

دراسة تحليلية للعاصفة الغبارية التي شهدتها الشرق الأوسط في أيلول 2015

هاشم شربا**

د. حمود العرابي*

الملخص

تعتبر العاصفة الغبارية التي تعرضت لها منطقة الشرق الأوسط في أيلول من عام 2015 فريدة من نوعها بسبب المقدار الهائل من الغبار الذي حملته والجغرافية الكبيرة التي غطتها، بالإضافة للمسار الذي اتخذته من منطقة الحدود السورية العراقية باتجاه الساحل الشرقي للبحر المتوسط وصولاً لجزيرة قبرص وشبه جزيرة سيناء وهو مسار غير مسجل في تاريخ الأرصاد الجوية، إضافةً للأضرار البشرية والمادية التي خلفتها هذه العاصفة.

قسمت الدراسة لعدة مراحل، مرحلة ما قبل العاصفة وهي موجة حارة طويلة الأمد سيطرت على المنطقة وساهمت في جفاف التربة وإضعاف تماسك ذراتها، ثم مرحلة تشكل العاصفة الغبارية الناتجة عن تأثير منخفض حراري سطحي تقابل مع منخفض علوي عزز من حركة الرفع الشاقولية الديناميكية نجم عنها عملية حمل للأتربة والغبار عالياً، تلى ذلك مرحلة الانتشار والتي حل بها مرتفع علوي شبه مداري أطال

* أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق.

** متبني جوي - مركز التنبؤ المركزي - مديرية الأرصاد الجوية.

من فترة بقاء الغبار المعلق وحال دون انقشاعه، وأخيراً مرحلة التبدد الناجمة عن سيطرت التيارات الغربية في طبقات الجو العليا. كما تناولت الدراسة إمكانية التنبؤ المسبق بهذه العاصفة واستخدام نموذج ايتا لهذا الغرض من خلال تنفيذ تنبؤ مبني على بيانات تسبق تشكل العاصفة بست ساعات وبدقة أفقية تصل لـ 10km. وفي هذا السياق لفتت الدراسة للنشاط البشري المساهم في تشكل مثل هذا النوع من العواصف وتكرارها.

الكلمات المفتاحية: نموذج ايتا، عاصفة غبارية، دراسة سينوبتيكية.

Synoptic study of dust storm over Middle East during September 2015

Dr. Hammoud Al-Ourabi* Hashem Sharba**

Abstract

The dust storm which hit the Middle East in September 2015 is considered to be a unique one, due to the huge quantity of loaded dust and the big covered area, in addition to its path from the Syrian-Iraqi borders toward the eastern coast of the Mediterranean Sea, reaching Cyprus and Sinai peninsula, this path was not recorded before in the history of meteorology. Besidethehuman and material damages.

The study was divided into stages: pre-storm stage which was a long-lasting heat wave that hit the region, and contributed to the fragmentation of the soil and the weakening of its cohesion, followed by the stage of formation dust storm caused by the effect of a thermal surface depression, corresponded with an upper trough. That enhanced the vertical lifting upward movement resulting in loading high dust and sand. After that, came the spread stage, in which an upper subtropical high dominated so it lengthened the period of the suspended dust and prevented it to dissipate. Finallythe dissipation stage resulting from the western flow in the upper atmosphere.

This study also examined the probability of predicting this storm, for this purpose Eta Model was used by running a forecast with a base of six hours before the formation of the storm and with horizontal resolution that reaches 10km. The attention drew in the study tothe human role in forming such storm, and the possibility of recurrence in the next time.

Keywords: Eta model, Dust storm, Synoptic study.

* Assistant Professor, Physics Department, College of Sciences, Damascus University.

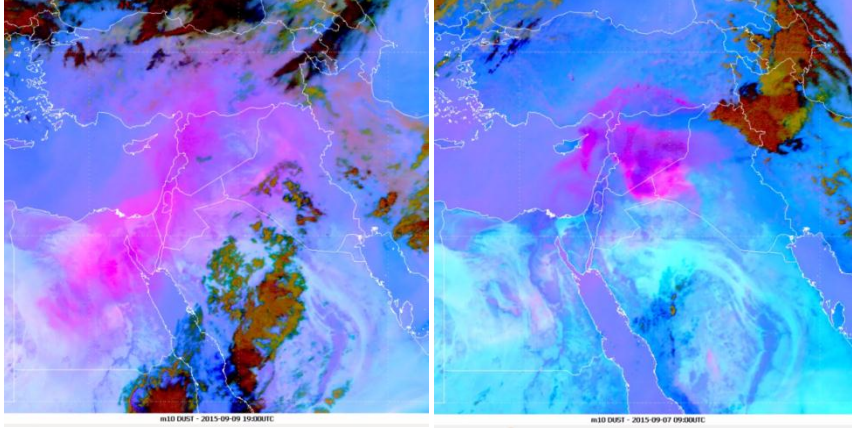
** Weather forecaster, Forecasting Center, Syrian Meteorological Department.

المقدمة:

تعرضت منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط لعاصفة غبارية ضخمة تناولتها مراكز بحثية مختصة بشؤون الطقس والمناخ كما لقيت اهتماماً عالمياً ملحوظاً لكونها حالة غير مسبوقة في سجلات الأرصاد الجوية. وقد ضربت هذه العاصفة في الفترة الممتدة من السادس من أيلول وحتى الثاني عشر منه خلال العام 2015 ونتج عنها حالة وفيات ومشاكل صحية واضرار اقتصادية وبيئية.

آلية حدوث العاصفة:

في البداية تصاعد الغبار من وادي ما بين النهرين - دجلة والفرات - وتحديداً من منطقة الحدود السورية العراقية خلال يومي السادس والسابع من أيلول نتيجة لتعرض المنطقة المذكورة لمنخفض جوي حراري سطحي ترافق مع منخفض في طبقات الجو العليا وأدت هذه المنظومة لحمل كميات كبيرة من الغبار وانتقل بدوره بحركة سايلونية بشكل نصف دائرة - تحت تأثير المنخفض الحراري السطحي - ليغطي بنهاية يوم السابع من أيلول كامل سورية ومنطقة المفرق بالأردن وجزء من السواحل المتوسطية التركية، وفي اليوم الثامن من أيلول غطت الغمامة الغبارية كامل لبنان وفلسطين وقبرص، وفي اليوم التاسع من أيلول امتدت العاصفة باتجاه الجنوب الغربي لتصل شمال شرق مصر وقناة السويس، وذلك بخلاف المعتاد حيث تعتبر هذه المنطقة مصدراً للغبار من خلال الرياح الموسمية والخماسين ولم تشهد سابقاً هذا المسار العكسي للعواصف الغبارية.



