق تراوح مدى الرؤية بين 251م شرق المملكة، إلى 7,64 كم شمال غرب وجنوب غرب المملكة. وعليه فقد وقعت المنطقة التي واجهت طرقها مخاطر غبار هذه العاصفة (شكل 22) بمناطق تدني الرؤية عن

0,5 كم في الشرقية وشرق منطقة الرياض، وبلغت أطوال طرق هذا النطاق 33707.45 كم بنسبة 16.14٪، وتظهر المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للغبار على حركة النقل بالطرق وسط وجنوب شرق المملكة، ويضم هذه النطاق 69763,50 كم من الطرق بنسبة 33,42٪ من إجمالي أطوال الطرق، وتقع بقية الطرق في مناطق بعيدة عن خطر الغبار الناتج عن هذه العاصفة غرب وجنوب غرب وشمال المملكة.

ومن العواصف التي تعرضت لها منطقة الدراسة بتاريخ (2021/4/15)، وعليه فقد توصلت نتائج كشف مركز العاصفة وتحركاتها بداية من تاريخ 2021/4/14 حيث انتشر الغبار بكثافة على شكل مثلث قاعدته تمتد من حفر الباطن إلى الأحساء وراسه جنوب غرب منطقة القصيم شمال غرب منطقة الرياض، وتراوح تركيز الغبار بين 9,12 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب غرب محافظة ضياء بمنطقة تبوك إلى شرق محافظة حفر الباطن. وتحرك غبار العاصفة الكثيف في اليوم التالي جنوباً ليصل إلى جنوب منطقة الرياض، وتراوح تركيز الغبار بين 11 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال غرب محافظة طريف شمال منطقة الجوف إلى 272,65 ميكروجرام/م<sup>3</sup> غرب الأحساء. وفي اليوم الثالث بتاريخ 2021/4/16 تحرك الغبار باتجاه جنوبي شرقي، وتراوح تركزه بين 23,86 ميكروجرام/م<sup>3</sup> شمال شرق عرعر بالحدود الشمالية إلى 259,18 ميكروجرام/م<sup>3</sup> جنوب شرق الأحساء. وتظهر نتائج

تحليل كثافة غبار هذه العاصفة للأيام الثلاثة شكل (23) انتشار الغبار الكثيف شرق المملكة، وتراوح متوسط تركيز الغبار بين 17,73 ميكروجرام/م<sup>3</sup> بمنطقة الحدود الشمالية شمال المملكة إلى 204,25 ميكروجرام/م<sup>3</sup> وسط المنطقة الشرقية.

وتبين نتائج تحديد أثر الغبار في مستويات الرؤية الأفقية وما يترتب عليه من انعكاسات على حركة النقل في الطرق تراوح متوسط الرؤية بين 318م في المنطقة الشرقية، إلى 3,66 كم شمال وشمال غرب المملكة. وتقع المنطقة التي واجهت طرقها مخاطر (شكل 24) بمناطق تدني مدى الرؤية عن 0,5 كم في الشرقية وجنوب شرق الرياض، ويضم هذا النطاق 15279,56 كم من أطوال الطرق بنسبة 7,32٪، وتغطي المنطقة التي تتسم بمخاطر معتدلة للغبار على الطرق شرق وجنوب شرق ووسط المملكة، وتضم 106161,52 كم من الطرق بنسبة 50,84٪ من إجمالي أطوال الطرق، وتبتعد بقية الطرق عن مخاطر هذه العاصفة.

#### ثانياً : تقييم مخاطر العواصف الغبارية على الطرق

قيمت الدراسة مخاطر العواصف الغبارية على الطرق باستخدام طريقة التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process) ونظم المعلومات الجغرافية، فبعد تصنيف الطبقات المعلوماتية للرؤية الأفقية أثناء كل عاصفة، كما سبق، أعطت الدراسة أوزاناً لكل فئة حسب درجة المخاطر الناتجة عن العواصف الغبارية كما يبين الجدول (4)، فكلما زاد انتشار أو تركيز الغبار قلت الرؤية الأفقية وزادت مخاطر حركة السير على

الطرق، وكلما قل تركيز الغبار زاد مدى الرؤية الأفقية، وقل مخاطر العاصفة الغبارية على حركة السير في الطرق. وبعدها قامت الدراسة باستخراج الأهمية النسبية لمخاطر كل عاصفة غبارية تعرضت لها منطقة الدراسة على حركة النقل في الطرق باستخدام حاسبة التحليل الهرمي المتاحة مباشرة على الإنترنت، بدليل المتوسط المكاني لمدى الرؤية الأفقية لكل عاصفة، فانخفاض المتوسط المكاني للرؤية الأفقية على مستوى المملكة تعني زيادة المخاطر الناتجة عن هذه العاصفة الغبارية، والعكس كلما زادت المسافة الأفقية للرؤية وقت حدوث العاصفة الغبارية قل مخاطرها على الطرق وحركة السير فيها أثناء هبوب هذه العواصف.

وتمثلت الخطوة الأخيرة لتقييم مخاطر العواصف الغبارية على الطرق البرية في المملكة بجبر الطبقات المعلوماتية لمستويات الرؤية الأفقية أثناء حدوث العواصف الغبارية حسب أوزانها المبينة في الجدول السابق، وتمت عملية جبر هذه الطبقات باستخدام الحاسبة الخلوية (Raster Calculator) ببرنامج (Arc GIS)، لإنتاج خريطة تصنف المملكة حسب مخاطر العواصف الغبارية على حركة النقل البري في الطرق، وبما يساعد الجهات المختصة في وزارة النقل على اتخاذ الإجراءات المناسبة، والتقليل من الخسائر البشرية لحوادث السير في الطرقات أثناء هبوب العواصف الغبارية، وستساعد هذه الخريطة كل سائقي المركبات على معرفة الطرق التي ينبغي عليهم أخذ الحيطة والحذر أثناء قيادة المركبات، لاسيما وأن

الدراسة قد اعتمدت في إنتاج هذه الخريطة على إحدى عشرة عاصفة غبارية وأكثرها من حيث تركيز الغبار وتدني الرؤية الأفقية والتي تعرضت لها منطقة الدراسة خلال أكثر من عشرين عام في المدة بين 2000 - 2022. وبذلك فقد بلغت نسبة مخاطر العواصف الغبارية على الطرق في المملكة بين 20% في المناطق التي لا تعاني فيها الطرق من مخاطر العواصف الغبارية، إلى 100% في المناطق التي تعاني من شدة مخاطر العواصف الغبارية على حركة السير في الطرق البرية.

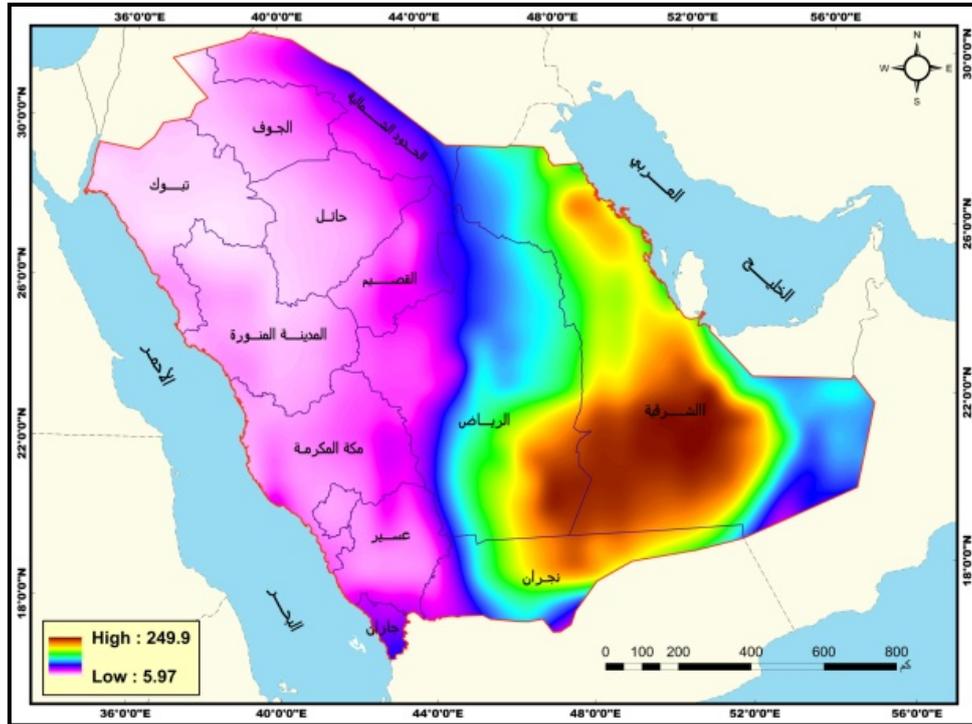
وبذلك توضح نتائج شكل (25) وقوع المنطقة التي تعاني طرقها من مخاطر شديدة جدا للعواصف الغبارية تتجاوز 82% في غالبية المنطقة الشرقية وجنوب شرق وشمال شرق منطقة الرياض، بمساحة بلغت 546512,8 كم<sup>2</sup>، بنسبة 28,05% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبلغ أطوال الطرق التي تعاني من شدة مخاطر الغبار 32349,55 كم بنسبة 15,49% من إجمالي الطرق. وتظهر المنطقة التي تتصف بمخاطر شديد للعواصف الغبارية حيث تتراوح نسبة خطر الغبار على الطرق بين 82 - 62% شمال وجنوب المنطقة الشرقية وجنوب شرق الحدود الشمالية ووسط وجنوب منطقة الرياض وشرق نجران، بمساحة بلغت 204061 كم<sup>2</sup>، بنسبة 10,47% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبلغ أطوال الطرق التي تعاني من شدة مخاطر الغبار 36589,5 كم بنسبة 17,13% من إجمالي الطرق. وتمتد المنطقة التي تتصف بمخاطر معتدلة للعواصف الغبارية على الطرق حيث

تتراوح نسبة خطر الغبار بين 62 - 42% من غرب منطقة الحدود الشمالية وشرقي حائل والقصيم ووسط الرياض ونجران وشمال شرق عسير وجنوب شرق مكة المكرمة وغربها، بمساحة بلغت 304555,5 كم<sup>2</sup>، بنسبة 15,62% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبلغ أطوال طرق هذا النطاق 45498,14 كم بنسبة 21,79% من إجمالي الطرق.

