



توزيع العواصف الغبارية في سورية وآلية الكشف عنها باستخدام تقانة الاستشعار عن بعد

The Distribution and Detection of Dust Storms in Syria Using Remote Sensing Techniques

د. حسين المحمد⁽¹⁾

Dr. Hussein Almohamd

(1) قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة حلب، سورية.

الملخص

تم جمع البيانات المناخية عن عدد أيام العواصف الغبارية في سورية من خلال 15 محطة أرصاد جوية للفترة من 1960 إلى 2006، كما استخدمت بيانات MODIS/Terra ليوم 22 شباط/فبراير لسنة 2010، بهدف الكشف عن العواصف الغبارية لما تعطيه من صور حقيقية وقريبة من Real Time مناطق واسعة، إضافة إلى صعوبة الكشف عنها عن طريق المحطات المناخية الأرضية، وذلك لمحدوديتها. أظهرت النتائج أن عدد أيام العواصف الغبارية في مناطق السهول والجبال الساحلية كان أقل من يوم واحد، بينما وصل عددها إلى 7.2 يوم في البادية السورية. وقد تم استخدام طريقتين للكشف عن العواصف الغبارية، الأولى باستخدام القنوات المرئية، وتحت الحمراء القصيرة والحرارية، والثانية باستخدام القنوات الحرارية فقط، إذ تم حساب قرينة التباين الغبارية، ودرجة حرارة السطوح للقنوات الطيفية T29 و T31 و T32. وتبين أن بيانات MODIS كانت أداة فعالة في الكشف عن العاصفة الغبارية من خلال هاتين الطريقتين، لذا تقترح هذه الدراسة الاعتماد على القنوات الحرارية في الكشف عن العواصف الغبارية ليلاً باستخدام بيانات MODIS، لما تتمتع به من قدرة تمييز زمانية عالية.

الكلمات المفتاحية: العاصفة الغبارية، قرينة التباين الغبارية، درجة حرارة السطوح، MODIS، سورية.

Abstract

Climatology of dust storms in Syria is compiled based on an observational data of 15 meteorological stations from 1960 to 2006. The results of the analysis showed that the number of days with dust storms is <1 days over plains and mountainous coast regions and more than 7.2 days in /Albadia/. The storm usually occurred in Albadia. Therefore, due to the limited ground climatic observations in the relevant regions, satellite remote sensing of objectivity, real-time and macro-scope view has become an important approach to detect dust storms in Syria. In this paper, a dust storm process which occurred on the 22th of February, 2010 has been detected in Syria. The Normalized Difference Dust Index (NDDI) and Brightness Temperature bands T29, T31 and T32 of MODIS/TERRA satellite data were used and tested for dust storm mapping in Syria for day and night time, by using thermal bands to detect dust at night time. This method is effective in separating dust and other objects at the night time. The study concluded that remote sensing technique can play an important role in detection and analyzing dust storm. MODIS provides a high quality data source with multi-spectral bands, appropriate spatial resolution and high temporal resolution.

Keywords: Dust storm, Normalized Difference Dust Index, Brightness temperature, MODIS, Syria

©2016 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved. ISSN:2305 - 5243 ; AIF(NSP)-316

المقدمة

تعد العواصف الغبارية من القضايا البيئية الرئيسية، وإحدى أهم الكوارث الطبيعية في سورية، فهي عبارة عن عملية مركبة تحدث نتيجة تفاعل بين نظامي الأرض والجو، وتتمثل بسرعة الرياح الجافة و التربة المفككة الجرداء، فهي خليط من الرمال و الغبار، وعندما تهب بسرعة تزيد عن 14 م/ثا تحمل معها الرمال والأترية من سطح الأرض، ما يؤدي إلى تلوث الهواء، ومن ثم انخفاض الرؤية إلى ما دون 1 كم. وأكثر ما تحدث العواصف خلال الربيع وأوائل الصيف، أي في الفترة التي ترتفع فيها درجات الحرارة، و تشدد فيها سرعة الرياح (شحادة، 1991). تؤدي هذه العواصف التي ازداد حدوثها في السنوات الأخيرة إلى زيادة رقعة الصحراء، وتحريك الرمال ودفعها لتغطي الواحات والأراضي الخصبة، وتبتلع القرى والمجمعات السكنية، وبالتالي موت المزروعات وهلاك الحيوانات، كما يمكن أن تؤثر في التغيرات المناخية (الأشعة الشمسية الواصلة لسطح الأرض)، وأن تلحق أضراراً كبيرة بالناس (Kublity و زملاؤه، 2003؛ Qu و Kafatos، 2006).

تعد سورية التي يقع أكثر من 55% من أراضيها ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة (أكساد، 2004) عرضة للعواصف الغبارية التي تتشكل على أراضيها، أو تهب عليها من شمالي إفريقيا وشبه الجزيرة العربية، بفعل هبوب رياح شديدة السرعة من الاتجاه الجنوبي والجنوبي الغربي والشرقي. أظهرت نتائج دراسة قام بها أكساد (2004) حالة تدهور أراضي بادية المنطقة الوسطى، إذ يتأثر نحو 53% من أراضيها بالإنجراف الريحي، كما تعد المناطق الشرقية الأعلى تكرارية لظاهرة العواصف الغبارية (الرواس، 2012)، ونظراً لهذه التكرارية المرتفعة فإنه يتوجب مراقبتها لتحديد مناطق انتشارها ومساراتها بشكل مستمر، عبر دراستها عن طريق بيانات المحطات المناخية، أو بالاعتماد على صور التتابع الاصطناعية. إذ غالباً ما تكون الشروط البيئية سيئة جداً في مناطق حدوث العاصفة الغبارية، والمحطات الأرضية المناخية فيها متناثرة ومتباعدة ويصعب ربطها بعضها مع بعض، وبالتالي تكون قدرتها التفسيرية المكانيّة منخفضة، بينما تغطي صور التتابع الاصطناعية مساحات واسعة، وتميز بدقة تمييزها العالية.