الشكل (1) صورة من القمر الصناعي الأوروبي تظهر العاصفة الغبارية باللون الزهري، خلال يوم 2015/09/07 الساعة 9:00 بالتوقيت العالمي (اليمن)، وفي يوم 2015/09/09 الساعة 19:00 بالتوقيت العالمي (اليسار).

وقد لوحظ بقاء الغبار معلقاً في الجو في الفترة 8-12 أيلول تحت تأثير المرتفع الجوي العلوي الذي تسبب بحالة استقرار جوي ورياح ضعيفة أطالت من فترة بقاء الغبار المعلق في الجو.

يظهر في الشكل (1) مرحلة تشكل العاصفة الغبارية وبداية الحركة السايكلونية للغبار (الشكل الأيمن) ليمتد باتجاه الغرب وصولاً لقبرص وشمال لبنان وجنوب تركيا، أما الشكل الأيسر فيبين أقصى مدى للعاصفة الغبارية ووصول الأتربة والغبار حتى وسط مصر [11][13].

هدف البحث:

- 1-دراسة سينوبتيكية للحالة الجوية المرافقة للعاصفة الغبارية سطحياً وفي طبقات الغلاف الجوي العليا، والتي ساهمت في تشكل وبقاء العاصفة الغبارية.
- 2- تطبيق عملي للنموذج العددي ايتا في حالة العاصفة الغبارية المدروسة، من أجل تعزيز المقدرة على التنبؤ بحالات مماثلة مستقبلاً.

3- دراسة إمكانية تأثير عوامل إضافية لحدوث أو تعزيز العواصف الغبارية كالنشاط البشري أو ظروف جوية خاصة وغيرها.

التمهيد النظري:

الظاهرة الغبارية بمفهومها العام هي تواجد مجموعة من الحبيبات والجسيمات الصلبة الصغيرة المتواجدة في الهواء، والتي يختلف تركيزها في واحدة الحجم، كما يختلف متوسط حجم الحبيبات وطبيعتها باختلاف مصدرها [3].

عندما ترتفع هذه الحبيبات ذات القطر أقل من 0.6mm إلى ارتفاع يزيد عن 1km عن سطح الأرض تحت تأثير الرياح القوية والتي تزيد عن قيمة حدية تبلغ 14m.s^{-1} ، وتخفض الرؤية الأفقية دون 1000m نتيجة لحجب ضوء الشمس عبر السحابة الغبارية تدعى عندئذ هذه الظاهرة بالعاصفة الغبارية.

أما عندما تبلغ سرعة الرياح $7-14\text{ m.s}^{-1}$ فإن الحبيبات المحمولة بالهواء تكون أصغر حجماً ويصل متوسط قطر الحبيبات $1-3\text{ }\mu\text{m}$ ، مما يجعل الرؤية الأفقية خلالها تبلغ (1000-4000) m وتدعى هذه الظاهرة بالأتربة المثارة، وتعتبر هذه المرحلة مقدّمة لتشكل العواصف الترابية [4][5].

تمتاز مناطق تشكل العواصف الغبارية بأن التربة فيها رسوبية مفتتة ناعمة وغنية بالغرين والطيني الجاف مع وجود دقائق أكبر تشارك فيعملية التصادم والتفتيت. إضافة إلى ندرة الغطاء النباتي وشح الهطول وهي ميزات مناطق البوادي والصحاري [4]. ومن المعلوم امتداد منطقة الشرق الأوسط على حزام مناطق العروض المتوسطة الذي يتميز بالجفاف بسبب التسخين الشمسي الكبير والتيارات الهوائية الهابطة الناتجة عن خلية هادلي، الأمر الذي جعل هذه المنطقة منطقة صحاري وجافة أو بوادي وشبه جافة، وقد بينت الدراسات بأن منطقة حوض نهري دجلة- الفرات هي المنطقة الأكثر تكراراً للعواصف الرملية في الشرق الأوسط، وقد

تصل تكرارية الأجواء السديمية في المنطقة الشرقية لسورية والغربية للعراق إضافة للكويت لأكثر من 200 يوم سنوياً، ثم تليها منطقة السواحل العُمانية [9]. ولمعرفة سبب معاناة المنطقة المدروسة من هذه الظاهرة يجب معرفة أن حدوث العواصف الغبارية والرملية مرتبطة بتوافر ثلاثة شروط هي:

1- الرطوبة النسبية المنخفضة: لكون المنطقة هي منطقة شبه صحراوية أو بادية فإنها تتميز بالرطوبة السطحية المنخفضة والجفاف، وهو ما يجعل ذرات التربة مفككة وهشة ويسهل حملها بالرياح.

2- الرياح السطحية الحرجة: إن زيادة سرعة الرياح عن حد ما يؤدي لرفع الغبار والرمل وتشكيل العواصف، لكن هذه السرعة الحدية مرتبطة بالمكان وما يميزه من تضاريس ونوع التربة، وكلما زادت سرعة الرياح فوق السرعة الحدية زادت كمية الغبار المحمولة وكبر حجم الحبيبات المحمولة.

3- حالة عدم الاستقرار: أي وجود تيارات حمل صاعدة قوية تسهم في رفع التربة تكون ناتجة عن منخفضات سطحية حرارية أو ديناميكية، ولكن يعتبر الشرطان الأولان أكثر أهمية، إذ يمكن أن تحدث عواصف الغبارية ضعيفة في الأجواء المستقرة.

ويضاف إلى ذلك العامل البشري في المساهمة بتعزيز الظواهر الغبارية ففي دراسة أجراها جيونكس في مختبرات ديناميك السوائل الجيوفيزيائية في NOAA (الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي) وجد بأن 25% من الظواهر الغبارية ذات منشأ بشري [6].

