

Synoptic-thermodynamic investigation of the dust phenomenon in Isfahan province (case study)

Amini, L.¹  | Narimani, H.²  | Motamedi, M.³  | Parande Khozani, A.⁴ 

1. **Corresponding Author**, Head of the Applied Research Center of the Meteorological Department of Isfahan Province, Isfahan, Iran. E-mail: labi475@gmail.com
2. Technical deputy of the General Directorate of Natural Resources of Isfahan province, Isfahan, Iran. E-mail: hnarimani1387@yahoo.com
3. Research Expert at Isfahan Meteorological Office, Isfahan, Iran. E-mail: motamedi_mina@yahoo.com
4. Meteorological expert in Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: parandeh_153@yahoo.com

(Received: 11 Apr 2022, Revised: 19 Sep 2022, Accepted: 19 Sep 2022, Published online: 19 Sep 2022)

Abstract

One of the results of climate change is the lack of fresh water and as a result land destruction or desertification, increase in wind erosion and the occurrence of dust storms. Although by implementing desertification operations, an attempt is made to control the destructive effects of dust storms, but identifying the causes of erosion, the temporal distribution of storms, and the location of the start zones of storms can be effective in the effectiveness of projects and reducing damages caused by storms. In this regard, this research was conducted with the aim of knowing the effective atmospheric factors in the activity of dust centers with domestic origin in Isfahan province. With the knowledge of the existence of internal foci and familiarity with their location based on the results of research (source 1), the history of local, intense and short-term dust occurrences at the foci was investigated visually-dynamically and thermodynamically. The results showed that the convective conditions played a significant role in these cases, and the detection of the rise of such internal dust, according to the time period and locality, requires thermodynamic information, especially the indexes of cin, cape, TT, ki, ko, li and It has a tool like Sciotti diagram. Also, according to the scale of these phenomena, synoptic maps do not help much, and the output of micro-scale models, including wrf, satellite images, and if radar is available, is needed.

Keywords: Internal foci, dust, Isfahan province, Synoptic, Thermodynamics.

Cite this article: Amini, L., Narimani, H., motamedi, M., & parande khozani, A. (2022). Synoptic-thermodynamic investigation of the dust phenomenon in Isfahan province (case study). Journal of the Nivar, 46(116-117), 73-93. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.337120.1217>



بررسی همدیدی-ترمودینامیکی پدیده گردو خاک در استان اصفهان (مطالعه موردی)

لیلا امینی^۱ | حسینعلی نریمانی^۲ | مینا معتمدی^۳ | اکرم پرنده خوزانی^۴

۱. نویسنده مسئول، رییس مرکز تحقیقات کاربردی اداره کل هواشناسی استان اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: labi475@gmail.com

۲. معاون فنی اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: hnarimani1387@yahoo.com

۳. کارشناس مرکز تحقیقات هواشناسی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: motamedi_mina@yahoo.com

۴. کارشناس هواشناسی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: parandeh_153@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸)

چکیده

یکی از تبعات تغییرات اقلیمی، کمبود آب شیرین و به تبع آن تخریب سرزمین یا بیابان‌زایی، افزایش فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد. هرچند با اجرای عملیات بیابان‌زدایی، سعی در کنترل اثرات مخرب طوفان‌های گرد و غبار می‌شود ولی شناسایی علل وقوع فرسایش، پراکنش زمانی طوفان‌ها و جانمایی پهنه‌های شروع طوفان‌ها، می‌تواند در اثربخشی پروژه‌ها و کاهش خسارات ناشی از بروز طوفان‌ها موثر باشد. در همین راستا، این پژوهش با هدف شناخت عوامل جوی موثر در فعالیت کانون‌های گرد و غبار با منشأ داخلی استان اصفهان انجام شد. با علم بر وجود کانون‌های داخلی و آشنایی با مکان آنها براساس نتایج تحقیقات انجام شده (منبع ۱)، تاریخ وقوع گرد و غبارهای محلی، شدید و کوتاه مدت در محل کانون‌ها، مورد بررسی همدیدی-ترمودینامیکی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شرایط همرفتی در این موارد نقش به‌سزایی داشته و تشخیص وقوع خیزش چنین گرد و غبارهای داخلی با توجه به بازه زمانی وقوع و محلی بودن، نیاز به اطلاعات ترمودینامیکی به ویژه شاخص‌های cin , $cape$, TT , ki , ko , li و ابزاری مانند نمودار اسکویوتی دارد. همچنین با توجه به مقیاس این پدیده‌ها، نقشه‌های همدیدی کمک زیادی نمی‌کند و خروجی مدل‌های خرد مقیاس از جمله wrf ، تصاویر ماهواره و در صورت دسترسی رادار مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: آمار هواشناسی، کانون‌های داخلی، گردو خاک، استان اصفهان، همدیدی، ترمودینامیکی