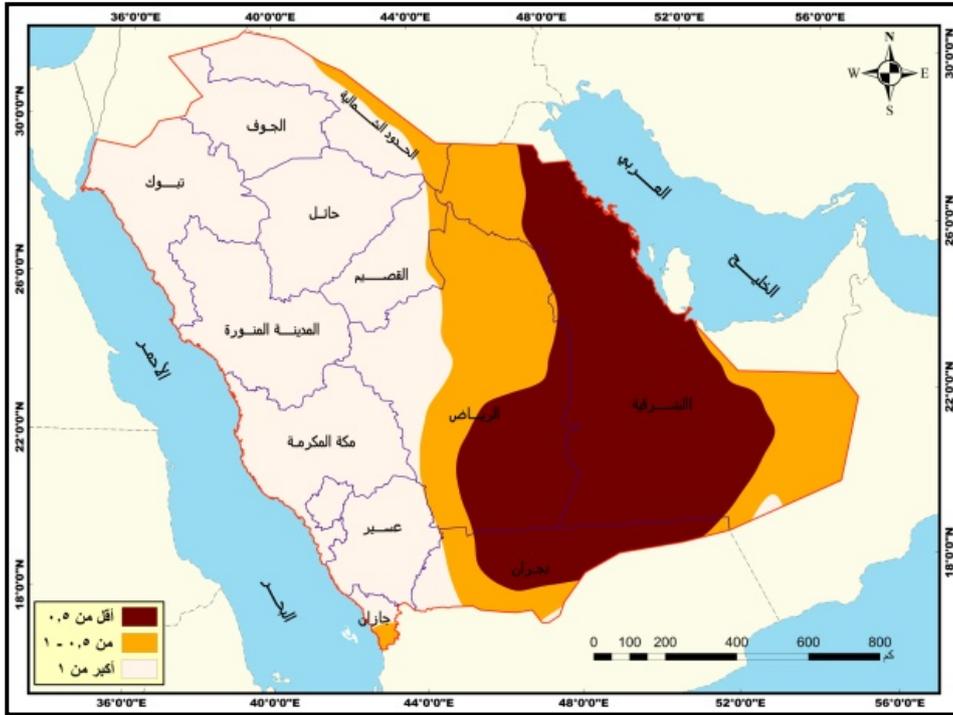
وتقع المنطقة التي تتصف بضعف مخاطر العواصف الغبارية حيث تتراوح نسبة خطر الغبار على الطرق بين 42 - 22% وسط وغرب الحدود الشمالية، وشرق الجوف، وشرق وجنوب حائل، ووسط وغرب القصيم، وغرب الرياض، وجنوب ووسط المدينة المنورة، وجنوب غرب تبوك، ووسط مكة المكرمة، وفي الباحة، وغرب وجنوب عسير، وجنوب غرب

نجران، وفي جازان، بمساحة بلغت 551774,3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 28,22% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبلغ أطوال الطرق التي تعاني من شدة مخاطر الغبار 66376,3 كم بنسبة 31,79% من إجمالي الطرق.

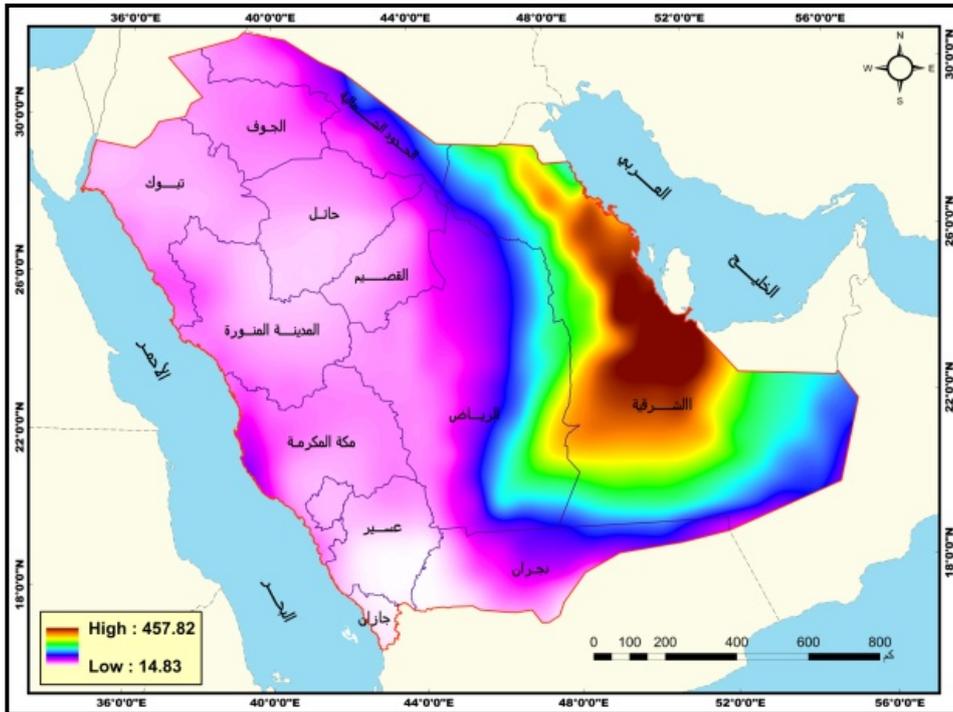
وتغطي المنطقة التي تتصف بمخاطر ضعيفة جدا للعواصف الغبارية على الطرق حيث تقل نسبة خطر الغبار عن 22% شمال غرب الحدود الشمالية ووسط وغرب الجوف وحائل وشمال شرق المدينة المنورة ووسط وشمال تبوك، بمساحة بلغت 342098 كم<sup>2</sup>، بنسبة 17,55% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبلغ أطوال الطرق 27984,32 كم بنسبة 13,4% من إجمالي الطرق.



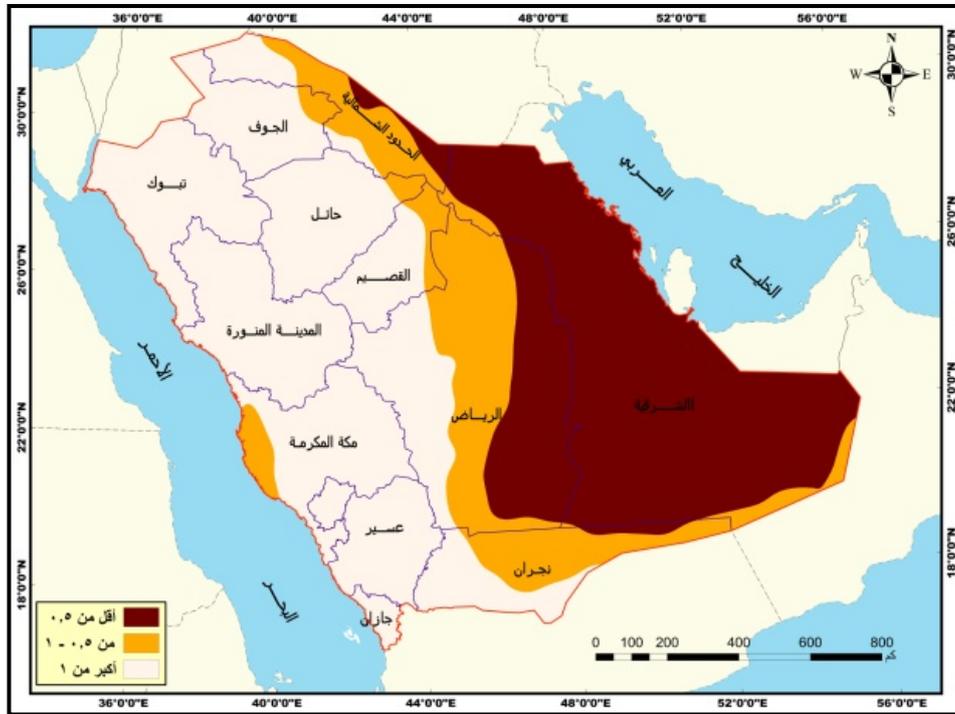
شكل 3. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (20-2-2001).



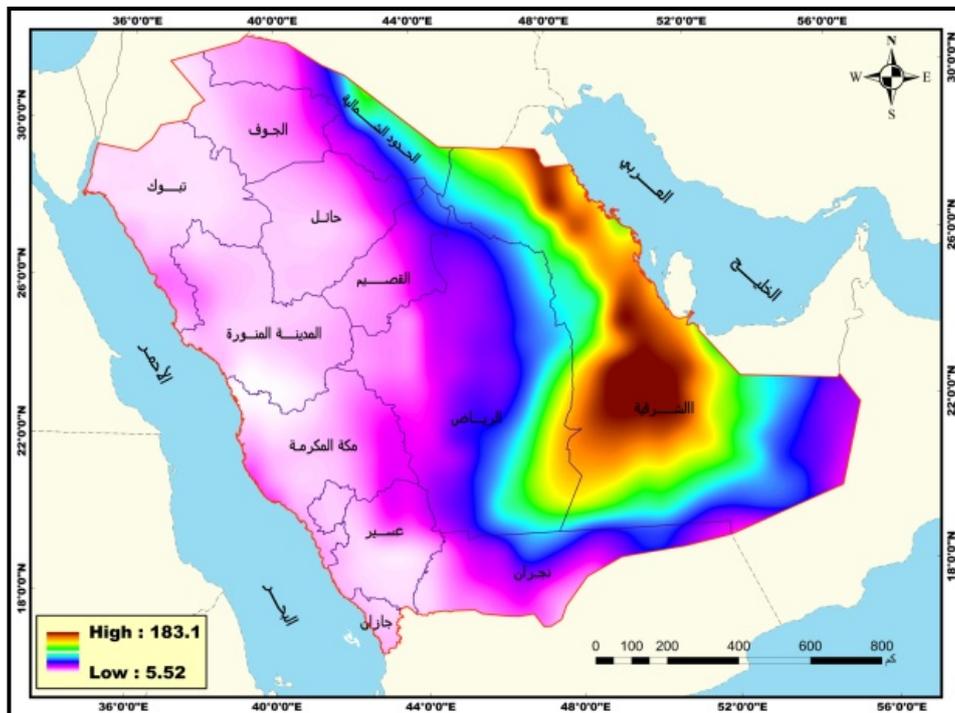
شكل 4. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (20-2-2001).