ظهرت في الآونة الأخيرة العشرات من الدراسات التي استخدمت تقانة الاستشعار عن بعد في مراقبة العواصف الغبارية في العالم، ولاسيما في شرقي آسيا، ومنها دراسة Ni و Yun (2006)، التي وضعت دليلاً غبارياً لتمييز العواصف الغبارية التي حدثت في الفترة الواقعة بين 2002 و 2005، ودراسة Qing و زملائه (2006) التي قامت بمراقبة العاصفة الغبارية القوية التي حدثت في المنطقة الشمالية الغربية من الصين سنة 2003 باستخدام صور MODIS، بالمقابل هناك القليل من الدراسات التي تناولت العواصف الغبارية في منطقة شرقي البحر المتوسط، والتي استندت في معظمها إلى المحطات المناخية، ومن أهمها دراسة Middleton (1986) التي حللت العواصف الغبارية في منطقة الشرق الأوسط، ودراسة Ganor و Mamane (1982) التي تناولت عملية انتقال العواصف الغبارية من شمالي إفريقيا باتجاه شرقي البحر المتوسط، ودراسة Güllü (2005) التي بحثت في مصادر العواصف الغبارية التي تؤثر في منطقة شرقي البحر المتوسط. أما في سورية فقد تناولت دراسة عسكر (1999) تكرارية العواصف الغبارية وأسبابها في محافظة دير الزور، كما قامت الرواس (2012) بدراسة الظواهر الغبارية في سورية، وأسباب تشكلها وتكراريتها، والاتجاه العام لها. ويعد هذا البحث من البحوث الرائدة التي تناولت العواصف الغبارية في سورية من خلال صور التتابع الاصطناعية.

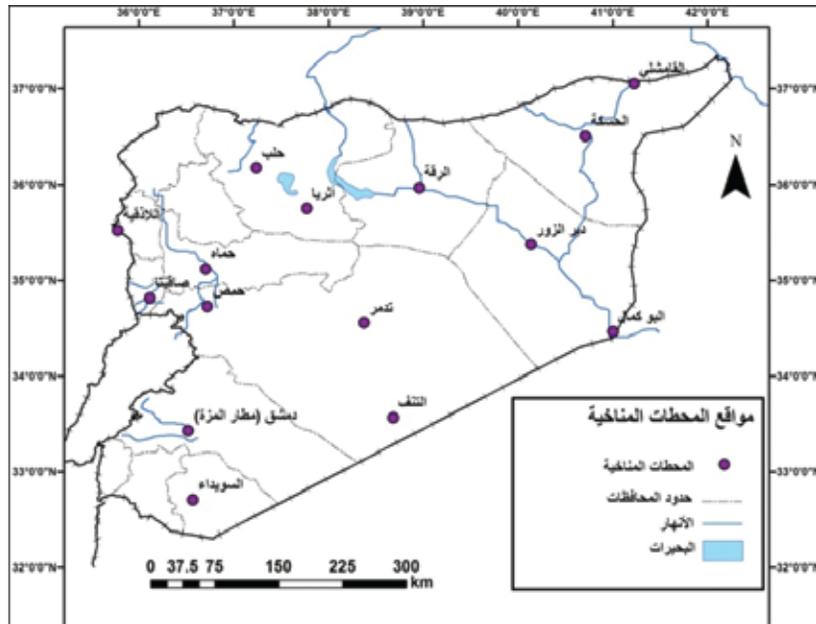
يهدف هذا البحث إلى إعداد خرائط توزيع العواصف الغبارية في سورية من خلال المحطات المناخية المتوفرة، والكشف عنها باستخدام القنوات الطيفية المرئية وتحت الحمراء القصيرة (SWIR) المنعكسة، والقنوات تحت الحمراء الحرارية المنبعثة لبيانات المستشعر Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). إذ تستعمل الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة والقصيرة لقياس الطاقة المنعكسة عن الأجسام، بينما تستعمل الأشعة تحت الحمراء الحرارية المنبعثة لقياس درجة حرارة سطوح الأجسام (Brightness Temperature)، إذ أن للغبار والأرض والغيوم خصائص مختلفة من انعكاس وامتصاص لأشعة الطيف الكهرومغناطيسي، فلغيوم انعكاس عال، وبالتالي فإن درجة حرارة سطوحها منخفضة، بينما للأرض انعكاس منخفض، وبالتالي فإن درجة حرارة سطوحها عالية، أما بالنسبة للغبار فإن انعكاسه ودرجة حرارة سطوحه عادة ما تكون بين الاثنين (Kafatos و Qu، 2006)، لذا اعتمد في هذا البحث على قياس الانعكاس ودرجة حرارة السطوح في الكشف عن العاصفة الغبارية.

مواد البحث وطرائقه

استُخدم في هذا البحث:

- 1 - بيانات مناخية لعدد أيام العواصف الغبارية والغبار المتصاعد من سنة 1960 حتى سنة 2006، وقد غطت البيانات 15 محطة، لتشمل بذلك كل مناخات سورية (الشكل 1).
- 2 - برنامج ArcGIS 9.3 لإنتاج خرائط توزيع العواصف الغبارية، بالاعتماد على طريقة Spline Interpolation. وللتأكد من دقة خرائط توزيع العواصف الغبارية تم حساب الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ الحقيقي (RTMSE).

3 - صورة MODIS/Terra ليوم 22 شباط (فبراير) لعام 2010، والساعة الثامنة وخمسين دقيقة صباحاً، والتي تغطي المنطقة الواقعة بين 23 - 45 درجة عرض شمالاً، و 16 - 46 شرقاً، إذ تعرضت المنطقة الوسطى والشرقية من سورية في ذلك اليوم إلى عاصفة غبارية أدت إلى أضرار كبيرة على الصحة والمحاصيل الزراعية. كما تم الحصول على صورة أخرى ليوم 24 شباط/فبراير لعام 2010، أي بعد حدوث العاصفة الغبارية، للمقارنة بين الصورتين بهدف التعرف على المناطق التي ضربتها العاصفة، والتأكد من دقة النتائج.



الشكل 1. مواقع المحطات المناخية المدروسة.

تعد بيانات مستشعرات MODIS ذات أهمية كبيرة، لما لها من قدرة على التغطية الأرضية والتكرارية العالية، إذ تغطي صورها معظم مناطق العالم يومياً، وهي محمولة على قمرين: تيرا Terra الذي أطلق في 18 كانون الأول (ديسمبر) 1999، وأكوأ Aqua الذي أطلق في 4 أيار (مايو) لعام 2002. كما تغطي مستشعراتهما اليابسة والماء، وتقدم هذه المستشعرات بنوعها بيانات متنوعة وعلى درجة عالية من الوضوح لدراسة الكوارث الطبيعية. إذ أن لها 36 قناة طيفية تتراوح بين 0.4 um و 14.38 um، وتمتد من المجال المرئي حتى الأشعة تحت الحمراء، وهي ذات قدرة تفسيريّة مكانية قدرها 250 م (النطاقات 1-2) و 500 م (النطاقات 3-7)، و 1000 م (النطاقات 8-36)، كما يمكن لهذه المستشعرات أن تعطي أربع صور في اليوم الواحد ما يجعلها ذات فعالية كبيرة في مراقبة مسارات العواصف الغبارية (Kaufman و Koren، 2004؛ Qu و Kafatos، 2006؛ Hao و Qu، 2007).