۱. مقدمه

میزان دید افقی به چهار طبقه گرد و غبار ضعیف با دید افقی بیشتر از ۱۰ کیلومتر؛ گرد و غبار متوسط با دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر؛ توفان شدید با دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و توفان خیلی شدید با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود (Tan, 2014). توفان‌های گرد و غبار همه ساله خسارت و تلفات فراوانی در تمام دنیا به وجود می‌آورند (Hamidi et al, 2013). خاورمیانه یکی از پنج منطقه جهان می‌باشد که بیشترین تولید گرد و غبار را دارد (Rezazadeh, 2013) ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، در معرض سیستم‌های متعدد گرد و غبار محلی و فرامنطقه‌ای می‌باشد (Goudie, 2014, Rashki, 2013). Ekhtesasi و

اگر چه در حال حاضر با اجرای عملیات بیابان‌زدایی، سعی در کنترل اثرات مخرب طوفان‌های گرد و غبار می‌شود ولی شناسایی علل وقوع فرسایش، پراکنش زمانی طوفان‌ها و جانمایی پهنه‌های شروع طوفان‌ها، می‌تواند در اثربخشی پروژه‌ها، مدیریت هزینه‌ها و کاهش خسارات ناشی از بروز طوفان‌ها موثر باشد.

گرد و غبار یکی از پدیده‌های مخرب و رایج در نواحی خشک و بیابانی ایران و جهان است که می‌تواند آثار زیانباری بر روی زندگی انسان و محیط زیست داشته باشد. براساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی شدت گرد و غبار از نظر

استناد: امینی، لیلا؛ نریمانی، حسینعلی؛ معتمدی، مینا و پرنده خوزانی، اکرم. (۱۴۰۱). بررسی همدیدی-ترمودینامیکی پدیده گردو خاک در استان اصفهان (مطالعه موردی)،

مجله نیوار، ۴۶(۱۱۶-۱۱۷)، ۷۳-۹۳. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.337120.1217>

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.



DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.337120.1217>

اکتبر) همبستگی معنی داری مشاهده نمی‌شود. این پژوهش با هدف شناخت عوامل جوی موثر در فعالیت کانون‌های گرد و غبار با منشا داخل استان اصفهان از دیدگاه همدیدی- ترمودینامیکی انجام شد. نتایج نشان داد کانون‌های داخلی نقش بسزایی در ایجاد اختلال و کاهش دید و ... دارند و بررسی و کنترل آنها می‌تواند موثر واقع شود.

۲. مواد و روش‌ها

با بهره‌برداری از نتایج طرح «مطالعات جامع عرصه‌های تولید گرد و غبار در کشور به منظور اولویت‌بندی مناطق منشا تولید گرد و غبار مطالعه موردی (استان اصفهان)»، (مطالعات دفتر امور بیابان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۹۸)) و اطلاع از محل کانون‌های فرسایش بادی و تولید گرد و غبار (شکل ۱)، جهت بررسی علل و عوامل جوی موثر در وقوع پدیده گرد و خاک، با استفاده از بانک آمار و اطلاعات هواشناسی، تاریخ سه مورد وقوع استخراج گردید سپس نقشه‌های مربوطه از سطح زمین و سطوح فوقانی و نمودار اسکیوتی، نقشه‌های واقعی، خروجی مدل‌های عددی (خرد و میان مقیاس) مورد بررسی قرار گرفت. فراسنج‌های همدیدی- ترمودینامیکی از قبیل Li ، Ca ، Li ، TT و ko استخراج و به صورت ساعتی بررسی شد (به علت محدودیت در این مقاله تعدادی از آن‌ها استفاده گردید).

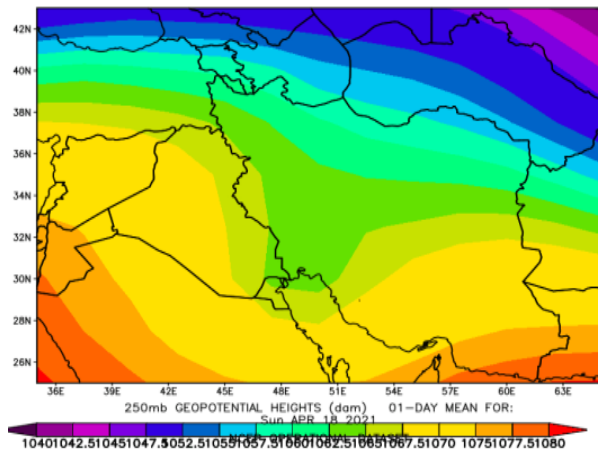
پارامتر ترمودینامیکی CIN انرژی منفی مانع همرفت، برحسب ژول بر کیلوگرم می‌باشد. نحوه محاسبه آن بدین شرح می‌باشد:

$$CIN = \int_{z_{bottom}}^{z_{top}} g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz \quad (1)$$