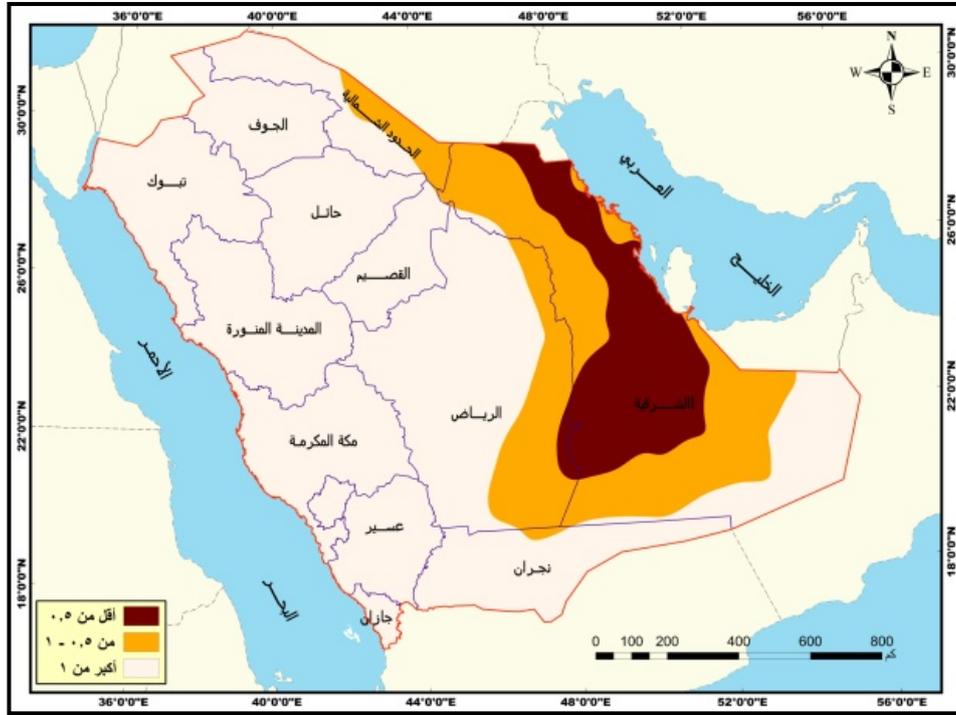
شكل 5. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (26-3-2003).



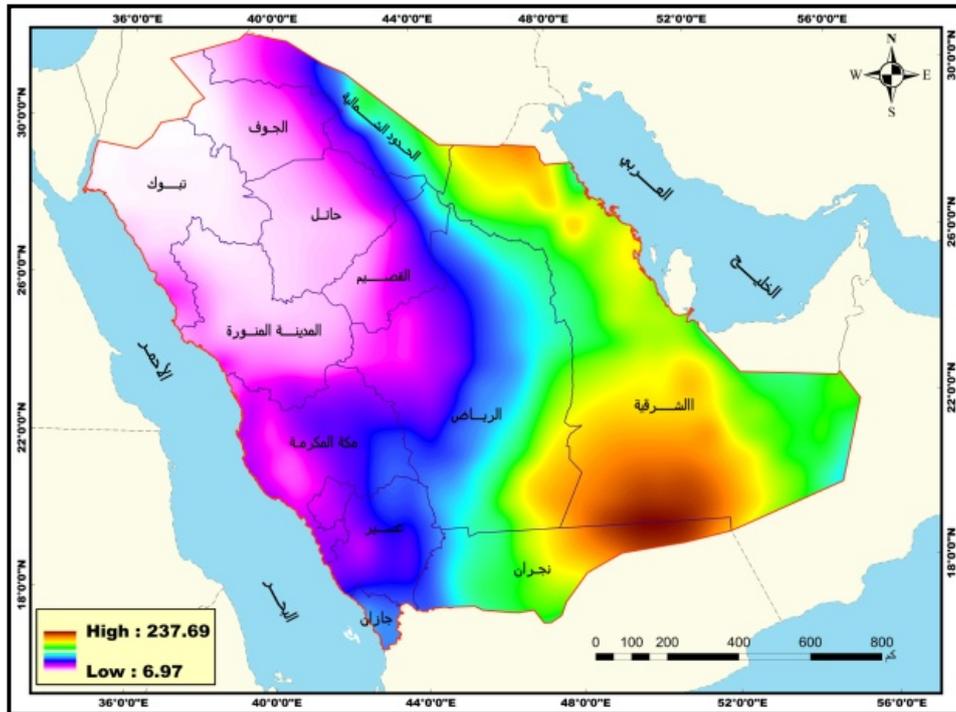
شكل 6. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (26-3-2003).



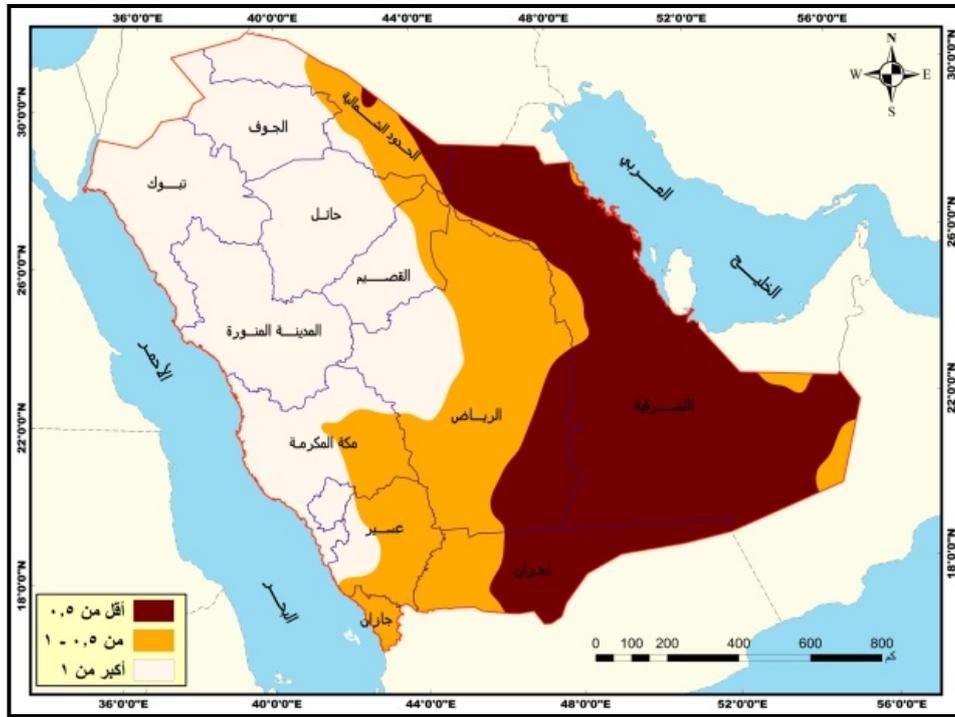
شكل 7. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (6-1-2005).



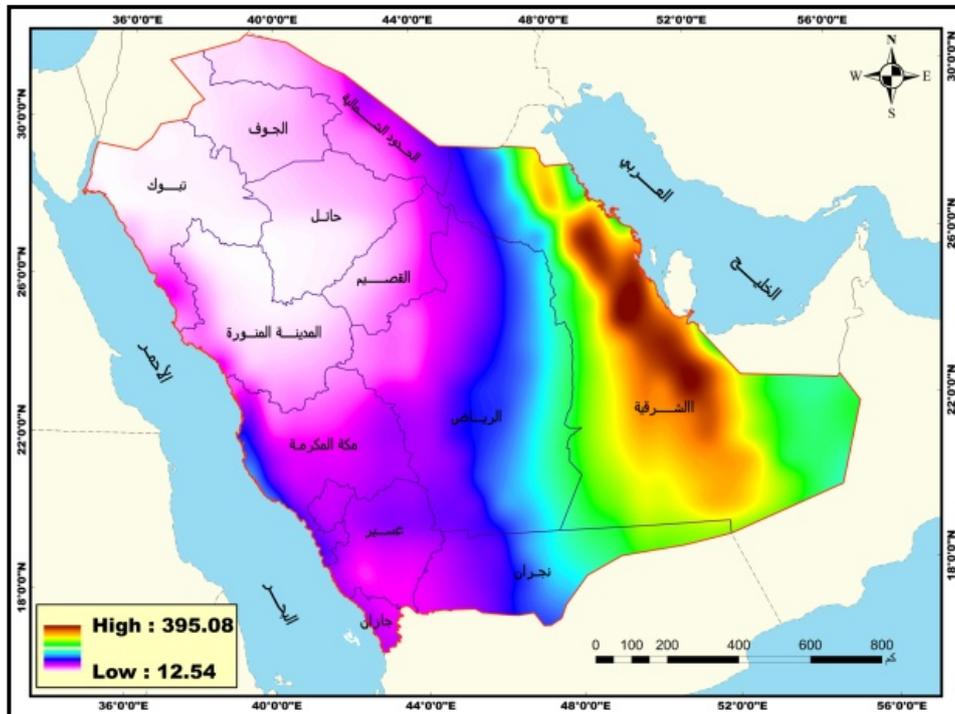
شكل 8. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (6-1-2005).



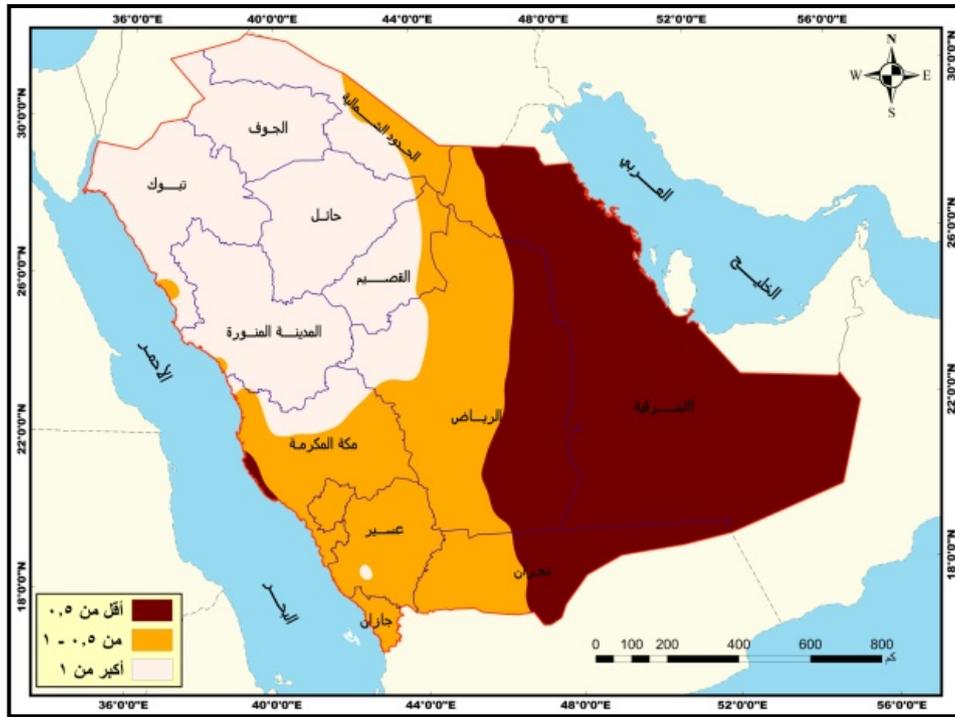
شكل 9. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (2-3-2007).