الظواهر الغبارية في سورية:

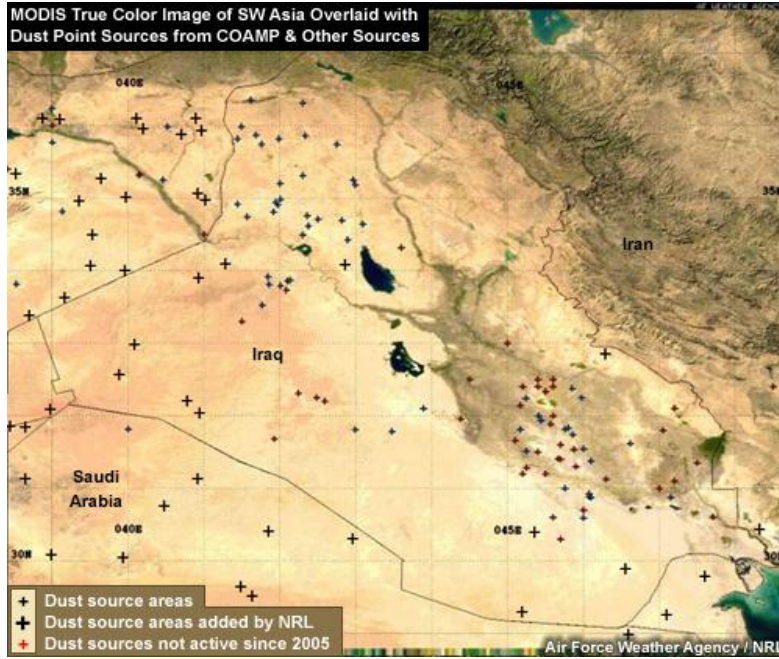
تقع سورية في المنطقة الجغرافية الممتدة بين خطي عرض (32° - 37.30°) شمالاً وخطي طول (35.30° - 42°) شرقاً، وتتألف بشكل رئيسي من ثلاث مناطق هي:

1- الشريط الساحلي: وهو سهل ساحلي ضيق على شاطئ البحر الأبيض المتوسط.

2- المنطقة الجبلية: تقع إلى الشرق من الشريط الساحلي، وتتألف من سلسلتين جبليتين ضيقتين يصل عرضهما وسطياً 32km، يبلغ وسطي ارتفاع السلسلة الغربية 1212m وأعلاها قمة النبي يونس 1575m، أما السلسلة الشرقية فهي أعلى ارتفاعاً ويقع معظمها في لبنان وتبلغ أعلى قمة 2814m. كلا السلسلتان تمتدان بشكل مواز للساحل مما يجعلها تلعب دوراً كبيراً في توزيع الهطول في المنطقة فهي تشكل مصد للتيارات الرطبة البحرية فتستقبل الكمية الأوفر من الهطولات متجاوزة 1000mm سنوياً في كثير من المناطق في حين يتلقى الداخل مادون 400mm سنوياً.

تملك كلا المنطقتين الساحلية والجبلية مناخاً متوسطياً ونادراً ما تعاني من الظواهر الغبارية التي تصل إليها عبر الرياح الموسمية خلال الفصول الانتقالية من الجنوب الغربي مثل رياح الخماسين.

3- الهضبة الشرقية: يتراوح ارتفاعها (610-910)m وتتحول إلى سهول رملية كلما اتجهنا شرقاً باتجاه الحدود العراقية. وتشكل الأجزاء الجنوبية والشرقية ما يسمى بالبادية السورية، كما يعبر هذه المنطقة نهر الفرات.



الشكل (2) توزع مصادر الغبار في وادي الرافدين ويعبر عنها بإشارة الزائد باللون الأسود، أما الزائد باللون الأحمر فهي المناطق الخاملة بعد عام 2005 نتيجة إعادة استصلاح الأراضي.

يمتاز المناخ في المناطق الداخلية بكونه أكثر جفافاً، وأبرد شتاءً وأحر صيفاً بالنسبة لبقية المناطق وتبلغ درجات الحرارة العظمى في كل من دمشق وحلب وأواسط الثلاثينات صيفاً في حين تصل لنهايات الثلاثينات وبداية الأربعينات في البادية في كل من تدمر ودير الزور.

إن الطبيعة شبه الصحراوية الجافة والتسخين الشديد صيفاً للمناطق الشرقية من سورية والظمي الناتج عن نهر الفرات تجعل من هذه المنطقة مصدراً للظواهر الغبارية التي تحدث غالباً خلال فصل الصيف والربيع ويمكن أن تحدث نتيجة عبور الجبهات الحارة أو الباردة أحياناً، كما تصل هذه المنطقة الظواهر الغبارية المحمولة مع الرياح الموسمية والخمسين [10].

تقسم الظواهر الغبارية والرملية في سورية من حيث المنشأ إلى الأقسام الآتية:

أولاً- الظواهر الغبارية المرافقة للجبهات: يمكن للجبهات الباردة والحارة على حد سواء أن تؤدي لحدوث ظواهر غبارية، وتمتاز الباردة منها بتأثير أكبر بسبب حالة عدم الاستقرار المرافقة لمقدمة الجبهة الباردة التي هي عبارة عن كتلة هوائية باردة - ذات كثافة عالية- تعزز الحركة الشاقولية للهواء وتحدث حالة عدم استقرار ونشاطاً بسرعة الرياح وهذا بدوره يثير الغبار في المناطق التي تمتاز بتربة مفككة وهشة كما هو الحال في الأجزاء الشرقية والبادية من سورية. أما الجبهات الحارة فهي أقل تأثيراً بشكل عام ولكن عبور الجبهة الحارة يخفض الضغط ويسخن سطح الأرض مما يؤدي لحركة صاعدة يمكن أن تتسبب بعاصفة غبارية إذا رافقها نشاط بالرياح.

ثانياً- الظواهر الغبارية المرافقة للرياح الموسمية: وأهم هذه الرياح هي رياح الخماسين والتي تتشكل خلال فصل الربيع في الصحراء الكبرى وتكون محملة بالرمال والأتربة وتعتبر مصر وتصل بلاد الشام وشبه الجزيرة العربية وتسبب ارتفاعاً في درجات الحرارة وانخفاضاً كبيراً في مدى الرؤية، كما تبلغ أوجها عندما تترافق مع منخفض في طبقات الجو العليا مما يساهم في تعزيزها وزيادة في سرعة الرياح [2].