پارامتر دیگر Li (شاخص صعود $Lifted\ index$) برای مواقعی است که در سطح زمین لایه مرطوب موجود باشد. این شاخص برای نشان دادن پایداری یا ناپایداری بسته هوای موجود در تروپوسفر به کار می‌رود. برای ناپایداری‌ها شاخص $CAPE$ بهتر از Li می‌باشد زیرا Li فقط در یک تراز در جو ناپایداری را به ما نشان می‌دهد. از شاخص Li فقط در همرفت فصل گرم استفاده نمایید که بدین شرح محاسبه می‌شود:

همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی در منطقه یزد، کاربرد گلباد، گل توفان و گل ماسه را در فرسایش بادی مورد مطالعه قرار دادند و به کمک آنها، جهت بادهای غالب یزد را تعیین کردند. Mesbahzadeh و Ahmadi (۲۰۱۱) بیان کردند گلبادهای فصلی منطقه سبزوار نشان می‌دهد که در تمام فصول سال، عمده بادهای غالب منطقه از شرق و شمال شرقی می‌وزد. گلتوفان‌های سالانه منطقه نشان می‌دهد که درصد بادهایی با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش $75/2$ درصد است که از جهات شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی می‌وزد و عمده آنها در فصول تابستان و بهار می‌وزند و جهت وزش آنها یک طرفه است. Zenouzi Kashi و Yousefi (۲۰۱۵) به منظور تعیین پارامترهای باد بر پیش‌بینی پدیده طوفان گرد و غبار در استان یزد از روش ترکیب ورودی شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که براساس روش‌های به کار رفته بیشترین تأثیر بر پدیده طوفان گرد و غبار را در استان یزد، عوامل سرعت باد غالب، دید افقی، تداوم و میانگین سرعت باد به عهده دارد. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی نقش سطوح خشکیده تالاب گاوخونی بر تولید گرد و غبارهای داخلی با استفاده از تصاویر لندست و گل توفان در شهر اصفهان پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی، رابطه معکوس معنی داری بین تعداد روزهای غبارآلود و سطوح خشکیده تالاب در فصول پاییز، بهار و تابستان و در مقیاس سالانه در ایستگاه اصفهان را نشان داد. همچنین نتایج حاصل از بررسی جهت حرکت بادهای غبارزا با استفاده از گل توفان‌ها حکایت از عدم وزش این بادهای از سمت تالاب گاوخونی به سمت اصفهان دارد. Moqadam و Ensafi و همکاران (۲۰۱۸) به واکاوی فراوانی رخدادهای گرد و غبار و بارش هم‌زمان بر اساس دوره مشترک آماری بلندمدت (۲۰۱۶-۱۹۸۶) در ۴۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در جنوب غربی ایران پرداختند؛ نتایج بدست آمده مبتنی بر این یافته است که در منطقه مورد بررسی عمدتاً در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر) رابطه همبستگی معنی داری در سطح اعتماد 32% و 33% وجود دارد و در پنج ماه دوره گرم (ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و

زبانه ۱۰۱۰ آن استان اصفهان را در بر گرفته است. هم فشار ۱۰۱۰ میلی باری به صورت موج‌هایی ناشی از مرکز کم فشار جنوبی و مرکز پرفشار شمالی حرکت کرده و باعث نوسان در گرادیان فشاری در مرکز کشور گردیده است.

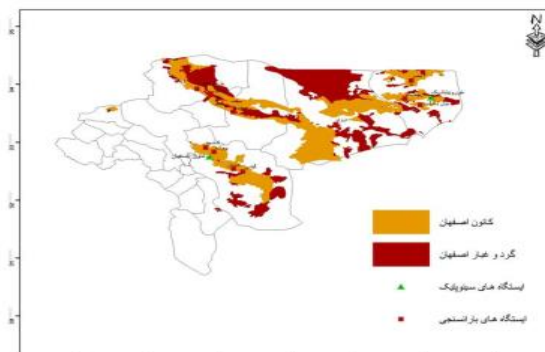


شکل ۳. نقشه هم فشار سطح زمین ساعت ۱۲ UTC روز هجدهم آوریل ۲۰۲۱ (NOAA)