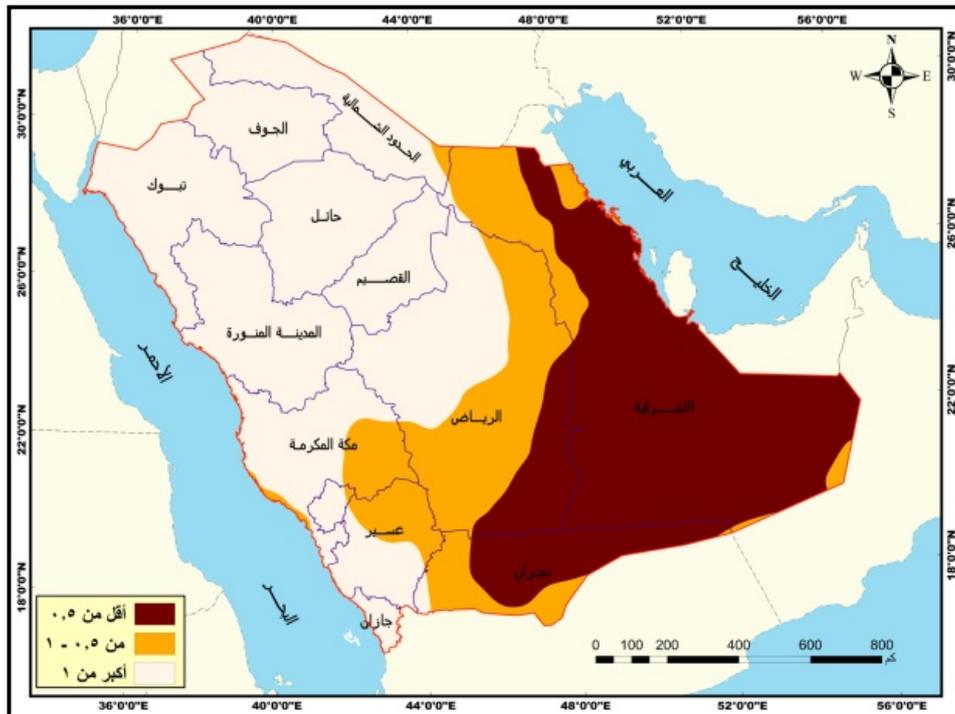
شكل 10. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (2-3-2007).



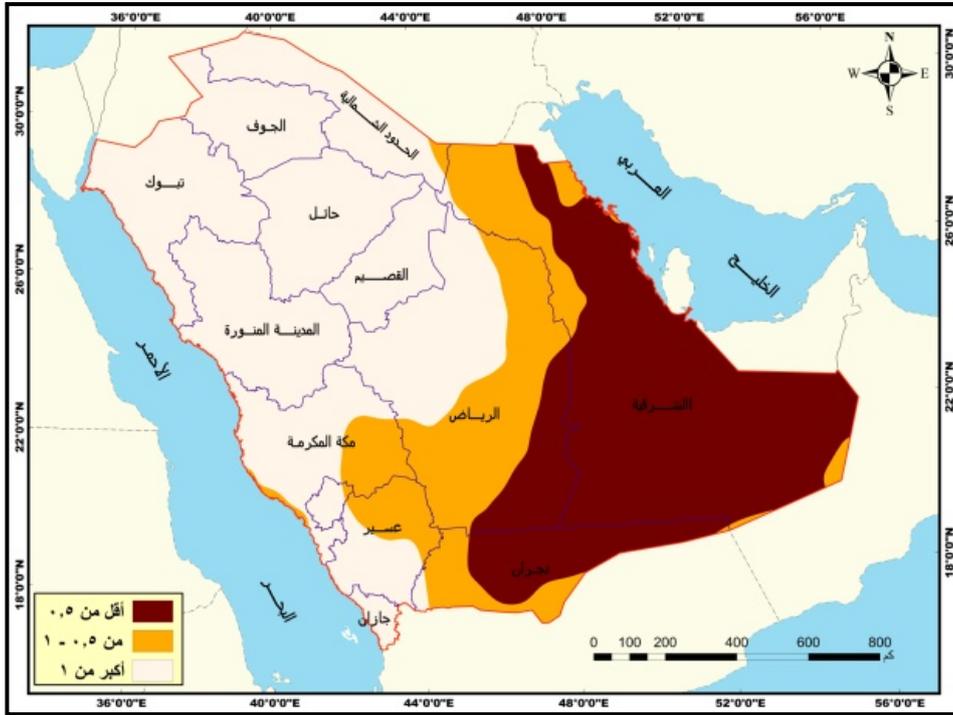
شكل 11. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (2-20-2008).



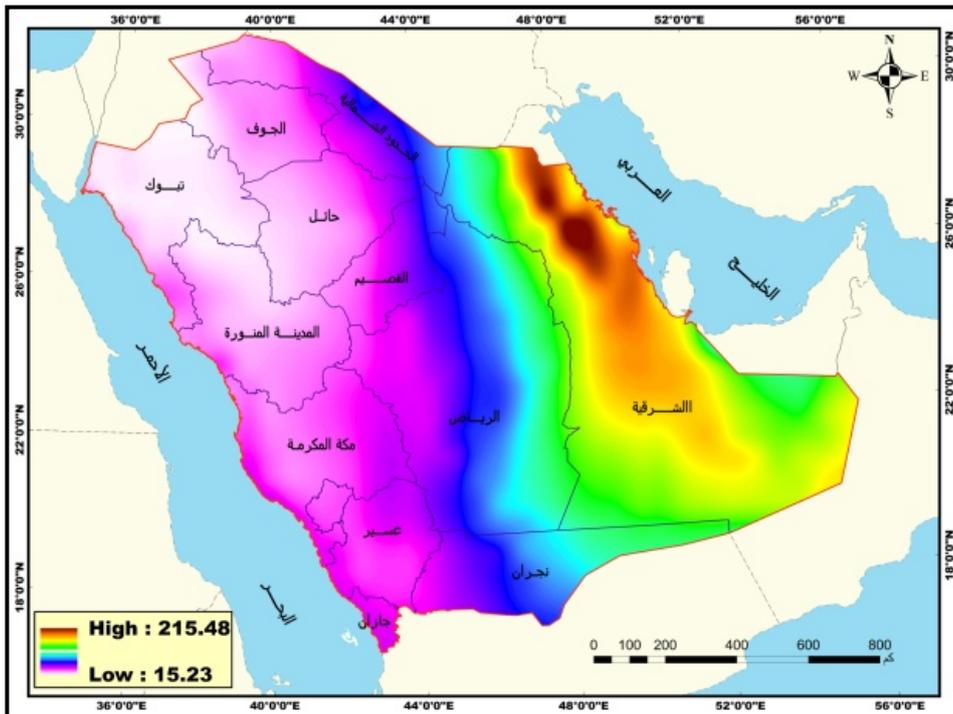
شكل 12. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (20-2-2008).



شكل 13. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (26-3-2011).



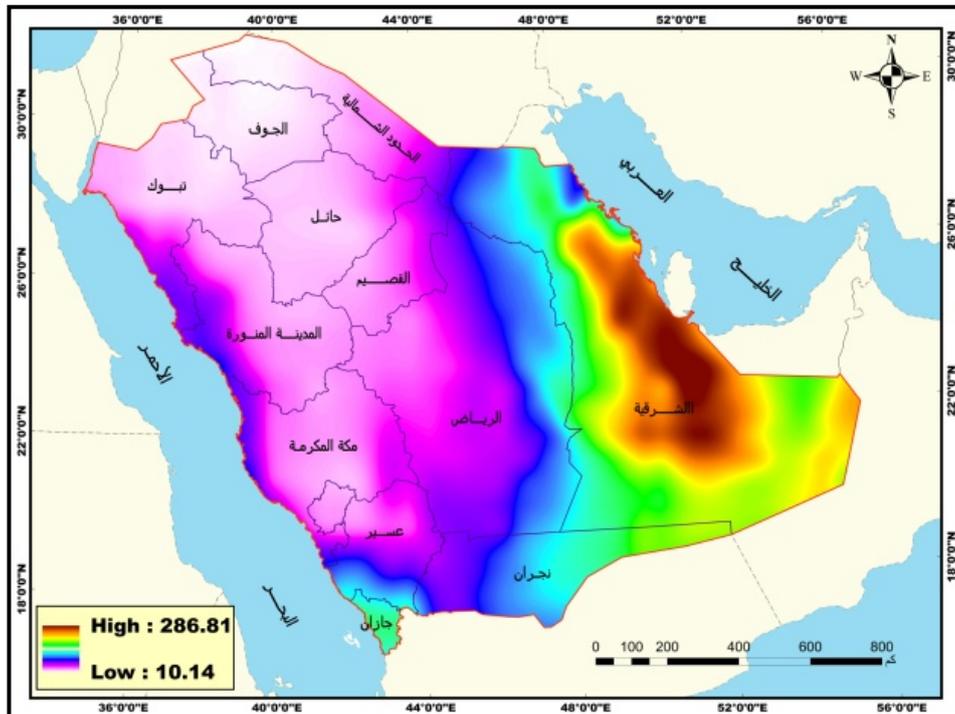
شكل 14. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (26-3-2011).