تحتاج هذه الصور إلى عدد من العمليات كي تصبح جاهزة للتحليل، إذ تحتاج إلى تصحيح هندسي لتوجيه الصور وإرجاعها، وقد تم التصحيح الهندسي في هذا البحث استناداً إلى خرائط Google earth، بينما تم التصحيح الراديومتري باستخدام الثوابت والمعايير الأصلية للمستشعر MODIS، فيتم تحويل القيم الرقمية لعناصر الصورة (DN) إلى القيمة الإشعاعية (Radiance) للقنوات الحرارية (T29 و T31 و T32)، وإلى القيم المنعكسة (Reflectance) للقناتين 3 و 7، وتسجيلها بقدرة تمييز راديومترية قدرها 8 bit للقنوات المرئية والقنوات قصيرة الموجة (SWIR) و 16 bit للقنوات الحرارية TIR، ويتم ذلك باستخدام المعادلتين التاليتين (MCST، 2006):

$$\text{Radiance} = \text{Scale-Radiance} * (\text{SI-Rad-Offset})$$

$$\text{Reflectance} = \text{Ref-Scale} * (\text{SI-Ref-Offset})$$

حيث: Radiance تمثل قيم الإشعاع الطيفي، و Scale-Radiance: مقياس الإشعاع، و SI: القيمة الرقمية المقاسة لعنصر الصورة، و Ref-Offset و Rad-Offset: ثابت تحويل، و Reflectance: قيم الانعكاس و Ref-Scale: مقياس الانعكاس.

علماً أن قيمة Scale-Radiance و Ref-Offset و Rad-Offset ثوابت يتم الحصول عليها من ملف الصورة باستخدام برنامج HDFview لكل قناة من القنوات الطيفية. وقد تم حساب قيم الإشعاع والانعكاس للقنوات الطيفية باستخدام أداة Raster calculator في برنامج ArcGIS 9.3.

تم الكشف عن العاصفة الغبارية في هذا البحث بطريقتين هما:

- الطريقة الأولى: بحساب قرينة التباين الغبارية (NDDI) The Normalized Difference Dust Index، عن طريق القناتين الطيفيتين: المرئية وتحت الحمراء القصيرة SWIR، ممثلة بالقناتين الثالثة (b3) والسابعة (b7)، وذلك بهدف تحديد انتشار العاصفة الغبارية نهراً (Qu و Kafatos، 2006) وفقاً لما يأتي:

$$NDDI = \frac{(b7 - b3)}{(b7 + b3)}$$

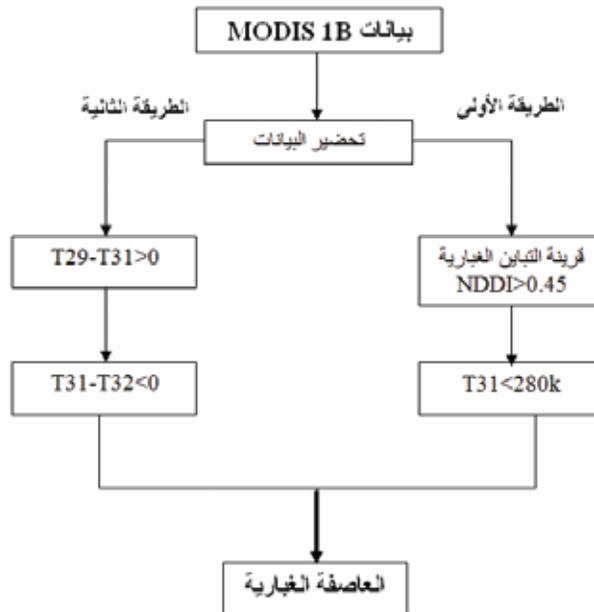
تستخدم هذه القرينة للتمييز بين الغبار من جهة، وباقي معالم السطح من جهة أخرى. وللتمييز بين الغبار السطحي والغبار العالق في الجو (العاصفة الغبارية)، إذ تم استخدام القناة الطيفية الحرارية T31.

- الطريقة الثانية: تستخدم فيها القنوات الطيفية الحرارية تحت الحمراء فقط، والتي يمكن أن تستخدم ليلاً للكشف عن العاصفة الغبارية في ظل غياب الأشعة المرئية، إذ تم حساب درجة حرارة معالم السطح للقنوات الطيفية T29 و T31 و T32. فيتم تحويل القيم الإشعاعية إلى درجة حرارة السطح وفقاً للمعادلة الآتية، باستخدام علاقة Planck (Azizi وزملاؤه، 2007):

$$T_b = \frac{C2}{[V_i * \ln(\frac{C1}{V_i * radiance}) + 1]}$$

حيث أن T_b : درجة حرارة السطح، $C1$ و $C2$: معاملات ثابتة للقناة المدروسة، V_i : طول الموجة للقناة الطيفية المدروسة.

ويوضح الشكل 2 آلية الكشف عن العاصفة الغبارية:



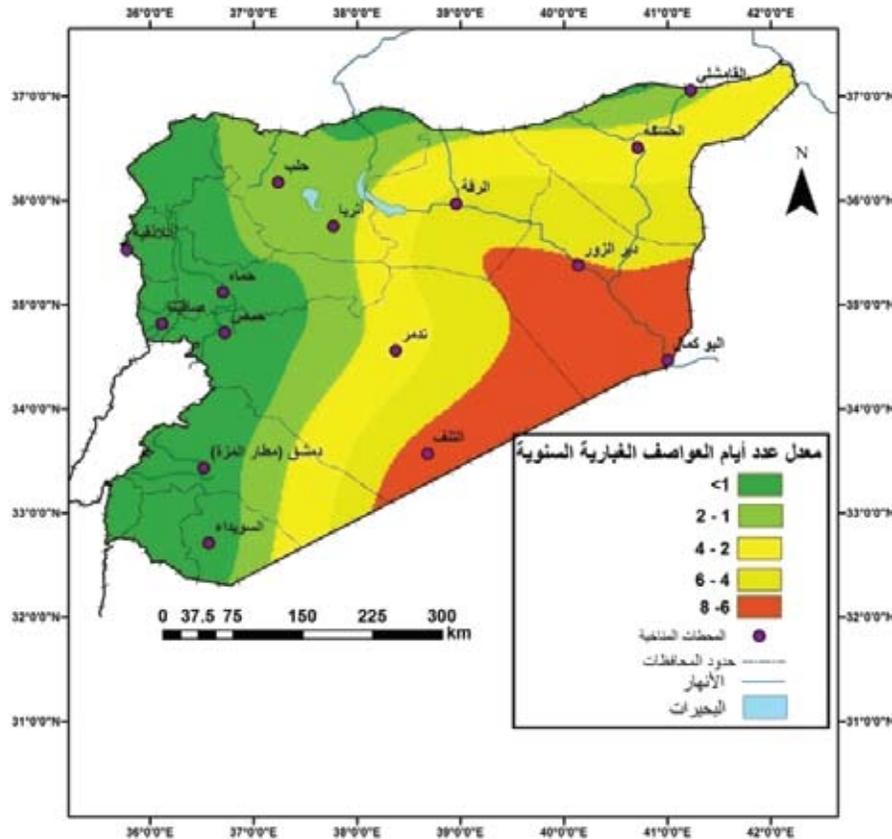
الشكل 2. آلية الكشف عن العاصفة الغبارية.