بررسی نقشه ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که کشور ایران تحت نفوذ دوسامانه می‌باشد، ۱- مرکز پرارتفاعی با مقدار ۱۵۶۰ ژئوپتانسیل متر که بر روی عربستان بسته شده و زبانه ۱۵۲۰ آن تا نیمه شمالی کشور را در بر گرفته است. ۲- از سمت شرق کشور نیز سامانه کم فشاری بر روی چین بسته شده و زبانه ۱۵۲۰ آن تا نیمه شرقی و جنوبی کشور را در بر گرفته است و در حال چرخش پاد ساعتگرد و خروج از کشور می‌باشد (شکل ۴- الف). نقشه ۷۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که کشور ایران تحت تاثیر دوسامانه می‌باشد: ۱- مرکز پرارتفاعی با مقدار ۳۲۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی عربستان که زبانه ۳۱۶۰ آن شمال غرب کشور را در بر گرفته است. ۲- از سمت شرق کشور نیز سامانه کم ارتفاعی که بر روی چین بسته شده و زبانه ۳۱۶۰ آن تا نیمه شرقی و جنوبی کشور را در بر گرفته و در حال چرخش پاد ساعتگرد و خروج از کشور است (شکل ۴- ب). نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که مرکز پرارتفاعی با مقدار ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شاخ آفریقا و دریای سرخ بسته شده است. زبانه ۵۸۴۰ آن تا مرزهای غربی و جنوب غربی

$$LI(mb) = T_{500\text{ mb}} - T_{\text{parcel at } 500} \quad (2)$$

https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/convective_parameters/skewt/skewtinfo.html



شکل ۱. کانون‌های داخلی گرد و غبار استان اصفهان (مطالعات دفتر امور بیابان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور - ۱۳۹۸)

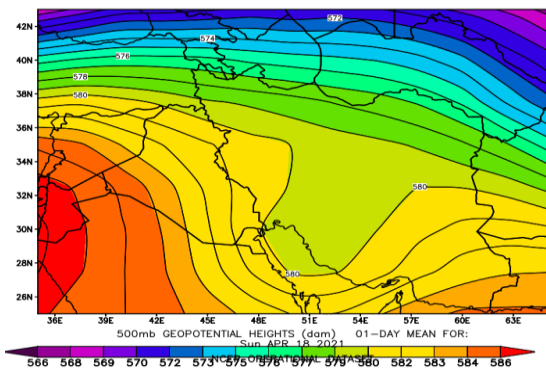
۳. بحث و بررسی

۳-۱- در روز هجدهم آوریل ۲۰۲۱، وزش باد و ایجاد گرد و غبار شدید در منطقه ورزنه در ساعت ۱۲ گرینویچ (معادل ۱۶:۳۰ محلی) به طور ناگهانی با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه به وقوع پیوست (شکل ۲).

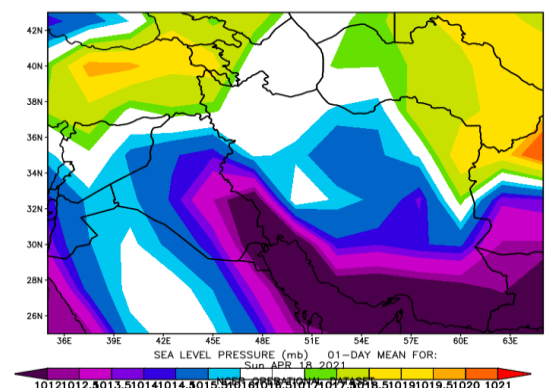


شکل ۲. خیزش گرد و غبار شدید در روز هجدهم آوریل ۲۰۲۱، در منطقه ورزنه در ساعت ۱۲ گرینویچ (معادل ۱۶:۳۰ محلی)

نقشه سطح زمین مربوط به ساعت ۱۲ گرینویچ روز هجدهم آوریل ۲۰۲۱ شکل (۳) نشان می‌دهد که مرکز پرفشاری با مقدار ۱۰۲۲,۵ هکتوپاسکال بر روی شرق دریای خزر بسته شده که زبانه‌های آن تا عرض‌های شمالی کشور کشیده شده است. از سمت جنوب کشور نیز مرکز کم فشاری با ۱۰۰۷,۵ میلی‌بار بر روی جنوب شرق به ویژه استان کرمان بسته شده است و



شکل ۵. نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال - ساعت ۱۲ گرینویچ - هجده آوریل ۲۰۲۱

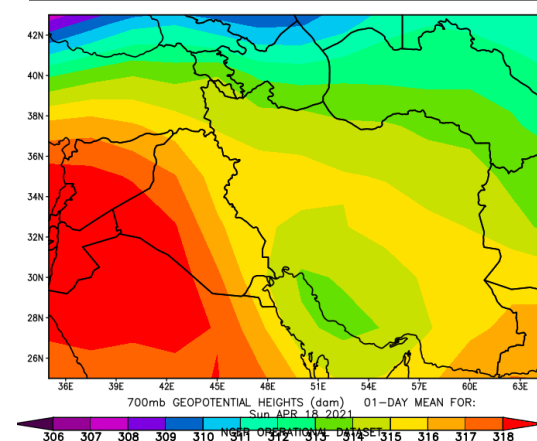
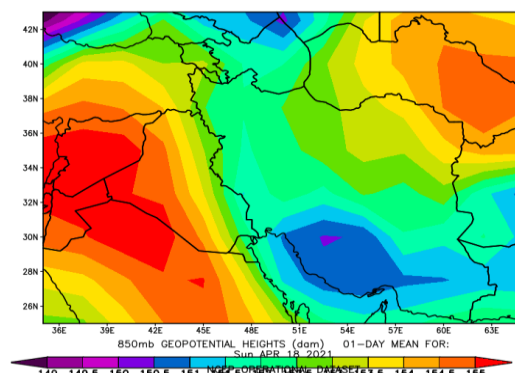