ثالثاً- الظواهر الغبارية المرافقة للمنخفضات الحرارية: المنخفضات الحرارية هي مناطق ضغط منخفض ناتجة عن مناطق التسخين الكبير بجوار سطح الأرض، وتحدث المنخفضات الحرارية عادة خلال فصل الصيف فوق المناطق القارية شبه المدارية وهي ثابتة وتبلغ ذروتها في المناطق الصحراوية [7].

ومن أهم المنخفضات الحرارية المؤثرة في المنطقة المنخفض الموسمي الهندي ومنخفض البحر الأحمر بالإضافة للمنخفضات المحلية الصغيرة، وتؤدي جميع هذه المنخفضات لإحداث حالة من عدم الاستقرار الذي يؤدي لإثارة الغبار وتتطور لعواصف غبارية ورملية عند امتدادها إلى مناطق ذات تربة مفككة وهشة كما هي الحال في البادية وعلى ضفاف الأنهر حيث يوجد الطمي الجاف كما يعزز من هذا

الأثر النشاط البشري كالزراعة الحقلية الموسمية والرعي بالإضافة للنشاط الصناعي[1].

مواد البحث:

استخدم في هذا البحث بيانات عالمية من NOAA (الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي) على شكل ملفات girb2 و Netcdf تمت معالجتها واستخدامها بواسطة برنامج The Grid Analysis and Display System (*GrADS*) وتتضمن:

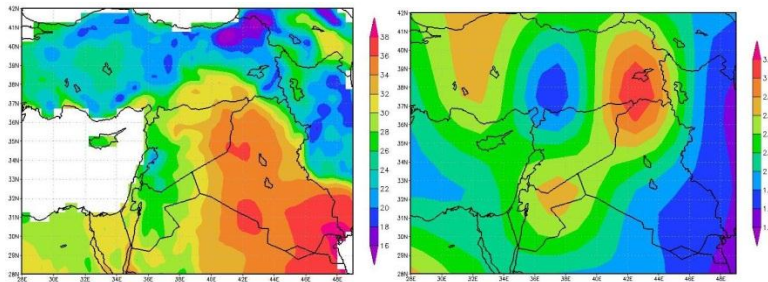
- وسطي درجة الحرارة السطحية الشهرية.
- الانحراف Anomaly عن الوسطي الشهري درجة الحرارة مأخوذاً من العام 1948 وحتى الوقت الحالي.
- بيانات معاد تحليلها Reanalysis data لفترة الدراسة وتشمل بارامترات السطح والغلاف الجوي بدقة أفقية $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$.
- موديل ايتا العددي بإصداره Worketa 2010 مع تعديلات معالجة التضاريس Slope mountain.

النتائج والمناقشة:

ستقوم بهذا البحث بتقسيم مراحل تطور العاصفة الغبارية إلى الأقسام التالية: المرحلة السابقة لتشكل العاصفة، مرحلة التشكل، مرحلة الانتشار، وأخيراً مرحلة الانحسار. أولاً- المرحلة السابقة لتشكل العاصفة: لقد عانت المنطقة خلال الشهر الذي سبق العاصفة الغبارية المذكورة من عدة موجات حارة، وتجاوز معدل درجة الحرارة لشهر آب 2015 الثلاثين درجة في الأجزاء الشرقية من سورية كما يبين الجزء الأيسر من الشكل(3) ووصلت حتى 38 درجة مئوية في جنوب العراق والكويت. كما وصلت درجة الحرارة العظمى في العديد من أيام الشهر المذكور نهايات الأربعينيات في المناطق الشرقية وتجاوزت الخمسين درجة في جنوب العراق والكويت حيث بلغت درجات حرارة قياسية عندئذ.

يبين الجزء الأيمن من الشكل (3) انحراف درجة حرارة السطحية ودرجة حرارة سطح البحر لشهر آب 2015 عن قيمة المعدل الشهري لشهر آب حيث يظهر الانحراف الأعظمي في منطقة تلاقي الحدود السورية العراقية التركية وتتجاوز الزيادة عن المعدل ثلاث درجات مئوية، وبالعوم فالمنطقة المدروسة كلها تتجاوز المعدل بدءاً من 1.4 درجة مئوية.

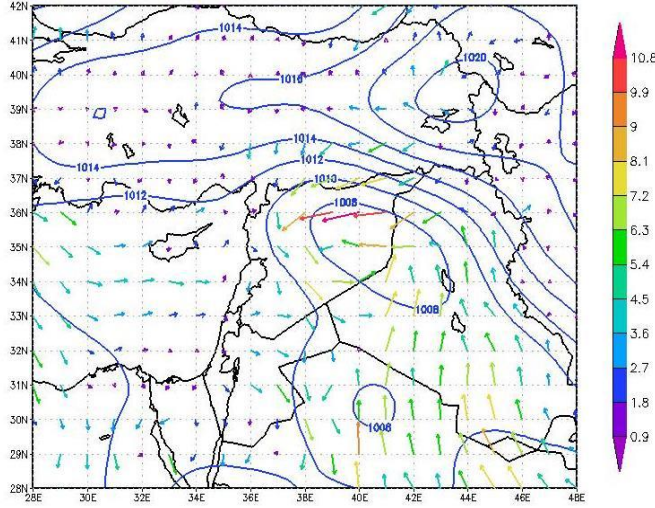
يقلل الارتفاع بدرجة الحرارة من رطوبة التربة ويزيد من تفتتها ويضعف من تماسك ذراتها الأمر الذي يسهل حملها بالهواء ويزيد من احتمال حدوث العواصف الغبارية فتصبح السرعة الحدية اللازمة لحدوث العواصف الغبارية أقل وكمية الغبار المحمول في الهواء أكبر مما هو عادةً.



الشكل (3) انحراف درجة حرارة شهر آب 2015 عن قيمة المعدل الشهري لشهر آب (اليمن)، وسطي درجة الحرارة المسجلة خلال شهر آب 2015 (اليسار).