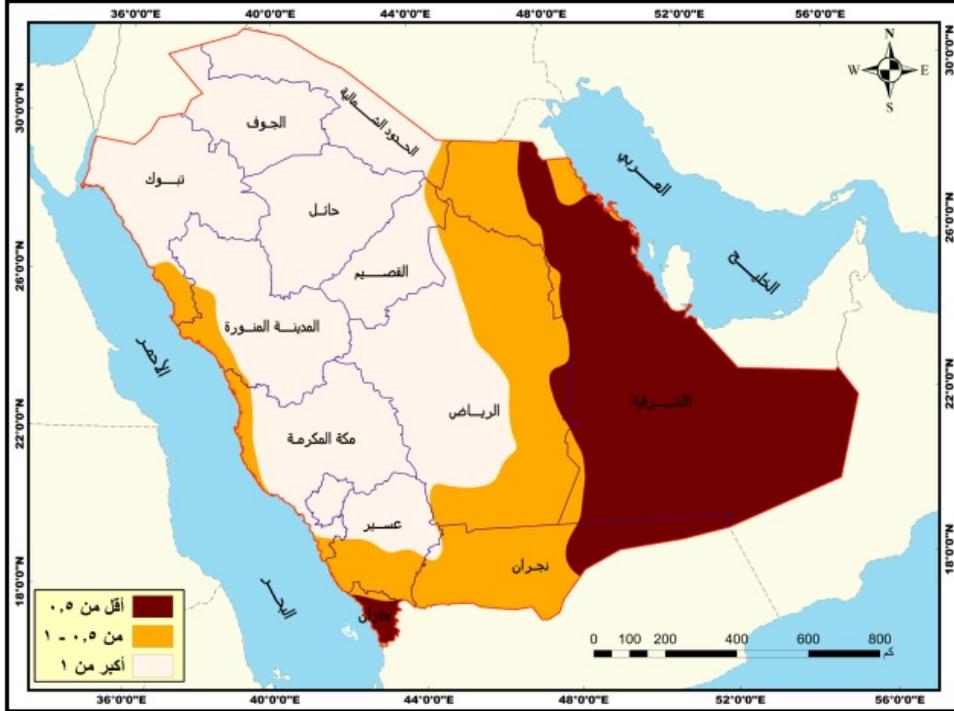
شكل 15. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (8-5-2013).



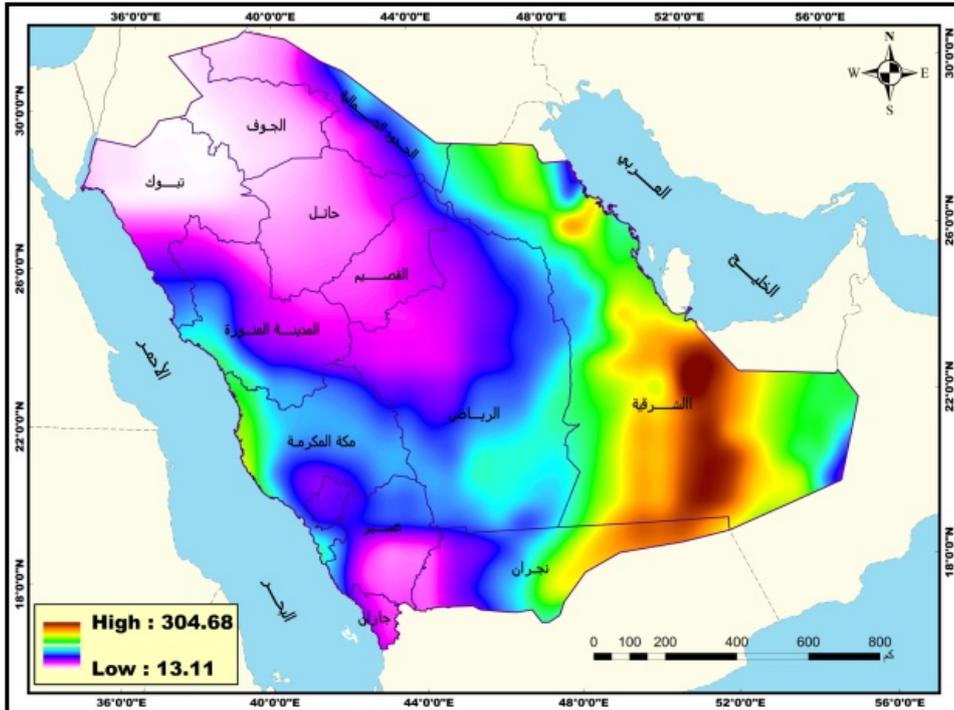
شكل 16. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (8-5-2013).



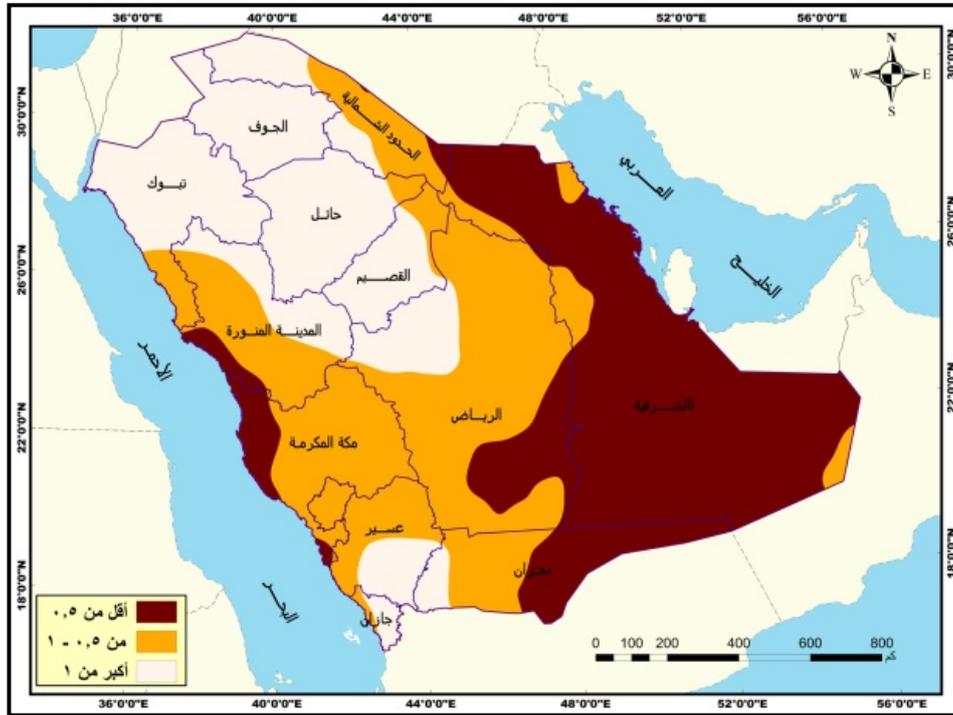
شكل 17. تركز الغبار في المملكة عاصفة (2-4-2015).



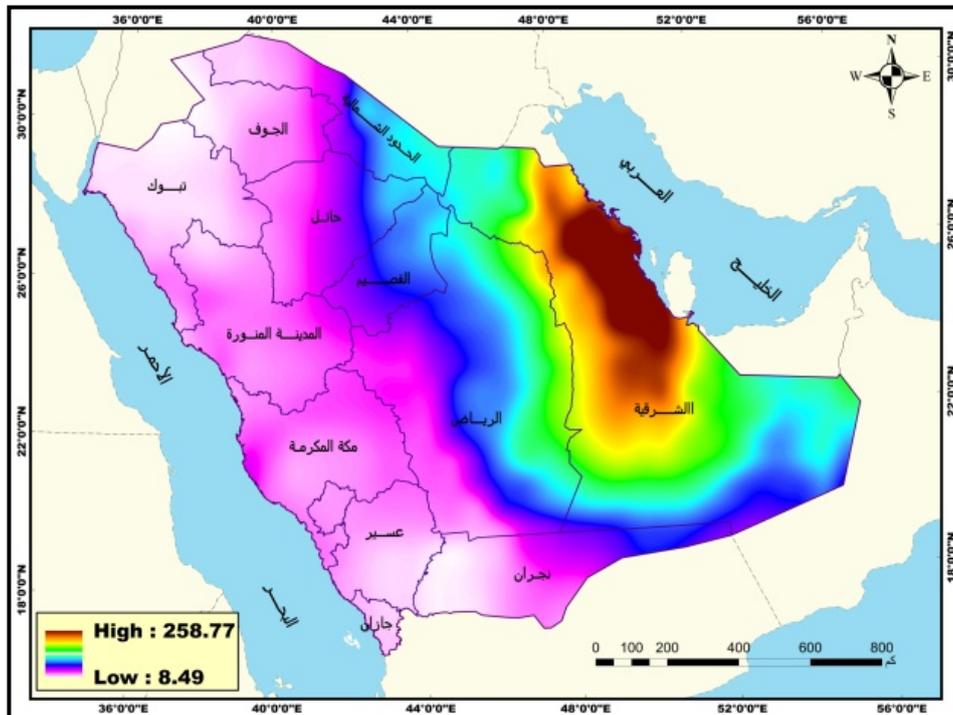
شكل 18. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (2-4-2015).



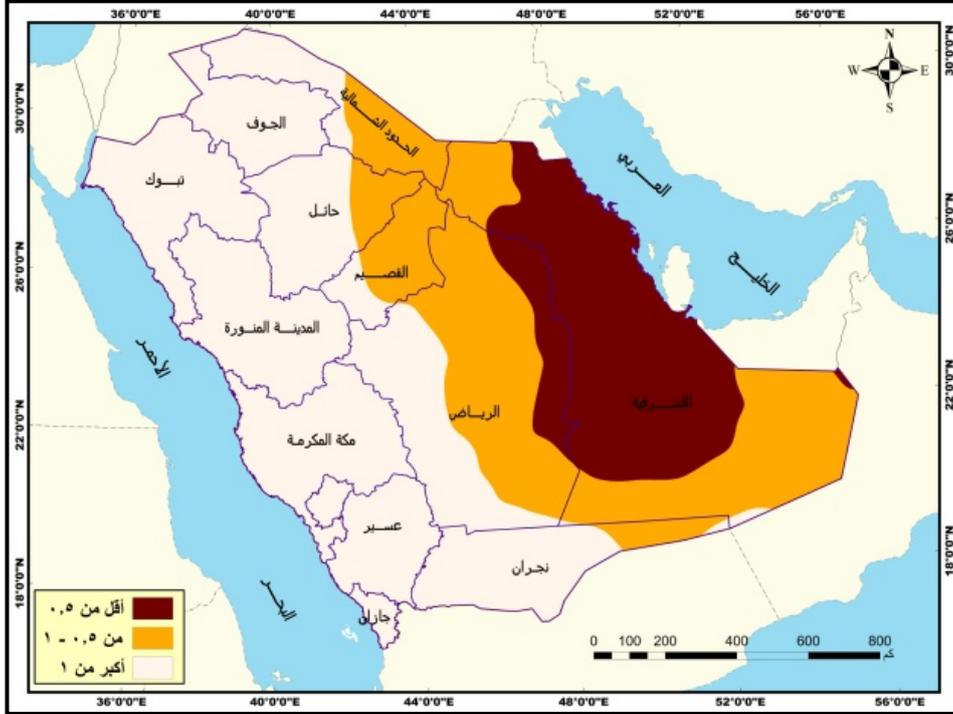
شكل 19. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (20-3-2017).