شکل ۶. نقشه ۲۵۰ هکتوپاسکال - ساعت ۱۲ گرینویچ - هجده آوریل ۲۰۲۱

بین عربستان و سودان امگا تشکیل شده که در جلوی پشته اصلی با تفاوت چند درجه طول و عرض جغرافیایی، ناوهای ضعیف بر روی خلیج فارس و در راستای آن ناو اصلی بر روی غرب عربستان تا شرق سودان کشیده شده است. در جلوی ناو بر روی سیستان و بلوچستان پشته ضعیفی تشکیل شده است. مرکز ایران بین دو پربند ۱۰۶۴ و ۱۰۷۲ ژئوپتانسیل دکامتر محصور شده است. نکته مهم عدم گرادیان (شیو ارتفاعی) شدید بر روی مرکز کشور و استان اصفهان) در این روز بر روی تراز ۲۵۰ هکتوپاسکالی می باشد که نشان از محلی بودن سامانه ایجاد گرد و غبار بر روی استان اصفهان است (شکل ۶).

تصاویر ماهواره بیانگر ایجاد جوی ناپایدار و گذرا با قدرت بیشتری بر روی مرکز، شرق و جنوب شرق کشور و از جمله جنوب و جنوب شرق استان اصفهان در زمان وقوع پدیده می باشد. شکل (۷) نشان می دهد که سامانه همرفتی بر روی جنوب شرق کشور شکل گرفته که بیانگر ناپایداری های

ایران کشیده شده است. ایران بین دو پربند ۵۸۰ و ۵۸۴ محصور شده و بر روی عرض های شمالی فرارفت ضعیف هوای گرم مشاهده شده است. نکته مهم عدم گرادیان ارتفاع (شیو ارتفاع) شدید برای توجیه وزش باد و گرد و خاک) در این روز بر روی تراز میانی جو می باشد که نشان از محلی بودن سامانه ایجاد گرد و غبار بر روی استان اصفهان است (شکل ۵). نقشه ۲۵۰ هکتوپاسکال مربوط به روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می دهد که با توجه به فصل بهار و ماهیت سامانه وی این سامانه ها به صورت پی در پی با عبور ناوهای و پشته هایی بر روی منطقه هنر نمایی کرده است. سامانه های این سامانه ها به صورت پی در پی با عبور ناوهای و پشته هایی بر روی منطقه هنر نمایی کرده است. سامانه پراارتفاعی با پربند بیش از ۱۰۸۸ ژئوپتانسیل متر بر روی سودان و آفریقا شکل گرفته است، پشته اصلی آن به صورت محوری وسیع از آفریقا تا مرز غربی ایران کشیده شده است.



شکل ۸. نقشه های تراز فوقانی جو در ساعت ۱۲ گرینویچ روز هجدهم آوریل

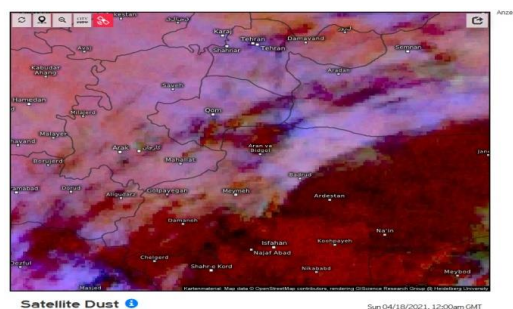
۲۰۲۱ الف) ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب) ۷۰۰ هکتوپاسکال

سواحل شمالی خزر به (۱۵۰- تا ۱۰۰-) و در در این روز، سامانه همرفتی بر روی جنوب شرق کشور شکل گرفته و ناپایداری‌های همرفتی به صورت افزایش ابر، رگبارهای لحظه‌ای، طوفان لحظه‌ای شدید و رعد و برق گزارش شده است. مناطق مرکزی از جمله جنوب شرقی استان اصفهان (محل وقوع وزش باد شدید و گرد و غبار در ورزنه) در این ساعت CIN مقادیر (۱۵۰- تا ۱۰۰-) را به خود اختصاص داده است. راهنمای مقادیر در جدول (۱) و براساس منبع زیر نویس (۲) آورده شده است. طبق جدول (۱) هرچه مقدار پارامتر CIN بیشتر باشد احتمال وقوع طوفان‌های همرفتی کمتر است. نکته مهم این است که اگر CIN بزرگ باشد اما طوفان‌ها موفق به شکل‌گیری شوند، معمولاً به دلیل افزایش اثرات رطوبت یا گرمایش نسبه به CIN، طوفان‌ها شدیدتر هستند. CIN معمولاً نتیجه یک لایه پایدار پوششی یا وارونگی است، مقادیر بیش از 200 J/kg به طور قابل توجهی از توانایی همرفت جلوگیری می‌کند.