ثانياً- مرحلة تشكل العاصفة الغبارية: بدء تصاعد الغبار خلال يوم 2015/09/06 في الساعة السادسة بالتوقيت العالمي -التاسعة صباحاً بالتوقيت المحلي- وهو التوقيت الأكثر ملاءمةً لتشكل الظواهر الغبارية بسبب بداية التسخين الشمسي اليومي والذي يسخن سطح الأرض بشكل غير متجانس خلال فترة الصباح مما يساهم في حالة عدم استقرار وتشكل حركات رفع دوامية محلية تعزز الوضع السينوبيتيكي الذي يظهر في الشكل (4) تأثرمنطقة الحدود السورية العراقية بمنخفض

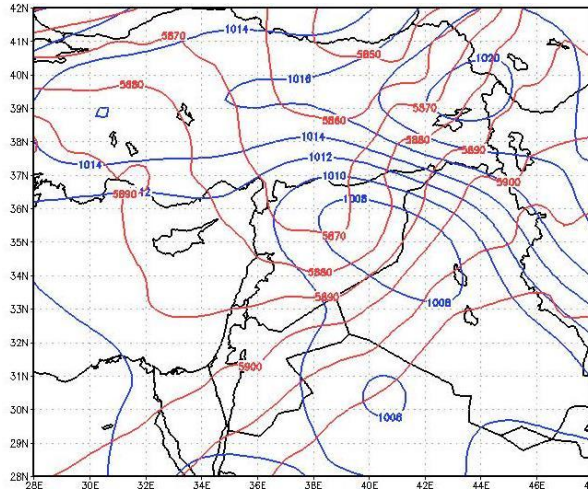
جوي حراري سطحي قيمة مركزه 1008 ميلي بار من الجنوب الشرقي والذي يشكل امتداد للمنخفض الموسمي الهندي.



الشكل (4) خطوط تساوي الضغط الجوي بالنسبة لسطح البحر بالميلي بار (الخط المتصل)، وتدل الأسهم الملونة على سرعة الرياح السطحية (m/s) بتاريخ 2015/09/06 الساعة 6:00 بالتوقيت العالمي ويظهر أيضاً في ذات الشكل سرعة الرياح السطحية التي تتجاوز سرعتها 10.8 m.s^{-1} في منطقة تشكل العاصفة الغبارية، لكن سرعة الرياح زادت إلى الضعف بحسب البيانات المعاد تحليلها على شكل هبات لا تتجاوز مدتها 20 ثانية وذلك بسبب التسخين الشمسي وحركة الرفع الشاقولي للهواء المرافقة للمنخفض، وهذه الهبات تسهم بدورها في زيادة إثارة الغبار.

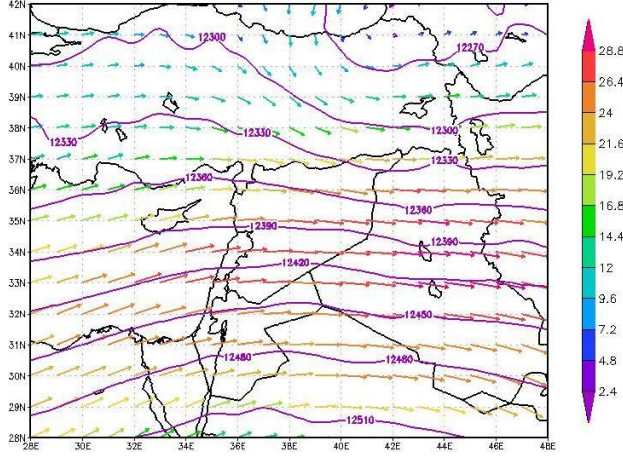
بالانتقال إلى سوية 500 ميلي بار والتي تلعب دوراً رئيسياً بتطور حالة الجو لكونها تقع في منتصف منطقة التروبوسفير حيث تتضمن أغلب العوامل والظواهر الجوية، نجد في الشكل (5) تأثر البلاد بمنخفض جوي في طبقات الجو العليا بقيمة ارتفاع تبلغ 5870 gpm وأهم ما يميز الوضع الجوي القائم كون المنخفض السطحي والعلوي

على محور شاقولي واحد مما يعزز الحركة الشاقولية للرياح ويسهم بحمل الغبار إلى سويات أعلى وبالتالي انتشار للغبار لمسافات أكبر. يتضح من الشكل (5) أن منطقة تقاطع المنخفض العلوي مع السطحي بجوار النقطة $36^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{E}$ هي منطقة تباعد Divergence- أي المسافة بين خطوط الارتفاع تتباعد في المنطقة التي تقع إلى الشرق من محور المنخفض مقارنةً مع المسافة بين خطوط الارتفاع إلى الغرب من المحور- وبحسب نظرية Sutcliffe Development Theory فإن المنخفضات العليا من النمط المتباعد تعزز المنخفضات السطحية وحركات الرفع الرأسية من أجل تعويض تخلخل الهواء في طبقات الجو العليا الناجم عن التباعد [12].



الشكل (5) خطوط تساوي الضغط الجوي بالنسبة لسطح البحر بالملي بار (الخط الأزرق)، خطوط تساوي الارتفاع على 500 ميلي بار (الخط الأحمر) بتاريخ 2015/09/06 الساعة 6:00 بالتوقيت العالمي.

يظهر في الشكل (6) خطوط تساوي الارتفاع على سوية 200 ميلي بار والتيار النفاث شبه المداري يمر فوق منطقة تشكل العاصفة الغبارية وتبلغ سرعتها (26.4-28.8) $m.s^{-1}$ مما يعزز الفعالية الجوية في المنطقة المذكورة ويقوي الرياح السطحية.