النتائج والمناقشة

1 - توزع العواصف الغبارية

يُظهر الشكل 3 معدّل توزع العواصف الغبارية في سورية خلال 47 عاماً (1960 - 2006) بنسبة خطأ تقدر بـ 0.9 يوم/سنة وفق RTMSE. إذ تبين أن أدنى عدد لأيام العواصف الغبارية سُجّل في مناطق السهول والجبال الساحلية، أي بمعدّل أقل من 1 يوم واحد في السنة، ويرجع ذلك إلى زيادة المجموع السنوي للهطل، وتوفر الغطاء النباتي، وقلة تكرار المنخفضات الحرارية، بينما سُجّل أعلى عدد لأيام العواصف الغبارية في المناطق الجافة وشبه الجافة (البادية السورية)، أي بمعدّل 5 - 7.2 يوم/سنة، إذ سُجّل في محطة التنف أعلى تكرار سنوي للعواصف الغبارية بمعدّل 7.2 يوم/سنة (الرواس، 2012)، وتتميز هذه المناطق بالطبيعة التضاريسية الناجمة عن عمل الرياح في بيئة جافة، وبزيادة تكرار منخفض البحر الأحمر والمنخفضات الحرارية المحلية، إضافة إلى قلة الهطل في كل فصول السنة. بينما تُعد المناطق الداخلية الوسطى

مناطق انتقالية ما بين المناطق الغربية الرطبة ذات التكرار المنخفض للعواصف الغبارية، والمناطق الشرقية الجافة ذات التكرار المرتفع للعواصف.



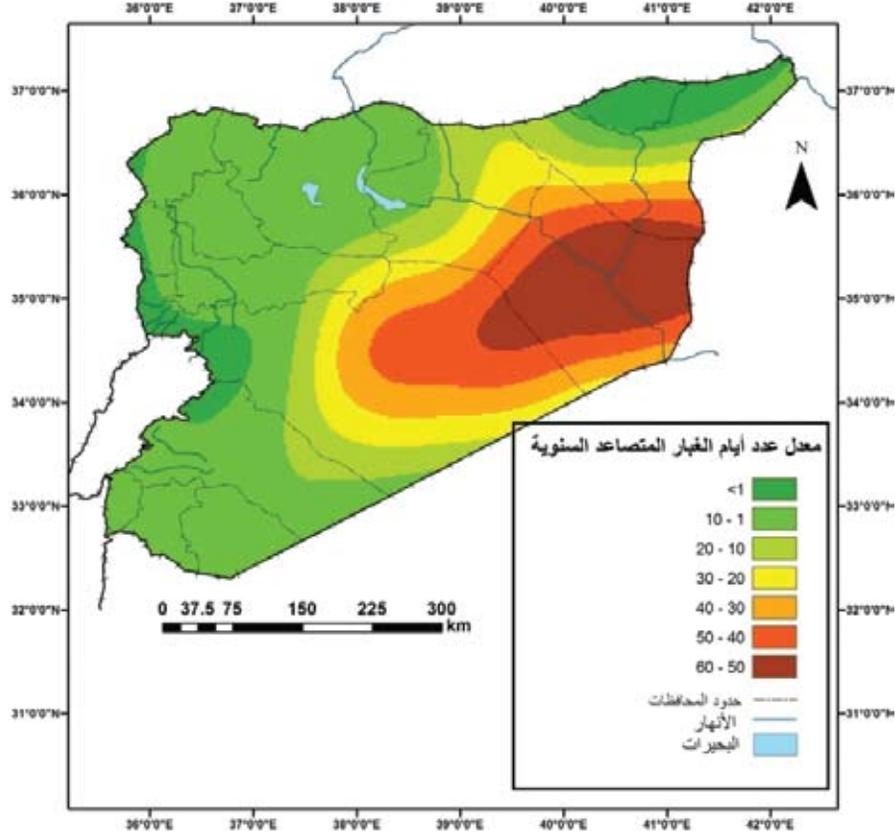
الشكل 3. معدل توزع العواصف الغبارية في سورية خلال الفترة من 1960 إلى 2006.

أما بالنسبة للغبار المتصاعد فهو ذو توزيع مشابه لتوزيع العواصف الغبارية في سورية (بخطأ يقدر بـ 1.8 يوم/سنة وفق RTMSE)، فهو يتزايد من الغرب إلى الشرق (من 1 يوم/سنة إلى 60 يوماً/سنة)، إذ سجلت محطة دير الزور أعلى تكرار سنوي لظاهرة الغبار العالق بمعدل 60 يوم/سنة، حيث شهدت سنة 1991 نحو 120 عاصفة للغبار المتصاعد (عسكر، 1999)، تلتها محطة تدمر بمعدل 43 يوماً/سنة (الشكل 4). ويعود سبب زيادة نشوء الغبار المتصاعد في المنطقة الشرقية إلى كثرة حدوث حالات التسخين المحلية، والتي تشكل بدورها دوامات هوائية، ونظراً لجفاف التربة تعمل هذه الدوامات على إثارة الغبار المتصاعد، والذي ينتج في أغلب الأحيان عن عوامل محلية، بينما تعود أسباب نشوء العواصف الغبارية غالباً إلى مؤثرات خارجية، إذ أن منشأها خارج سورية، وهي ذات تأثير واسع النطاق، وتأخذ اتجاهات معينة تبعاً لمسارات الرياح (الرواس، 2012). وسجل أدنى معدل لتكرار الغبار المتصاعد في غربي سورية ووسطها (أقل من 1 يوم/سنة)، وذلك في محطات اللاذقية وصافيتا وحمص، ويعود ذلك إلى وجود الغطاء النباتي الطبيعي والمزروع الذي يعمل على تماسك التربة، ورفع الرطوبة النسبية فيها.