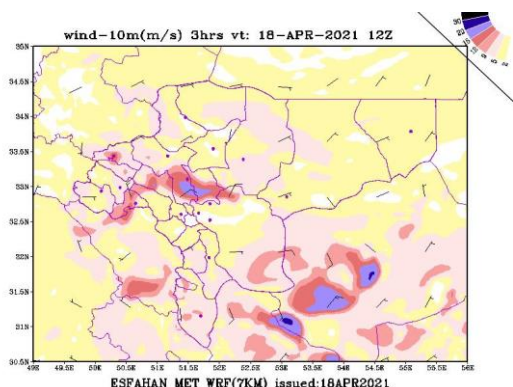
جدول ۱. معرفی مقادیر پتانسیل همرفتی در شاخص cape (۱)

مقدار cape (j/kg)	طبقه بندی
کمتر از ۳۰۰	پایداری
۳۰۰ - ۱۰۰۰	ناپایداری ملایم
۱۰۰۰ - ۲۵۰۰	ناپایداری متوسط
۲۵۰۰ - ۳۵۰۰	خیلی ناپایدار
بیشتر از ۳۵۰۰	ناپایداری خیلی شدید

بزرگنمایی دستی شکل (۹) جهت بررسی استان اصفهان به خوبی نشان می‌دهد که مناطق شرقی استان، شهرستان ورزنه و جنوب شرقی، دولت قرین و به طور ضعیف‌تر غرب استان، گلپایگان، داران، فریدونشهر و چادگان بین ۱۰۰- تا ۱۵۰- را به خود اختصاص داده و در شهرستان اصفهان نیز این عدد (۳۷,۵-) است. در مورد انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی (CAPE) در ساعت وقوع طوفان مقدارش در اکثر مناطق کشور خیلی ناچیز و در برخی مناطق مانند جنوب استان اصفهان و خلیج فارس و سواحل دریای خزر حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد که نمایانگر همرفت و ناپایداری ضعیف بوده و

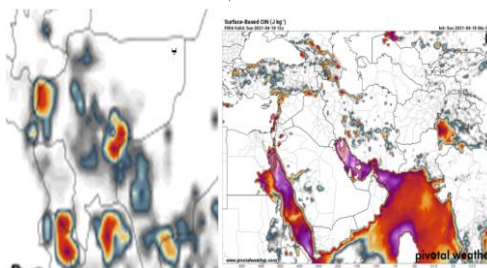


شکل ۷. تصویر ماهواره؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز هجدهم آوریل ۲۰۲۱ (weather us)



شکل ۸. سمت و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری، خروجی مدل WRF در ساعت وقوع وزش باد شدید و گرد و غبار (<http://esfahanmet.ir/>)

همرفتی به صورت افزایش ابر، رگبارهای لحظه‌ای، طوفان لحظه‌ای شدید و رعد و برق می‌باشد. بررسی نقشه خروجی مدل WRF در مورد سرعت وزش باد در ساعت ۱۲ گرینویچ (ساعت وقوع طوفان) بیانگر وزش باد شدید در جنوب شرق شهرستان اصفهان و بر روی شهرستان ورزنه و بخش‌هایی از استان یزد می‌باشد (شکل ۸). شکل (۹) مربوط به روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱؛ پارامتر ترمودینامیکی CIN انرژی منفی مانع همرفت برحسب ژول بر کیلوگرم می‌باشد.



شکل ۹. نقشه مربوط به انرژی منفی مانع همرفت، CIN (ژول بر کیلوگرم) در ساعت ۱۲ روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ (الف) خاورمیانه و (ب) استان اصفهان ۵

برطبق این نقشه بر روی خلیج فارس و دریای عمان به علت ماهیت آن منطقه این مقدار انرژی به بیش از (۲۰۰-) و در

ناپایداری شدید	۷- تا ۴-
ناپایداری بسیار شدید	< ۷-

با توجه به کلیه نقشه‌های فوق و همرفتی بودن سامانه، نتیجه گیری می‌شود که از طریق نقشه‌های پیش‌یابی شده ۶ یا ۱۲ ساعته بزرگ یا میان مقیاس به راحتی وقوع این پدیده قابل تشخیص نمی‌باشد و تنها از طریق خروجی مدل‌های خرد مقیاس و محلی با درجه تفکیک بالا و ساعتی در کنار تجزیه تحلیل پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی با استفاده از اطلاعات جو بالا وقوع این چنین پدیده‌های محلی و لحظه‌ای قابل پیش‌بینی است.