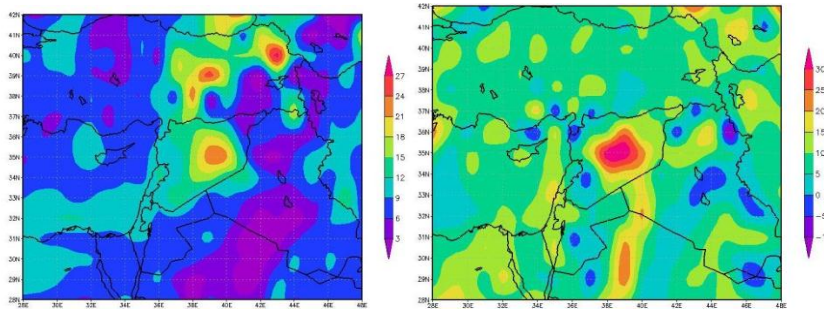
الشكل (6) خطوط الارتفاع على سوية 200 ميلي بار (الخط المتصل)، سرعة الرياح في سوية 200 ميليبار (الأسهم الملونة)

بتاريخ 2015/09/06 الساعة 6:00 بالتوقيت العالمي.

تساهم الحركة الدوامية برفع كميات أكبر من الرمال والغبار من سطح الأرض إلى ارتفاعات أكبر وتساهم في انتشار أوسع للعاصفة الغبارية، لذا سنتفحص الدوامية الكلية Absolute vorticity والتي تنشأ نتيجة ثلاثة عوامل هي: رياح القص الأفقية Horizontal wind shear، الانحناء المرافق لشكل المنخفضات، بالإضافة لقوة كوريوليس الناجمة عن حركة الأرض حول نفسها؛ وتكون قيمة الدوامية الكلية موجبة في حالات الرفع الشاقولي وسالبة من أجل الحركات الشاقولية الهابطة.

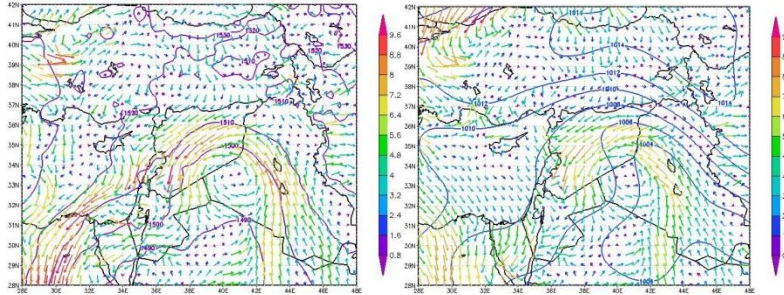
يظهر في الشكل (7) الدوامية الكلية في سويتي 850 و 500 ميليبار وفي كلتا الصورتين تبدو القيمة الموجبة للدوامية بقيمة تتجاوز 30×10^{-5} في سوية 850 ميليبار

في مركز المنخفض وقيمة تتجاوز 27×10^{-5} في سوية 500 ميلليبار. إن القيم التي تتجاوز 14×10^{-5} تدل على وجود دوامات Eddies وكلما كبرت قيمة الدوامية كلما كانت حركة الدوامات أكبر، وهي بدورها تعزز منظومة المنخفض الجوي السطحي وتحرض عمليات الرفع الشاقولي والتي تستخدم كمعيار تنبؤي لاستمرار هذه المنظومة بالأوقات التالية وبالتالي زيادة في تحميل الجو بالغبار وهذا ما عزز فعالية العاصفة الغبارية المدروسة. لقد استمر تزويد الجو بالغبار وازدادت سرعة الرياح السطحية ليلاً لتتجاوز سرعتها في الساعة 00 عالمي 14.4 m.s^{-1} . كما بقي التوافق القائم بين المنخفض السطحي والمنخفض العلوي ولكنه تحرك باتجاه الجنوب الشرقي وتعمق المنخفض السطحي لتصبح قيمة المركز 1006 ميلليبار خلال اليوم التالي بالإضافة إلى أن وجود غبار ورمال في الجو ساهمت في اقتلاع الجسيمات من التربة الأكبر حجماً نتيجة للتصادم بين الذرات المعلقة في الهواء والتموضعة على التربة، وفي نفس الوقت تسببت الرياح الشرقية والشمالية الشرقية بانتشار الغبار باتجاه بقية المناطق لتنتشر العاصفة الغبارية معظم منطقة شرق المتوسط في يوم 2015/09/07.



الشكل (7) الدوامية الكلية على سوية 850 ميلليبار (اليمين)، على سوية 500 ميلي بار (اليسار)، قيمة الدوامية 10^{-5} S^{-1} بتاريخ 2015/09/06 الساعة 6:00 بالتوقيت العالمي.

ثالثاً- مرحلة الانتشار: أدت الحركة السايكلونية -عكس عقارب الساعة- الناجمة عن المنخفض السطحي بنشر الغبار باتجاه المناطق الغربية والجنوبية من سورية كما تبين الرياح السطحية بتاريخ 2015/9/7 الساعة 12 بالتوقيت العالمي في الشكل (8) حيث بلغت سرعتها بحدود 8m.s^{-1} وساهمت الحركة الدورانية المغلقة بزيادة حمولة الغبار من منطقة البادية وزيادة كثافة المعلقات بالهواء.

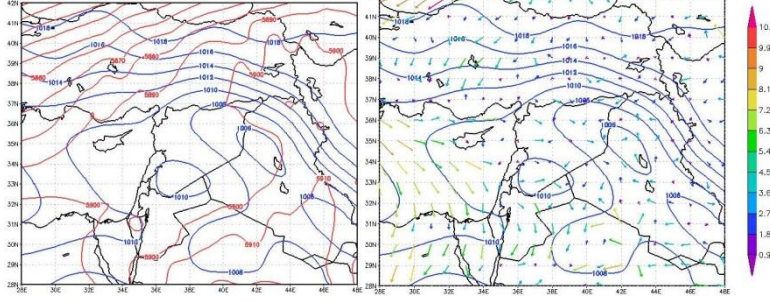


الشكل (8) خطوط تساوي الضغط الجوي بالنسبة لسطح البحر بالميللي بار (الخط المتصل)، وتدل الأسهم الملونة على سرعة الرياح السطحية (m/s) (اليمين)، خطوط الارتفاع على سوية 850 ميليبار (الخط المتصل)، وتدل الأسهم الملونة على سرعة الرياح على ذات السوية (m/s) (اليسار) بتاريخ 2015/09/07 الساعة 12:00 بالتوقيت العالمي.