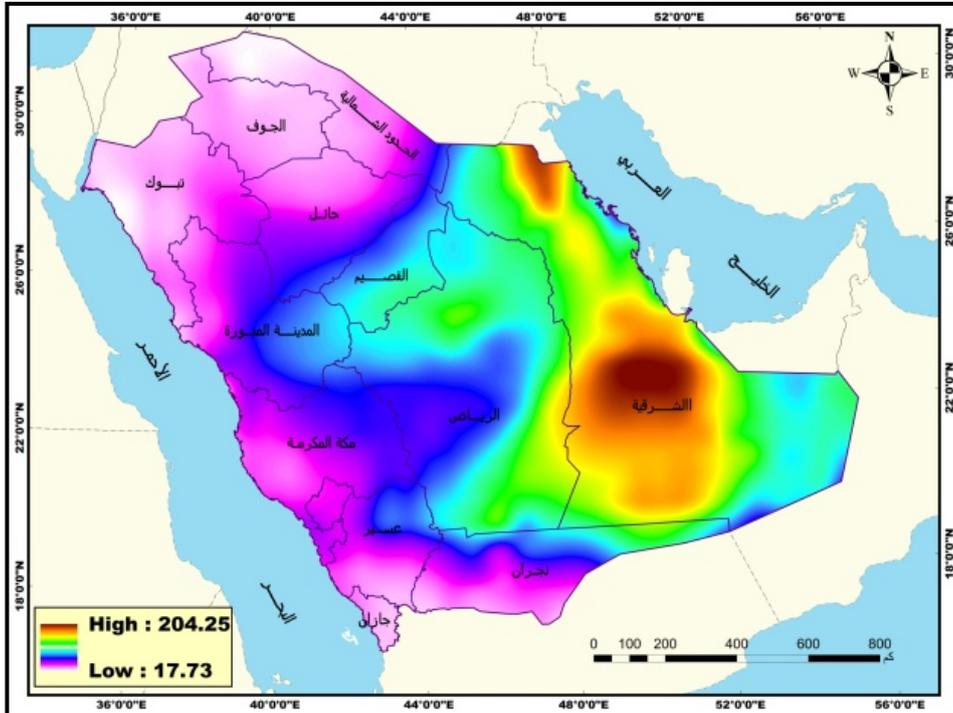
شكل 20. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (20-3-2017).



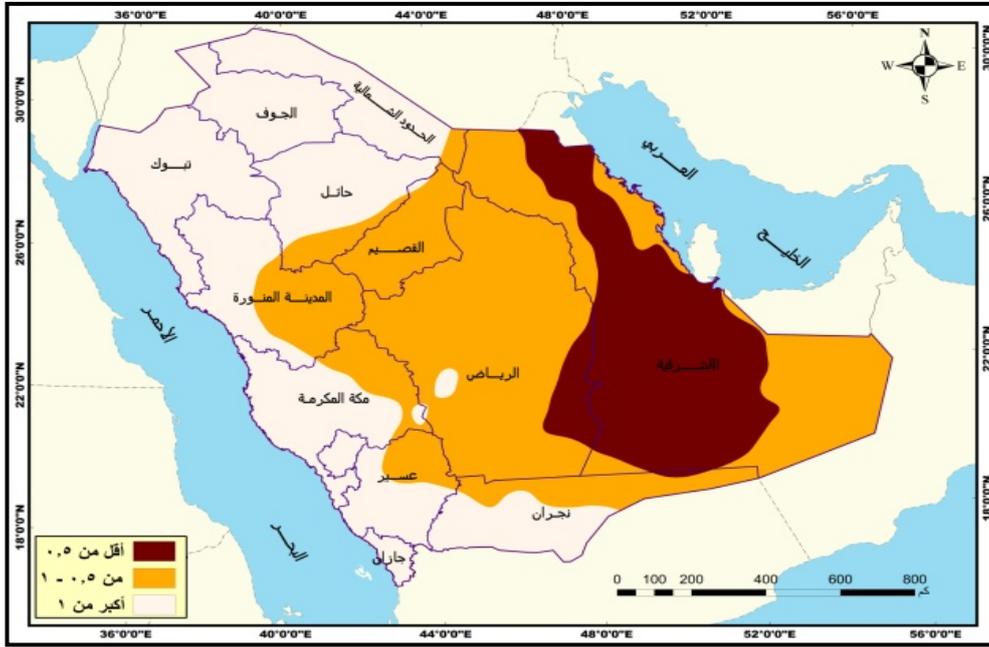
شكل 21. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (2018-4-23).



شكل 22. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة بين (2018-4-23).



شكل 23. تركيز الغبار في المملكة عاصفة (2021-4-15).



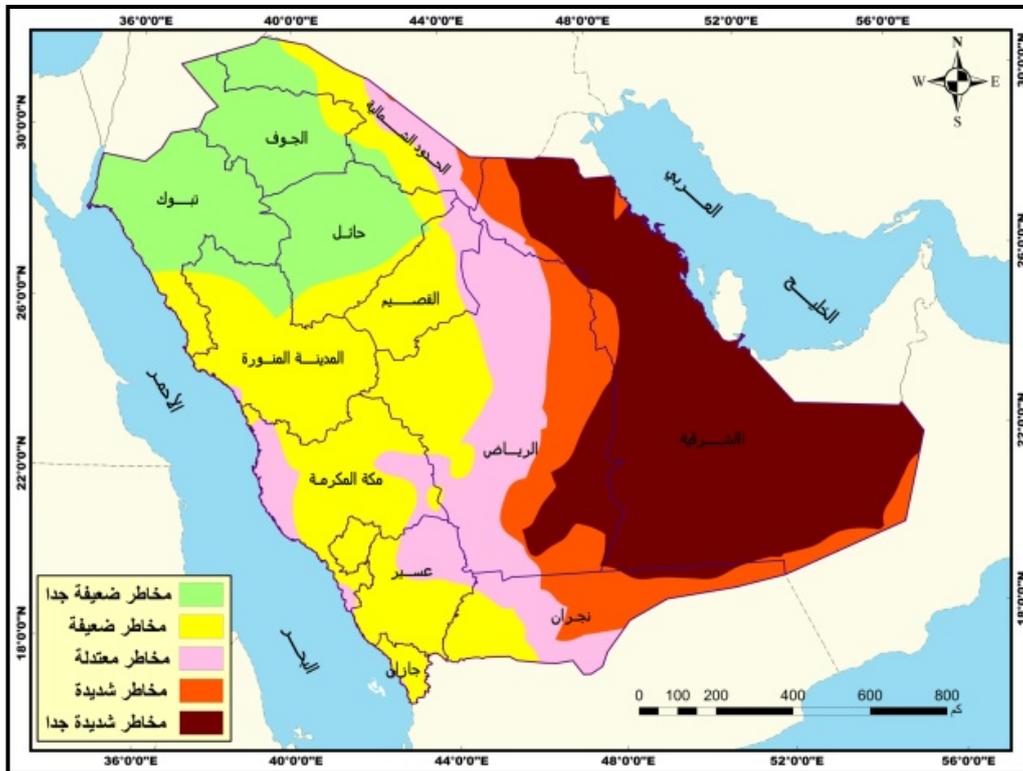
شكل 24. مستويات الرؤية الأفقية بالمملكة عاصفة (15-4-2021).

جدول 4. تقييم مخاطر العواصف الغبارية على الطرق في المملكة العربية السعودية.

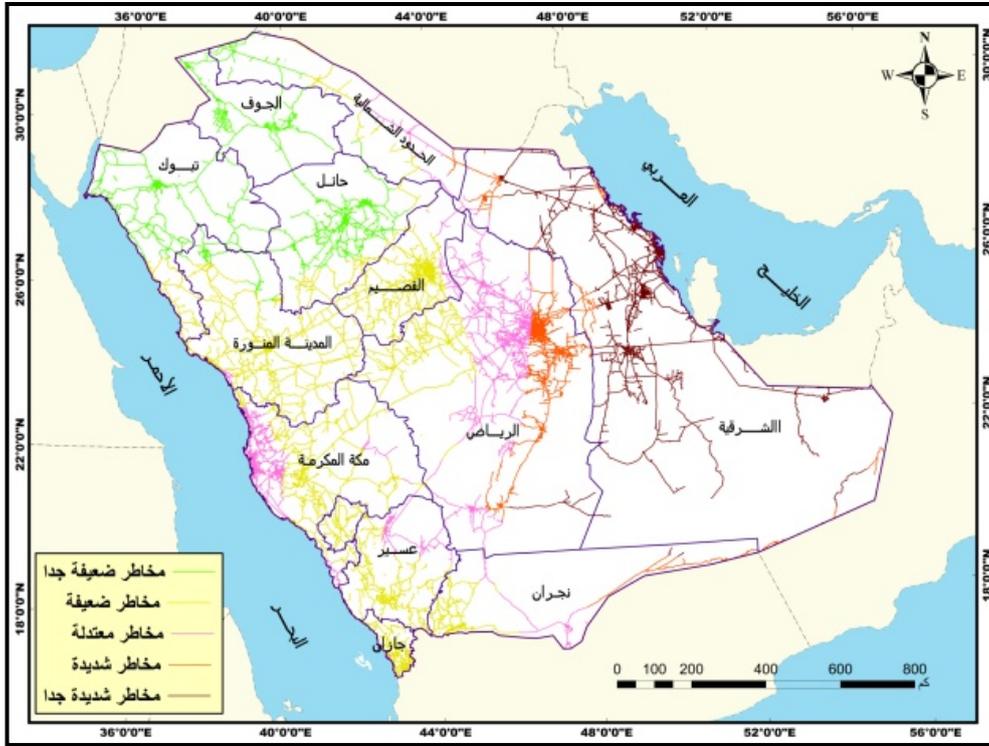
تاريخ العاصفة	درجة خطر الغبار	مدى الرؤية الأفقية	وزن الفئة	المتوسط المكاني للرؤية الأفقية كم	أهمية خطر الغاصفة %
عاصفة 2001	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,58	4,8%
	مخاطر معتدلة	1 - 0,5 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2003	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,02	19,7%
	مخاطر معتدلة	1 - 0,5 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2005	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	2,72	1,8%
	مخاطر معتدلة	1 - 0,5 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2007	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,58	4,2%
	مخاطر معتدلة	1 - 0,5 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2008	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,22	11,1%
	مخاطر معتدلة	1 - 0,5 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5		

عاصفة 2011	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3	1,89	2,2%
		< 1 كم	1		
عاصفة 2013	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,33	8,0%
	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5		
عاصفة 2015	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3	1,43	5,6%
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5		
عاصفة 2017	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	0,97	24,6%
	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2018	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,6	3,0%
	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		
عاصفة 2021	مخاطر شديدة	> 0,5 كم	5	1,06	15,0%
	مخاطر معتدلة	0,5 - 1 كم	3		
	مخاطر منخفضة	< 1 كم	1		

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على طريقة حاسبة التسلسل الهرمي (<https://bpmsg.com/ahp/>).