۲-۳- بررسی وقوع گرد و غبار با منبع داخل استان اصفهان (شمال استان)

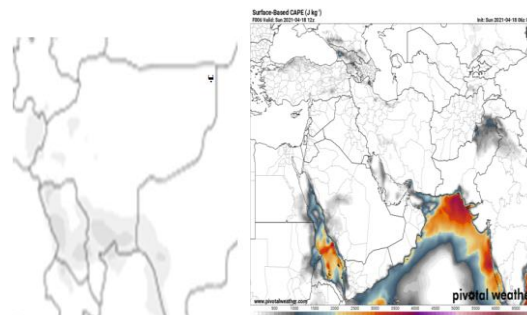
در روز ۱۴ می ۲۰۲۱، وزش باد و گرد و غبار شدید در منطقه کاشان در ساعت ۱۷:۴۸ گرینویچ (معادل ۲۱:۲۰ محلی) به وقوع پیوست. سرعت باد در این ساعت به طور ناگهانی تا ۱۲ متر بر ثانیه رسیده و باعث خیزش گرد و غبار شدید گردید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. لحظه وقوع وزش باد و گرد و غبار شدید در منطقه کاشان؛ ساعت ۱۷:۴۸ گرینویچ روز چهاردهم می ۲۰۲۱ (kashanakhbar.ir)

شکل (۱۳) نقشه سطح زمین در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱، نشان می‌دهد که مرکز پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال بر روی روسیه بسته شده و زبان‌های آن از سمت شمال شرقی ایران تا مرکز نفوذ کرده و استان‌های مرکزی از جمله اصفهان را در بر گرفته است. در این ساعت سامانه کم فشاری از جنوب

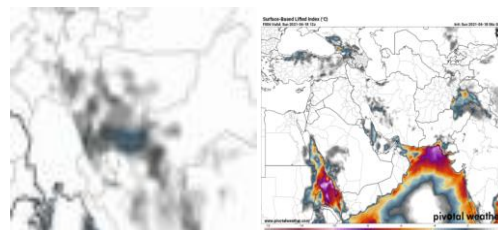
در دریای عمان به بیش از ۱۰۰۰ رسیده که معرف ناپایداری متوسط است. با بزرگنمایی دستی نقشه بر روی استان اصفهان در مکان وقوع طوفان و گرد و غبار (ورزنه) در این ساعت، مقدار CAPE بسیار ناچیز و در حد ۵۰۰ بوده است.



شکل ۱۰. نقشه مربوط به انرژی پتانسیل در دسترس همرفتی، CAPE (ژول بر کیلوگرم) در ساعت ۱۲ روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ (الف) خاورمیانه و (ب) برش نقشه (الف) بر روی استان اصفهان (www.pivotalweather.com)

نکته جالب در این است که مکان‌هایی که CIN منفی بوده، از CAPE خبری نیست و جاهایی که CAPE حضور داشته مقدار CIN ناچیز بوده است (شکل ۱۰).

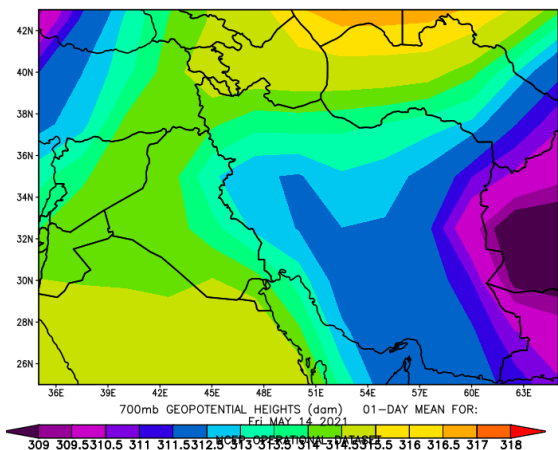
شکل (۱۱) بیانگر شاخص Li بر حسب سلسیوس در ساعت ۱۲ روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ می‌باشد. بررسی این شکل نشان می‌دهد در زمان وقوع طوفان و گرد و غبار در شهرستان ورزنه (۴-) درجه سلسیوس بوده و در دیگر مناطق استان بین ۰ تا (۲-) بوده است. این خود با توجه به جدول (۲) مبین ناپایداری متوسط تا شدید در آن منطقه بوده است.