يدل الشكل الأيسر من الشكل (8) على نشاط الرياح وامتداد المنخفض السطحي حتى 1500m فوق سطح البحر وتتجاوز سرعة الرياح على سوية 850 ميليبار 9.6m.s^{-1} وهي أكبر من السرعة على سطح الأرض لعدم وجود الاحتكاك، وعلى هذه السوية يتم حمل جسيمات الغبار الأقل حجماً ويتم نقلها إلى مسافات أكبر. وقد وصل الغبار في تلك الساعة معظم الأراضي السورية وشمال لبنان بالإضافة لشرق الأردن وشرق قبرص.

بتاريخ الثامن من أيلول الساعة 18 بالتوقيت العالمي الشكل (9) تتأثر البلاد بامتداد مرتفع جوي في طبقات الجو العليا كما يبدو من خطوط الارتفاع بسوية 500 ميلي بار، وامتد تأثير المنخفض الموسمي الهندي وزال المنخفض العلوي مما أدى إلى

إضعاف الفعالية وخلق جو من الاستقرار تجلى بضعف حركات الرفع الشاقولية وضعف الرياح السطحية بالتالي توقف حمل الهواء للغبار ولكن بقاء حالة الاستقرار أبقي على المعوقات في الهواء التي ترسبت ترسباً جافاً بشكل بطيء جداً مما أطال من فترة بقاء العاصفة الغبارية التي امتدت حتى يوم الثاني عشر من أيلول.



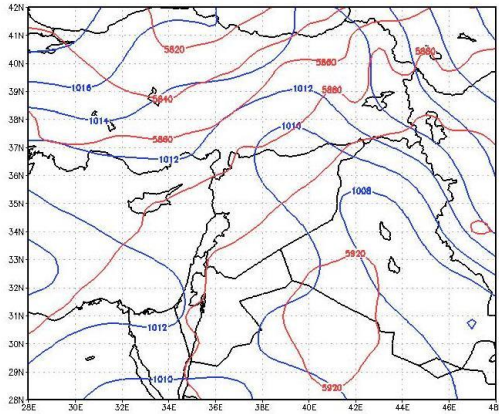
الشكل (9) خطوط تساوي الضغط الجوي بالنسبة لسطح البحر بالمليبار (الخط المتصل)، وتدل الأسهم الملونة على سرعة الرياح السطحية (m/s) (اليمين)، الضغط الجوي على سطح البحر بالمليبار (الخط الأزرق)، خطوط الارتفاع على سوية 500 ميليبار (الخط الأحمر) (اليسار) بتاريخ 2015/09/08 الساعة 18:00 بالتوقيت العالمي.

خلال يوم الثامن من أيلول نرى من الشكل (9) الرياح السطحية الشمالية فوق سيناء والأراضي المحتلة مما ساهم بانتقال العاصفة باتجاهها وهو أمر معاكس للعادة حيث تحمل الرياح الجنوبية الغربية الرياح من شبه جزيرة سيناء باتجاه بلاد الشام وليس العكس. أدى الاستقرار الجوي في الفترة الممتدة من الثامن وحتى الثاني عشر من أيلول لتغليب العوامل المحلية Mesoscale مثل نسيم البر والبحر حيث تسخن اليابسة أكثر من البحر خلال النهار ونتيجة لذلك تنشأ حركة رفع فوق اليابسة مسببة ضغط جوي سطحي منخفض فوقها مقارنة مع نظيره فوق البحر مما يؤدي لحركة رياح من البحر باتجاه البر نهاراً، أما ليلاً فإن البحر يكون أسخن من اليابسة بسبب السعة الحرارية الكبيرة للماء التي لا تفقد حرارتها بسرعة خلال الليل وتنعكس الحركة ليلاً لتصبح

من البر باتجاه البحر؛ إن هذه الحركة أدت لنوسان الغبار من البر للبحر وبالعكس خلال فترة الاستقرار.

رابعاً- مرحلة الانحسار: تزول الظواهر الغبارية في سورية عادةً بهطول المطر أو بهبوب رياح نظيفة غربية المنشأ تدفع الغبار باتجاه الشرق، ونادراً ما ينقشع الغبار تحت تأثير الترسيب الجاف وهي حالة تحدث عادة في المناطق الشرقية والبادية وتستغرق وقتاً أطول من الحالتين السابقتين.

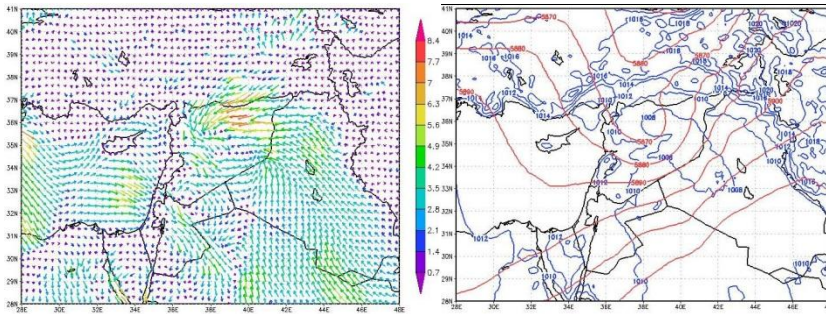
في حالتنا هذه قلت كثافة الغبار في العاشر من أيلول نتيجة الترسيب الجاف إلا أنه بقي مغطياً معظم بلدان المنطقة وابتداءً من يوم الثاني عشر من أيلول حلت تدريجياً وبدءاً من الغرب تيارات جنوبية غربية في طبقات الجو العليا بدلاً من المرتفع الجوي شبه المداري الذي انتقل باتجاه الجنوب الشرقي كما يبين الشكل (10) الحالة الجوية في يوم 13 أيلول في الساعة 12 بالتوقيت العالمي حين زال تأثير العاصفة بالكامل عن المنطقة، بعد أن قامت الرياح الغربية بترحيل الغبار وسيطرت كتلة هوائية جديدة على المنطقة.



الشكل (10) خطوط تساوي الضغط الجوي بالنسبة لسطح البحر بالميللي بار (الخط الأزرق)، خطوط تساوي الارتفاع على 500 ميلليبار (الخط الأحمر) بتاريخ 2015/09/13 الساعة 12:00 بالتوقيت العالمي.