شكل 25. مخاطر العواصف الغبارية بين عامي (2000-2022).



شكل 26. تصنيف الطرق حسب مخاطر الغبار بين (2000-2022).

جدول 5. فئات مخاطر العواصف الغبارية وأطوال الطرق في المملكة العربية السعودية.

النسبة %	أطوال الطرق	النسبة %	المساحة كم <sup>2</sup>	نطاق مخاطر الغبار
13.4	27984.32	17.55	342098	مخاطر ضعيفة جداً
31.79	66376.3	28.32	551774.3	مخاطر ضعيفة
21.79	45498.14	15.62	304555.5	مخاطر معتدلة
17.53	36589.5	10.47	204061	مخاطر شديدة
15.49	32349.55	28.05	546512.8	مخاطر شديدة جداً

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكلين (24، 25).

### 5. الخاتمة

من أهم الصعوبات التي واجهتها الباحثة صعوبة الحصول على بيانات مناخية متصلة للغبار لنفس المدة لجميع محطات الرصد الأرضي في المملكة بصورة خاصة، فضلاً عن ذلك تتركز محطات رصد التلوث في المدن الرئيسية في المملكة، وبالتالي

تفتقر 99% من مساحة المملكة لمحطات رصد الملوثات، ومنها الغبار، لذا فإن الدقة المكانية لاشتقاق التلوث بالغبار بين محطات الرصد الأرضية ستكون أقل مقارنة باشتقاقه من مرئيات الأقمار الصناعية، كما أن نتائج اشتقاقه من محطات الرصد الأرضية ستكون دقيقة في مواضع هذه المحطات، وتقل كلما

تم الابتعاد عنها، فضلا عن أن عدداً من الدراسات السابقة، ومنها في مدن المملكة، تطابق نتائج الغبار المشتق من مرئيات (MERRA 2) مع نتائج محطات الرصد الأرضية. وهذا ما شجع الباحثة على الاعتماد على بيانات (MERRA 2) في تحليل الغبار ومسارات تحركاته ومخاطره على حركة النقل بالطرق، فضلا عن توافر هذه البيانات مجانا في موقع ناسا، وتمتاز هذه البيانات بدقة زمنية عالية تصل إلى ساعة، فضلا عن اتصال البيانات بين عامي 2000 - إلى 2022، وتغطي بيانات (MERRA 2) كل مناطق المملكة الريفية والصحراوية والحضرية، وبالتالي فهي لا تقتصر على مواضع معينة في المدن كمحطات الرصد الأرضي، وبالتالي فإن نتائج عمل الاستيفاء (interpolation) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية أكثر دقة لاسيما كلما تم الابتعاد من محطات الرصد الأرضي، والأكثر أهمية من كل ذلك توفر وكالة ناسا هذه البيانات بصيغ كمية، أو على شكل طبقات (Raster) بحيث يمكن التعامل معها بسهولة كبيرة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ويمكن للباحث الحصول عليها على أي مستوى زمني.

وبعد جمع البيانات واجهت الباحثة صعوبة التعامل مع هذه البيانات كونها مرجعة بنظام الإحداثيات الجغرافي فكان لا بد من التغلب على هذه الصعوبة بتغيير نظام إحداثيات الطبقات إلى النظام المترى، من الصعوبات كذلك تحديد الخوارزمية المناسبة لعمل استيفاء مكاني (interpolation)، مما اضطر الباحثة إلى عمل استيفاء بعدة خوارزميات

ومن ثم اعتماد نتائج الخوارزمية التي تطابقت نتائجها مع نتائج الدراسات السابقة لنفس الموضوع في المملكة، وتوصلت الباحثة إلى أن نتائج خوارزمية وزن المسافة المعكوسة (Spline) كانت الأفضل من غيرها في تطابق نتائجها مع نتائج دراسة الغبار في المملكة، ومن صعوبات تطبيق خوارزمية الاستيفاء لدقة مكانية أعلى أخذ وقتاً طويلاً لتنفيذ البرنامج بكل عملية بسبب كبر مساحة منطقة الدراسة.

توصلت نتائج الدراسة إلى تطابق نتائج التحليل المكاني لتوزيع تركيز الغبار الناتج عن العواصف الغبارية مع دراسات سابقة للعواصف الغبارية، سواء تلك التي اعتمدت على بيانات المحطات الرصد الأرضي، أو تلك التي اعتمدت على مرئيات القمر الصناعي (MODIS). وتظهر نتائج تحليل أهم أحداث العواصف الغبارية تباين مكاني وزماني في تركيز الغبار المنتشر في الغلاف الجوي من عاصفة إلى أخرى ومن مكان إلى آخر، مما يعني تباين مستويات الرؤية والمخاطر الناتجة على حركة النقل في الطرق من عاصفة إلى أخرى ومن مكان لآخر، لذلك قامت الدراسة بعمل نموذج لمخاطر هذه العواصف مجتمعة على حركة النقل في الطرق، بما يفيد في مساعدة الجهات المختصة في وزارة النقل على وضع التدابير اللازمة لحماية السكان من مخاطر تدني الرؤية الناتجة عن تركيز الغبار. وأكدت نتائج هذه الدراسة أن بعض هذه العواصف كانت بداية نشأتها في المنطقة الشرقية داخل حدود منطقة الدراسة، كما هو الحال في العواصف الرملية في الأعوام (2003)،

2013، 2015، 2021)، وبعض هذه العواصف كان لها مركزان الأول: خارج حدود منطقة الدراسة داخل الأراضي العراقية والكويتية، والآخر داخل حدود منطقة الدراسة كما قي العواصف الغبارية بالأعوام (2001، 2005، 2007، 2008، 2011، 2017، 2018). وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن غالبية العواصف كان لها نفس الاتجاه في حركة الغبار شمال غربي جنوبي شرقي. وأظهرت النتائج أن 7 عواصف غبارية، بنسبة 63,64% من إجمالي عدد العواصف المدروسة حدثت في فصل الربيع، 4 عواصف غبارية بنسبة 36,36% من إجمالي عدد العواصف المدروسة حدثت في فصل الشتاء، مما يعني شدة مخاطر العواصف الغبارية على حركة النقل في الفصلين، بلغ عدد العواصف الغبارية التي تكررت في شهر مارس أربعة عواصف بنسبة 36,37%، وبلغ تكرارها في شهر ابريل ثلاث مرات 27,28%، ومرتين بنسبة 18,18% في شهر فبراير، وبلغ عدد تكرارها في شهر يناير عاصفة واحدة بنسبة 9,1%، وعاصفة واحدة بنسبة 9,1% في شهر مايو.

#### التوصيات

- إعطاء المزيد من الاهتمام للدراسات المناخية، خاصة دراسة العواصف الغبارية ومحركاتها الأساسية، كالرياح السطحية، والحرارة، والجفاف بصورة خاصة، وكشف آثارها البيئية بصورة عامة، ومخاطرها على حركة النقل البري بالطرق بصورة خاصة.

- الاستفادة من البيانات المناخية من مختلف المصادر بالذات بيانات الاستشعار عن بعد مفتوحة

المصدر ذات الدقة المكانية المعتدلة والدقة الزمانية العالية (الساعة) في تحليل ورصد ومراقبة العواصف الغبارية، وتحديد مدى ترددها، ومواطن نشأتها، ومسارات تحركاتها وتغيراتها بين مدة وأخرى، لا سيما وأن هذه البيانات أكدت فاعليتها وتطابق نتائجها مع بيانات محطات الرصد الأرضية.

- الحد من تدهور الموارد الطبيعية، لا سيما الغطاء النباتي والأراضي الزراعية والموارد المائية التي تعزز من تقاوم الجفاف والتصحر، أي تحول الأراضي إلى صحراء، وتسهم في توفير المواد اللازمة من رواسب للعواصف الغبارية.

- مراقبة العواصف الغبارية منذ بداية نشأتها وتتبع اتجاه حركتها، بما يساعد الجهات المختصة في وزارة النقل على الإنذار المبكر للسائقين من مخاطر العواصف في هذه المناطق.

- اتخاذ الإجراءات اللازمة لتثبيت الكتلان الرملية بالذات في المناطق الشرقية التي تكرر فيها نشأة العواصف الغبارية بين عامي 2000 - 2022.

- اتخاذ إجراءات السلامة اللازمة لحماية الطرق التي تقع ضمن النطاقين شديد الخطورة جداً وشديد الخطورة، خاصة بين شهري يناير إلى مايو مع إعطاء اهتمام أكبر لشهري مارس وأبريل.

- التخفيف من أثر اتجاهات التغيرات طويلة الأجل في الظروف الجوية، لا سيما اتجاه تغير درجات الحرارة، وما يترتب عليها من تغيرات مكانية في نطاقات الضغط الجوي، وتباين سرعة الرياح،

وتذبذب هطول الأمطار، وجميعها تعزز من توفير  
البيئات المناسبة لتكرار ظاهرة العواصف الغبارية  
وتفاقم مخاطرها على حركة النقل البري في الطرق.

- إعطاء الأولوية في إجراءات الأمن والسلامة  
لطرق المنطقة الشرقية، والرياض، ونجران، وغرب  
منطقة مكة المكرمة، وجنوب شرق، وشرق الحدود  
الشمالية التي وقعت حسب نموذج مخاطر العواصف  
الغبارية في نطاق الخطر الشديد جداً والشديد للغبار،  
وتأتي بعدها طرق وسط وغرب المملكة بمناطق  
جازان، وشرق منطقة مكة، والمدينة المنورة، وعسير،  
والباحة، والقصيم.