2 - آلية الكشف عن العواصف الغبارية

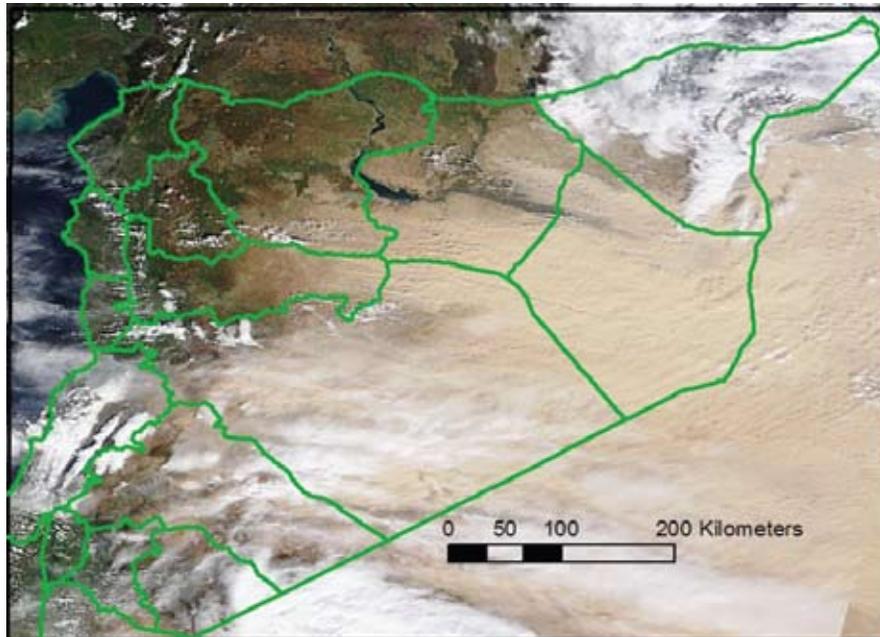
ينجم عن العواصف الغبارية الكثير من جزيئات الغبار التي تتجمع بدورها لتشكل طبقة سديمية في الهواء، تقوم هذه الطبقة بامتصاص وبعثرة الأشعة الشمسية الواردة والأشعة المرتدة من سطح الأرض. ووفقاً لهذه الآلية فإن القيم الراديومترية (الشدة الإشعاعية لكل مستشعر) تتغير تبعاً لاختلاف أطوال الموجة.

يتم الكشف عن منطقة العاصفة الغبارية من خلال الفصل بين الغبار والأجسام الأخرى كالغيوم وسطح الأرض والمياه واستثناءها، إذ تُشكل عوامل تشويش في الكشف عن الغبار العالق في الجو (العاصفة الغبارية) (Di وزملاؤه، 2008). كما يمكن الكشف عن اتساع العاصفة الغبارية وامتدادها من خلال صورة المستشعر MODIS بألوانه الحقيقية، لكن هناك صعوبة في الكشف عنها في المناطق الخالية من الغطاء النباتي، لأن الاختلاف بسيط جداً بين اللون الحقيقي لسطح الأرض الخالي والغبار العالق في الجو، كما يظهر في أعلى الشكل 5 في شمال شرقي محافظة الرقة. مما دفع الباحثين لإيجاد خوارزميات يمكن أن تحدد منطقة العاصفة الغبارية بوضوح. اعتماداً على اختلاف انعكاسية

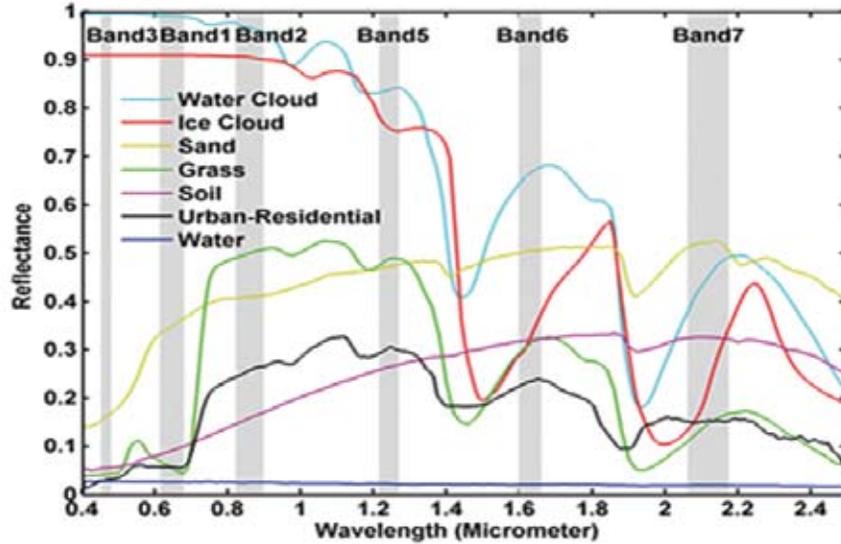


الشكل 4. معدل توزع الغبار المتصاعد في سورية خلال الفترة من 1960 إلى 2006.

مظاهر السطح المختلفة وفقاً للأطوال الموجية، فمن خلال تحليل العاكسية لكل من الغيوم والرمل والغطاء النباتي والتربة والمناطق السكنية والماء في صور MODIS ضمن القنوات الطيفية من 1 حتى 7 (الشكل 6) تبين أن عاكسية الرمل والتربة التي يتكون منها الغبار تزداد ضمن طول الموجة 0.4 و 2.5 ميكرون، إذ يبلغ الحد الأدنى لقيم العاكسية في القناة الثالثة 0.460 ميكرون، ويبلغ الحد الأقصى لقيم العاكسية في القناة السابعة 2.13 ميكرون.

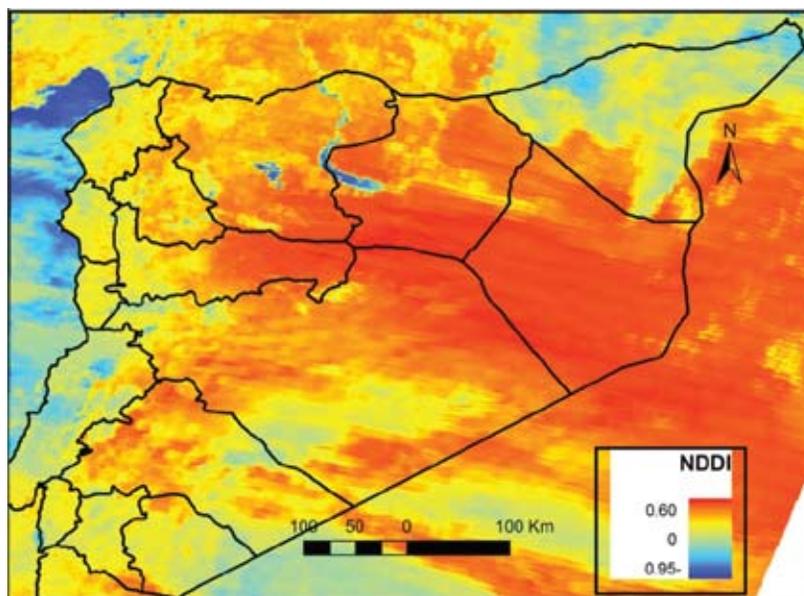


الشكل 5. صورة للمستشعر MODIS بالألوان الحقيقية بتاريخ 2010/2/22 (يلاحظ صعوبة الكشف عن العواصف الغبارية شمال شرقي الرقة).