إمكانية التنبؤ بالعاصفة الغبارية:

لم تفلح أيًا من المواقع والجهات العالمية أو المحلية بالتنبؤ بحدوث العاصفة الغبارية وانتشارها غير الاعتيادي، على الرغم من تنويه الأرصاد الجوية السورية للأجواء السديمية في نشرتها اليومية في صباح السادس من أيلول في المناطق الشرقية والجزيرة والبادية إلا أنها لم تتوقع الأجواء المغيرة ولا انتشارها غرباً، وكذلك فعلت مواقع عالمية مختصة في مجال الظواهر الغبارية مثل موديل Dream8 وغيرها. تم في هذا العمل استخدام موديل ايتا بإصداره الأحدث من أجل التنبؤ بالحالة الجوية بالاعتماد على بيانات موديل GFS من أجل البيانات الابتدائية في الساعة 00 بالتوقيت العالمي - أي قبل تشكل العاصفة بست ساعات- ومن ثم تطبيق هذه البيانات على منطقة الشرق الأوسط بدقة 10km.



الشكل (11) تنبؤ باستخدام نموذج ايتا الضغط الجوي على سطح البحر بالمليبار (الخط الأزرق)، خطوط تساوي ارتفاع 500 مليبار (الخط الأحمر) (الشكل الأيمن)، سرعة الرياح السطحية (الشكل الأيسر) بتاريخ 2015/09/06 الساعة 6:00 بالتوقيت العالمي.

يظهر الشكل (11) تقابل كل من المنخفض الحراري السطحي والمنخفض العلوي بشكل مشابه للشكل (5) وقيم المنخفض السطحي 1008 مليبار والحوض العلوي 5870gpm وهي ذات القيم في البيانات المعاد تحليلها، ويبدو التوافق المكاني متطابقاً أيضاً. بمقارنة الرياح السطحية مع مقابلتها في الشكل (4) نجد توافق باتجاه الرياح

ويكون المنطقة تعاني من رياح نشطة إلا أن القيم المتنبأ بها أقل بقليل من الواقع. بالتالي إن الموديل تنبأ بالوضع الجوي إلى حد كبير، لكن التنبؤ لا يأخذ بعين الاعتبار الحالة المتغيرة للتربة ودرجة تفككها أي بعبارة أخرى لم يكن بالإمكان التنبؤ بهذا المقدار الكبير جداً من الغبار والأترية وبالتالي انتقالها لأماكن بعيدة. إن دراستنا هذه قادتنا إلى نتيجة مفادها أن التزامن الدقيق لتلاقي المنخفض الموسمي الهندي السطحي مع المنخفض العلوي خلال ساعات قبل الظهر وبداية التسخين الشديد للأرض عزز كثيراً من الفعالية الجوية أكثر مما هو متوقع في حال غياب أحد هذه العوامل، وخاصة أن قيم المنخفضات السطحية والعلوية لا تعتبر قيماً غير مسبوقه بل على العكس من ذلك فإن المنطقة تعاني من منخفضات أقل قيمة في مثل هذه الفترة من السنة تصل حتى 996 ميليبار للسطح و 5760 gpm بالنسبة لخطوط ارتفاع 500 ميلي بار. ولا يمكن أن نغفل العامل البشري على المستويين المتوسط والقريب لتفتت التربة وتصحرها؛ فعلى المدى المتوسط تزيد عمليات الزراعة والرعي من الظواهر الغبارية لكونها منهكة للتربة ومستنزفة للموارد المائية كما تؤدي لنزع الغطاء النباتي وهو من شأنه أن يجعل التربة أكثر تحلاً وقابلية لتعلق في الهواء، أما على المدى القريب فقد شهدت منطقة المصدر الغباري عمليات عسكرية وتشير الدراسات بأن النشاط العسكري يرفع من احتمالية الظواهر الغبارية خمسة أضعاف عما هو في الحالة الطبيعية، حيث تغطي قشرة رقيقة من الحجارة مناطق واسعة من البوادي والصحاري تدعى بالرصيف الصحراوي Desert pavement وتنتج هذه الطبقة عن عمليات التعرية التي تسببها الرياح التي تزيل الدقائق الناعمة ومن ثم تعمل هذه الطبقة على قمع حمل الرياح للغبار والرمال ولكن في حال الزراعة والقيادة على الطرقات الوعرة وغيرها من النشاطات البشرية ستتكرر هذه الطبقة سامحة لرفع الغبار مجدداً وبالتالي تعزيز الظواهر الغبارية.

المراجع:

- 1-الزلق، محمد علي 1973 - الأرصاد الجوية في خدمة الطيران- هيئة التدريب - القيادة العامة للجيش والقوات المسلحة- الجمهورية العربية السورية- 381 ص.
- 2- العسكر، محمود 1999- دراسة تكرارية العواصف الترابية وعوامل ظهورها في البادية السورية- مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية - المجلد الخامس عشر.
- 3- الفندي، محمد جمال الدين 1962- الطبيعة الجوية-القاهرة- المؤسسة المصرية العامة- 353ص.
- 4-كاظم، علي كريم 2012- تحديد مصادر العواصف الترابية باستخدام مسار الانتشار الخلفي- المجلات الأكاديمية العراقية - العدد 53.
- 5- موسى، علي - 1989 العواصف والأعاصير - دار الفكر -دمشق 272 ص.
- 6- Ginoux, P. (2012, August 8) Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50 (3).
- 7- Johnson, R H, 2003, Thermal low, Colorado State University, Fort Collins, CO, USA, Elsevier Science
- 8-Mehdi Hamidi, Mohammad Reza Kavianpour, and Yaping Shao, 2012, Synoptic Analysis of Dust Storms in the Middle East, The Korean Meteorological Society and Springer.
- 9- Safar, M. I., 1980, Frequency of dust in day-time summer in Kuwait, Meteorological Department, State of Kuwait.
- 10- Varoujan K. Sissakian, Nadhir Al-Ansari, Sven Knutsson, 2013, Sand and dust storm events in Iraq.
- 11- https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2773503.html
- 12- <http://weather.unisys.com/model/details.php>
- 13- http://www.goes-r.gov/users/comet/EUMETSAT/at_dust/print.htm