### المراجع

- Attiya, A.A. and 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.
- AL-Abbasi, K. A., Labban, A. H. and 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. and 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.
- Ali, M.A., Assiri, M. and Dambul, R.** (2017). Seasonal aerosol optical depth (AOD) variability using satellite data and its comparison over Saudi Arabia for the period 2002-2013, *Aerosol and Air Quality Research*, **17**: 1267-1280.
- Almujibah, H., Elamary, A. and Alwetaishi, M.** (2022). Seeking Ways for Dealing with the Impacts of Sandstorms on the Railway Network in Saudi Arabia, *Sustainability*, **14**, 1-18.
- Almutairi, R. N. and Ahmad, M. S.** (2022). Visual Requirements and its Relation with Road Traffic Accident in Saudi Arabia, *P J M H S*, **16** (5): 1-3.
- Baddock, M. C., Leys, J., Heidenreich, S. and Tews, E. K.** (2014). A visibility and total suspended dust relationship, *Atmospheric Environment*, **89**: 329-336.
- Banja, M., Como, E., Murtaj, B. and Zotaj, A.** (2010). *Mapping air pollution in urban tirana area using GIS*, International Conference SDI.
- Beelen, R., Hoek, G., Fischer, P. and Brandt, A. V. D.** (2007). Estimated long-term outdoor air pollution concentrations in a cohort study, *Atmospheric Environment*, **41**, 1343–1358.
- Calculator website of Analytic hierarchy process*, date of visiting the site 27/7/2023, link of website (<https://bpmg.com/ahp/>).
- Derakhshannia, M., Dalvand, S., Asakereh B. and Askari, K.O.A.** (2020). Corrosion and deposition in Karoon River Iran based on hydrometric stations, *Int J Hydrol Sci Technol*, **10** (4): 334- 345.
- 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. and 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.
- Gacu, J. G., Garcia, G. D., Fetalvero, E. G., Catajay-Mani, M. P., Edward, C. and Monjardin, F.** (2023). Suitability Analysis Using GIS-Based Analytic Hierarchy Process (AHP) for Solar Power Exploratio, *Energies*, **16**: 1-28.
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C.A., Darmenov, A., Bosilovich, M.G., Reichle, R., et al.** (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2), *J. Clim*, **30**: 5419–5454.
- Guo, J., Niu, T., Wang, F., Deng, M. and Wang, Y.** (2013). Integration of multi-source measurements to monitor sand-dust storms over North China: A case study, *Acta Meteorol. Sin*, **27**: 566–576.
- Giles, J.** (2005). Climate science: The dustiest place on Earth. *Nature*, **434**, 816-819.
- Goudie, A.S., Goudie, A.M. and 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, H.M.** (2015). Investigation of the self-reported aberrant driving behavior of young male Saudi drivers: A survey-based study, *J. Transp. Saf. Secur*, **8**: 113–128.
- Islam, M. M., Alharthi, M. and Alam. M. M.** (2019). The Impacts of Climate Change on Road Traffic Accidents in Saudi Arabia, *Climate*, **7**: 1-13.
- Jacobs, G., Aeron-Thomas, A. and Astrop, A.** (2000). *Estimating Global Road Fatalities; TRL Report*: No. 445; Transport Research Laboratory: Crowthorne, UK.
- Karymbalis, E., Andreou, M., Batzakis, D. F., Tsanakas, K., G. and Karalis, S.** (2021). Integration of GIS-Based

- Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process for Flood-Hazard Assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece), *Sustainability*, **13**: 1-24.
- Labban, A. and Farahat, A.** (2023). Effect of Major Dust Events on Ambient Temperature and Solar Irradiance Components over Saudi Arabia, *Atmosphere*, **14** (408): 1-20.
- Labban, A. and Butt, M. J.** (2023). Evaluation of MERRA-2 data for aerosols patterns over the Kingdom of Saudi Arabia, *Journal Pre-proof*, **5**:1-30.
- Levy, R.C., Remer, L.A., Kleidman, R.G., Mattoo, S., Ichoku, C., Kahn, R. and Eck, T.F.** (2010). Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land: *Atmos. Chem. Phys.*, **10**: 10399–10420.
- Luo, J., Huang, F., Gao, S., Liu, S., Liu, R. and Devasthale, A.** (2022). Satellite Monitoring of the Dust Storm over Northern China on 15 March 2021, *Atmosphere*, **13**: 153- 172.
- Mashat, A.S., Awad, A.M., Assiri, M. E. and Labban, A. H.** (2021). Synoptic pattern of the Red Sea trough associated with spring dust over the northern and western Arabian Peninsula, *Meteorology and Atmospheric Physics*, **133**: 655-673.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M. and Bacmeister, J.** (2015). Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: Evolution from MERRA to MERRA2, *Geosci. Model Dev.*, **8**: 1339–1356.
- NASA, Earth Climate Data, Dust Surface Mass Concentration pm 2.5:** Date of Access to Website (15/7/2023), Link (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>).
- Notaro, M., Alkolibi, F., Fadda, E. and Bakhrjy, F.** (2013). Trajectory analysis of Saudi Arabian dust storms, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **118**, 6028-6043.
- Open Street Map, Layer Shapfile of Roads in Kingdom of Saudi Arabia:** Date of Access Website (17/7/2023), link (<https://www.openstreetmap.org/export#map>).
- Parrott, B., Carrasco Zanini, P., Shehri, A., Kotsovos, K. and Gereige, I.** (2018). Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush, *Sol. Energy*, **171**: 526–533.
- Prakash, P. J., Stenchikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S. and Bangalath, H.** (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**: 199-222.
- Prospero, J.M., Bullard, J.E. and Hodgkins, R.** (2012). High-latitude dust over the North Atlantic: Inputs from Icelandic proglacial dust storms, *Science*, **335**: 1078–1082.
- Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y.** (2013). Climatology of the Middle East dust events, *Aeolian Res.*, **10**: 103–109.
- Saaty, T.L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychol.*, **15**: 234–281.
- Sowden, M., Mueller, U. and Blake, D.** (2018). Review of surface particulate monitoring of dust events using geostationary satellite remote sensing, *Atmos. Environ.*, **183**, 154–164.
- Shalaby, A., Rappenglueck, B. and Eltahir, E.A.B.** (2015). The Climatology of Dust Aerosol over the Arabian Peninsula, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **15**: 1523–1571.
- Shin, Y. R., Sohn, E.-H., Park, K. H., Ryu, G. H., Lee, S., Lee, S. Y. and Park, N.Y.** (2021). Correction to: Improved Dust Detection over East Asia Using Geostationary Satellite Data, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, **57**: 861- 877.
- Tanaka T.Y. and Chiba M.** (2006). A numerical study of the contributions of dust source regions to the global dust budget: *Global Planetary Changes*, **52**: 88-104.
- WHO. Global Status Report on Road Safety.** (2013). *World Health Organization: Geneva, Switzerland.*
- World Meteorological Organization website, date of visit:** 11/5/2023, (<https://public.wmo.int>).
- Yao, W., Che, H., Gui, K., Wang, Y. and Zhang, X.** (2020). Can MERRA-2 Reanalysis Data Reproduce the Three-Dimensional Evolution Characteristics of a Typical Dust Process in East Asia? A Case Study of the Dust Event in May 2017, *Remote Sens.*, **12**: 1-18.

## Spatial Analysis of Dust Storms and their Risks to Road Transport in Saudi Arabia Using Remote Sensing and Geographic Information Systems

Amina Atallah Abd Rabbuh Al-Ruhaili

Department of Geography, Umm al-Qura University, Makkah, Saudi Arabia

**Abstract.** Dust storms are natural disasters that have a important impact on various aspects of life, such as reducing visibility, impairing the transportation sector. Larger particles of dust are deposited in upper respiratory system (pharynx, trachea), While smaller particles can enter deep lung tissue, and the physical, biological and chemical properties of these particles can cause disturbances in the health of the body, and respiratory system, and dust causes harm to body's systems, such as cerebral system, cardiovascular system, skin, blood, and immune system. Dust storms occur in dry climates where average annual rainfall is less 100 mm, and are formed when strong winds blow on surfaces

covered with loose soil and dry sand and shortage vegetation. Saudi Arabia is located in a hotspot global for dust activity, where dust storm activity begins in early spring and reaches its peak during summer, due to severe drought conditions and its duration, northern winds known locally as north Wind, desertification and human activities. Dust storms affect weather conditions, where Dust particles significantly impact climate by further altering the Earth's radiation balance through absorption and scattering of short-wave and long-wave radiation, and scattering caused by dust events may affect air temperature, causing significant adverse effects on ecosystems and production of Agricultural, dust affects physical and microphysical properties of clouds, alters the precipitation efficiency, and reducing soil acidity, leading to economic losses. The study aims to analyze most important dust storm events in Saudi Arabia, and reveal their effects on horizontal visibility, and their risks to road transportation. To achieve this, the study was followed a gradual methodology from a literature review to observe most important dust storms and learn about their methodologies and data. Thus, fine particle data was collected for eleven storms between the years 2000 - 2022 for Satellite (MERRA 2), and obtain a (Shapefile) Roads layer from Open Street Map website. The data was prepared to be suitable for deriving layers of dust for determine the level of horizontal visibility, and thus Modeling risks of dust storms, and evaluation their risks to road transport. The study used Analytic hierarchy process to determine importance of each dust storm, all the way to merge layers of visibility levels in (GIS), to produce a map of dust storm risk levels on Roads. The results of study revealed located some roads in Saudi Arabia in zones which suffer from very high risks, with rate risk of dust storms exceeding 82% in Eastern Region and east of Riyadh Region, with an area of 546,512.8 km<sup>2</sup>, by 28.05% of Saudi Arabia area, and located in this zone 32,349.55 km, by 15.49% of total roads. the roads which encounter high risks of dust storms are shown, as dust risk ranges between 82-62% north and south Eastern Region, southeast of northern border, central and south of Riyadh region, and east of Najran, with an area 204,061 km<sup>2</sup>, by 10.47% of Saudi Arabia area, and roads Length in this zone reach 36,589.5 km, by 17.13% of total roads. and roads Length reach Within zone which characterized by risks moderate for dust storm 45,498.14 km, by 21.79% of total road lengths in Saudi Arabia. the rest of roads are located in zones characterized by risks low- very weak for dust storms. the results of study will help policy makers take correct courses of action to mitigate the negative effects of dust storms on road accidents, especially in dust storm seasons occur.

**Keywords:** Dust storms, Roads, Saudi Arabia, Geographic information systems, Remote sensing.