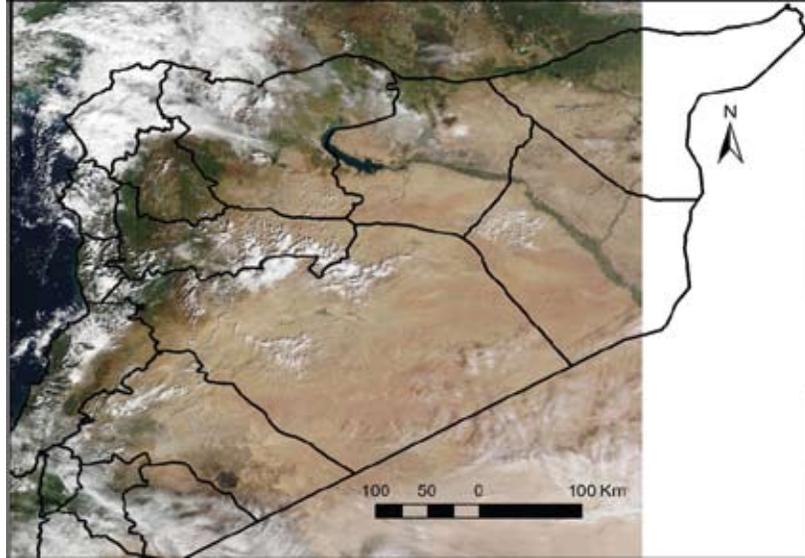


الشكل 6. عاكسيّة الغيوم المائيّة والجليديّة والرّمّل والعشب والتّربة والمناطق الحضريّة على طول نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي (Qu و Kafatos ، 2006).

طبقاً لخاصيّة هذا الطيف في الرمال والتربة فإن من السهولة بمكان تمييز الغبار من الغيوم، إذ تملك الغيوم أعلى عاكسيّة في القناة الطيفية الثالثة، ونظراً لهذه الخصائص فقد تم وضع خوارزمية مركبة من القنوات المرئية تُدعى NDDI (Qu و Kafatos، 2006)، وذلك لتمييز الغبار عن المعالم الأخرى. ومن أجل تمييز الغيوم تكون قيمة التباين الغباريّة سلبية ($NDDI < 0.0$)، وذلك لأن الغيوم تتميز بأعلى عاكسيّة في القناة الطيفية الثالثة وأدنى عاكسيّة في القناة الطيفية السابعة، وتظهر الغيوم باللون الأبيض في الصورة ذات الألوان الحقيقية كما في الشكل 5، بينما تظهر قرينة التباين باللون الأزرق في الصورة الأخرى كما في الشكل 7. أما قيمة التباين لمعالم السطح (النبات والمياه والسكن والغبار) فهي إيجابية ($NDDI > 0.0$)، ولتمييز معالم سطح الأرض عن الغبار عادة ما تكون قيمة معالم السطح أقل منها في الغبار (Qu و Kafatos، 2006)، وقد تبين من خلال المقارنة بين الصورة الحقيقية ليوم العاصفة (الشكل 5) والصورة الحقيقية في اليوم الثاني بعد العاصفة (الشكل 8) (الشكل البيضي في الشكلين 5 و 8)، أن ضفتي الفرات في غربي محافظة دير الزور في الصورة الأولى مغطاة بالغبار (يوم العاصفة)، بينما تبدو المنطقة في الصورة الثانية مغطاة بالنباتات. وقد لوحظ أن قيم NDDI تختلف بين المناطق المغطاة بالغبار والمناطق المغطاة بالغطاء النباتي على جانبي نهر الفرات، إذ وجد من خلال المقارنة بين المناطق المغطاة بالغبار والمناطق المغطاة بالنبات أن قيمة 0.45 يمكن اعتبارها حداً فاصلاً بين الغبار من جهة، ومعالم سطح الأرض المغطاة بالغطاء النباتي من جهة أخرى.

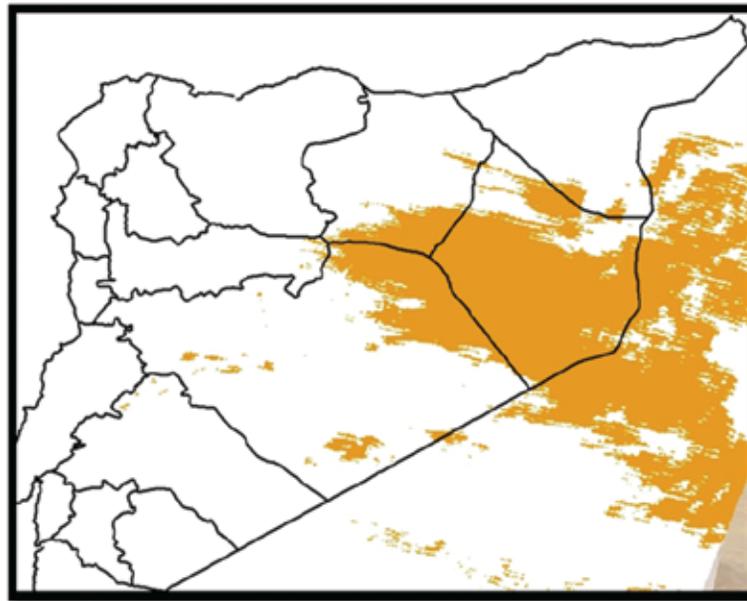


الشكل 7. قرينة التباين الغبارية (NDDI).



الشكل 8. صورة للمستشعر MODIS بالألوان الحقيقية في يوم 2010/2/24 بعد العاصفة الغبارية.

وبالنتيجة أمكن التمييز بين الغبار وباقي معالم سطح الأرض والغيوم، لكن هناك صعوبة في الفصل بين الغبار العالق في الجو (العاصفة الغبارية) من جهة، والغبار أو التراب الموجود على سطح الأرض من جهة أخرى، كما هو الحال في المناطق الخالية من الغطاء النباتي، لذا تم استخدام الأشعة تحت الحمراء الحرارية للفصل بينهما، إذ اعتمدت درجة حرارة السطوح في القناة الطيفية T31 لوضع درجة الحرارة التي يمكن أن تفصل بين الغبار أو التراب الموجود على سطح الأرض والغبار العالق في الجو، إذ أن درجة حرارة الغبار العالق في الجو أخفض من درجة حرارة الغبار أو التراب والغطاء النباتي الموجود على سطح الأرض. تم أخذ درجات الحرارة قرب نهر الفرات ونهر الخابور لكل من المناطق المغطاة بالنباتات والمناطق الجرداء، والمناطق المغطاة بالغبار قرب نهر الفرات، فتم التعرف على المناطق المغطاة بالغبار يوم العاصفة من خلال المقارنة بين الصورة بالألوان الحقيقية لفترة العاصفة (الشكل 5). والصورة بعد العاصفة الغبارية (24 شباط/ فبراير)، إذ خلت المنطقة من العاصفة الغبارية (الشكل 8) كما ذكر سابقاً. وتبين من خلال المقارنة أن درجة حرارة الغبار العالق في الجو أخفض بحدود 6 درجات كلفن منها للغطاء النباتي، و بـ 10 درجات كلفن منها للغبار أو التراب الموجود على سطح الأرض، وبالتالي أمكن اعتبار درجة الحرارة أقل أو تساوي 280 كلفن حداً فاصلاً بين الغبار العالق في الجو والغبار أو التراب على سطح الأرض، وبذلك تم الكشف عن العاصفة الغبارية ومناطق انتشارها (الشكل 9). وقد تطابق هذا الحد الفاصل مع دراسة Di وزملائه (2008)، في حين اعتبر Qu و Kafatos (2006) أن درجة الحرارة 275 كلفن هي الحد الفاصل بينهما.



الشكل 9. تحديد العواصف الغبارية باستخدام قرينة التباين الغبارية ودرجة حرارة السطح للقناة الطيفية T31.

لقد أعطت قرينة التباين الغباري ودرجة حرارة السطوح نتائج دقيقة، إلا أن الأشعة المرئية المستخدمة في قرينة التباين الغبارية لا يمكن أن تُطبق أثناء الليل لكونها تعتمد على الأشعة المرئية، لذا اعتمدت القنوات الحرارية تحت الحمراء لمعرفة خصائص الغبار، فتبين تبعاً لتحليل خصائص الإشعاع أن الغبار العالق يعمل على بعثرة الإشعاع الشمسي، وهو ما يُغيّر من عاكسية سطح الغبار، كما أنه يُبعثر الإشعاع طويل الموجة الواقع تحت سطح الغبار، وهذا يؤثر في عملية انتقال الأشعة طويلة الموجة.

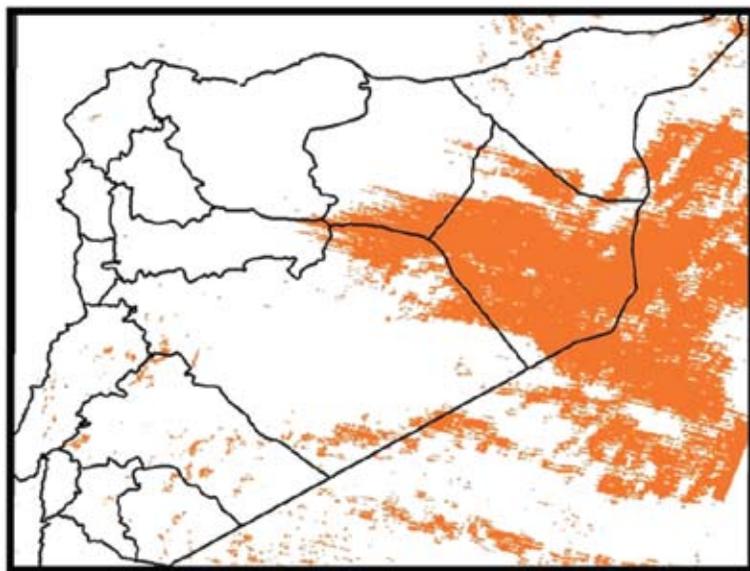
وبالنسبة فإن النطاقات الحرارية يُمكن أن تُستعمل كمُغيّر مهم في تمييز الغبار، وقد اقترح في هذا البحث أن تكون القنوات الطيفية T31 و T32 و T29 هي المجموعة الجديدة لتحديد العاصفة الغبارية، والتي يمكن أن تستخدم ليلاً كما ذكر سابقاً (الشكل 2). تم الفصل بين الغبار وباقي المعالم وفقاً لمرحلتين:

المرحلة الأولى: الفصل بين الغبار العالق في الجو والغيوم من جهة، ومعالم سطح الأرض من جهة ثانية من خلال استخدام القنوات الطيفية T29 و T31، إذ تمتص ذرات الغبار العالقة في الجو والغيوم الإشعاع الكهرومغناطيسي ضمن مجال القناة الطيفية T29 (6.8 ميكرون) بشكل أكبر من القناة الطيفية T31 (11.063 ميكرون)، لذا فإن درجة حرارة الغيوم والغبار في القناة الطيفية T29 أعلى من درجة الحرارة في القناة الطيفية T31 (الجدول 1)، وبالتالي أمكن الفصل بينهما عبر استخدام الفرق في درجة حرارة السطوح ($T29 - T31 > 0$)، فعندما يكون الفرق في درجة حرارة السطوح بين القناتين المذكورتين أكبر من الصفر هذا دليل على وجود عاصفة غبارية أو غيوم أو الاثنين معاً.

المرحلة الثانية: فصل الغبار عن الغيوم من خلال استخدام القناة الطيفية T31 و T32. إذ تمتص ذرات الغبار الإشعاع الكهرومغناطيسي في القناة الطيفية T32 (12 ميكرون) بشكل أكبر منه في القناة الطيفية T31. وبالتالي تكون درجة حرارة السطوح للغبار في القناة الطيفية T31 أقل منها في القناة الطيفية T32 (Jingning وزملاؤه، 2003)، بينما يحدث العكس تماماً مع الغيوم في هاتين القناتين، إذ تكون درجة حرارة الغيوم في القناة الطيفية T31 أعلى منها في القناة الطيفية T32 (الجدول 1). وعندما يكون الفرق في درجة حرارة السطوح بين القناتين أصغر من الصفر ($T31 - T32 < 0$) يكون هناك عاصفة غبارية، بينما إذا كانت القيمة أكبر من الصفر فهذا دليل على وجود غيوم.

الجدول 1. درجة حرارة السطوح في القنوات الطيفية 29 و 31 و 32 لكل من المياه والغيوم والغطاء النباتي والأراضي الجرداء والغبار العالق في الجو خلال العاصفة الغبارية (مأخوذة من خمس نقاط من الصورة لدرجات الحرارة لكل صنف).

السطح	المياه	الغيوم	الغطاء النباتي	الأراضي الجرداء	الغبار
T29	286-280	251-217	290-287	288-284	284-268
T31	289-283	250-213	288-284	291-286	283-267
T32	288-282	249-211	288-285	292-287	284-269



الشكل 10. تحديد العواصف الغبارية باستخدام قرينة الفرق بين درجة حرارة القنوات الطيفية T29 و T31 والفرق بين درجة حرارة القنوات الطيفية T31 و T32.

لدى مقارنة الطريقة الأولى التي تعتمد على الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء (الشكل 9) مع الطريقة الثانية المعتمدة على الأشعة الحرارية تحت الحمراء تم الحصول على نتائج جيدة (الشكل 10)، إذ وصلت نسبة التوافق بين الطريقتين في مناطق انتشار العاصفة إلى 95 %، وهذا يُمكن من الكشف عن العاصفة الغبارية ومراقبتها ليلاً عبر اعتماد الطريقة الثانية المُمثلة بالأشعة تحت الحمراء الحرارية للقنوات الطيفية T29 و T31 و T32.

أظهرت هذه الدراسة أنه لا يمكن الاعتماد على طريقة الفرق في درجة الحرارة بين القناتين T31 و T32 بمفردها للكشف عن الغبار ليلاً، كما بينت ذلك دراسات سابقة كدراسة Qu و Kafatos (2006)، و Ochirkhuyag و Solmon (2008)، لأن درجة حرارة الغبار وحرارة المناطق المغطاة بالغطاء النباتي في كلا القناتين عادة ما تكون متقاربة، ما يُصعب الكشف عن مناطق انتشار العاصفة الغبارية، ولا سيما عندما لا يرتفع الغبار كثيراً في الجو.

الاستنتاجات والمقترحات

تعد العواصف الغبارية سبباً من أسباب التصحر ودليلاً عليه، وقد تُشكّل في أغلب الأحيان إنذاراً مبكراً بالدمار الذي قد يصيب البيئة. وتبيّن من خلال هذا البحث أنّه يمكن الكشف عن العواصف الغبارية ومراقبتها من خلال استخدام صور MODIS في القنوات الحرارية والمرئية نهاراً، أو الحرارية فقط، والتي يمكن اعتمادها ليلاً، في سبيل الحدّ من الأضرار التي تتركها هذه العواصف عبر إقامة منظومة إنذار مبكر عن العواصف الغبارية، ما يُساعد على اتخاذ الإجراءات اللازمة من قبل المؤسسات الحكومية والأهلية للتقليل من الخسائر التي تحدثها هذه العواصف. كما أنّه من الضروري هنا الفهم الكامل للعواصف الغبارية من خلال دراسة آلية نشوئها ومساراتها كإيجاد طرائق سينوييتيكية أو إحصائية للتنبؤ بها. إضافةً إلى ذلك يُعد هذا البحث خطوةً لمزيد من الأبحاث حول الكشف عن مناطق العواصف الغبارية وتحديد كثافتها ومساراتها.

المراجع

- أكساد (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة). 2004. مسح الموارد الطبيعية في البادية السورية، دمشق.
- الرواس، رهنف. 2012. الظواهرات الغبارية في سورية، مجلة بحوث جامعة دمشق، سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية (قيد الطباعة).
- شحادة، نعمان. 1991. مناخ الأردن، الطبعة الأولى، دار البشير، عمان.
- عسكر، محمود. 1999. دراسة تكرارية العواصف الترابية وعوامل ظهورها في البادية السورية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 15: 157-165.
- Azizi, G., S.K. Alavi Panaha, N. Goodarzi and M. Kazemi. 2007. An estimation of the temperature of Lut desert using MODIS sensor data. BIABAN, 12: 7 - 15.
- Di, M., X. Lu, L. Sun and P. Wang. 2008. A dust-storm process Dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing.
- Ganor, E., and M. Mamane. 1982. Transport of Saharan dust across the eastern Mediterranean. Atmospheric Environment, 16: 581 - 587.
- Goudie, A.S. and N.J., Middleton. 2006. Desert Dust in the Global System. Springer, Berlin Heidelberg New York, Germany.
- Güllü, G. 2005. Source regions of dust transported to the eastern Mediterranean. In: Tuncel G., Proc Int Symp Air Qual Manage Urban Reg Global Scales, 3: 59 - 67.
- Hao, X., and J. J. Qu. 2007. Saharan dust storm detection using moderate Saharan dust storm detection using moderate bands. Journal of Applied Remote Sensing, 1: 1 - 9.
- Jingning, L., F.Yida and S. Peijun. 2003. Information comparable method of monitoring the intensity of dust storm by multisource data of remote sensing. Journal of natural disasters, 12(2):29 - 34.
- Koren, I., and Y.J. Kaufman. 2004. Direct wind measurements of Saharan dust events from Terra and Aqua satellites. Geophysical Research Letter, 31L06122.
- Kublitay, N., T. Cokacar, and T.Oguz. 2003. Optical properties of mineral dust outbreaks over the north-eastern Mediterranean. Journal Geophysical Research 108:D21, doi: 10.1029/2003JD003798.
- Middleton, N.J. 1986. Dust storms in the Middle East. Journal Arid Environment, 10: 83 - 96.
- MODIS Characterization Support Team (MCST). 2006. MODIS Level 1B Product User's Guide. Greenbelt, MD 20771, 75 p.
- Ni.,G., and L. Yun. 2006. A Study on Quantitative Identification of Sand and Dust Storm Using MODIS Data. Arid Meteorology, 24(1): 1 - 6.
- Ochirkhuyag, L., and R.T. Slomon. 2008. Monitoring the source trans- National Dust storm in north east Asia. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, Vol. XXXVII. Part B7: 835-840.
- Qing, L., W. Qiao and W. Wang. 2006. The Application of the Operational Storm Monitoring Based on Terra/MODIS. Remote Sensing for Land & Resources, 1:43 - 45.
- Qu, J.J., and M. Kafatos. 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. Geosciences and Remote Sensing letters, 3 (4): 484 - 486.