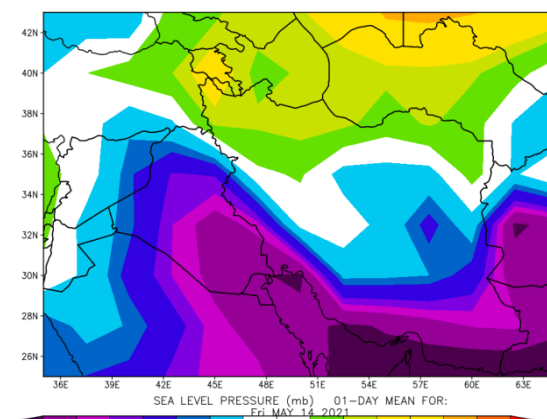
شکل ۱۱. نقشه مربوط به شاخص صعود، LI (C) در ساعت ۱۲ روز ۱۸ آوریل ۲۰۲۱ (الف) خاورمیانه و (ب) برش نقشه (الف) برش نقشه (الف) بر روی استان اصفهان^۵

جدول ۲. معرفی مقادیر پتانسیل همرفتی در شاخص (۱) cape

مقدار LI (C)	شاخص صعود
۲-	ناپایداری ضعیف
۴- تا ۲-	ناپایداری متوسط

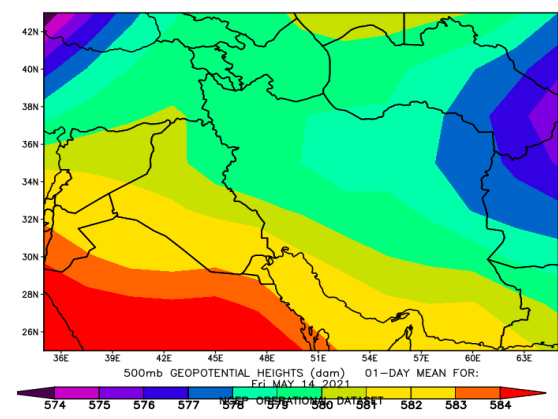


شکل ۱۵. نقشه تراز ۷۰۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱



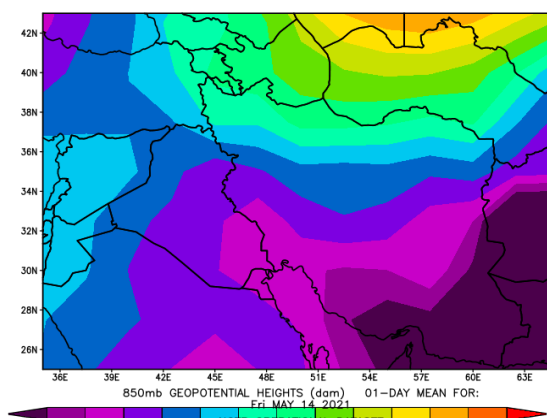
شکل ۱۳. نقشه هم فشار سطح زمین در ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱

ژئوپتانسیل متر بر روی گرجستان و روسیه بسته شده و زبانه ۳۱۶۰ آن شمال غربی کشور را دربر گرفته است. ۲- از سمت شرق کشور نیز سامانه کم فشاری که بر روی چین بسته شده و زبانه ۳۱۲۰ آن نیمه شرقی و جنوبی کشور را در بر گرفته و در حال چرخش پاد ساعتگرد و خروج از کشور می باشد که بر روی مناطق شمال شرقی و تاحدودی شرقی کشور فرارفت جزیی هوای سرد را در بردارد (شکل ۱۵). نقشه ۵۰۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می دهد که مرکز پر ارتفاعی با مقدار ۵۹۲۰ ژئوپتانسیل متر بر روی آفریقا بسته شده و زبانه ۵۸۴۰ آن تا جنوب خلیج فارس کشیده شده است. ایران بین دو پربند ۵۸۰۰ و ۵۸۴۰ محصور شده است. نکته مهم عدم گرادیان (شیو ارتفاعی شدید برای توجیه وزش باد و گرد و غبار) در این روز بر روی تراز میانی جو می باشد. شکل کلی امگا بر روی منطقه تشکیل شده که مناطق مرکزی از جمله استان اصفهان در آن واقع شده است (شکل ۱۶).



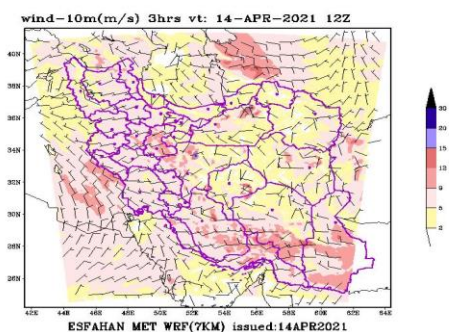
شکل ۱۶. نقشه تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱

شرق، کشور را احاطه کرده که زبانه های آن تا حدودی شرق و جنوب شرقی کشور را درگیر کرده است. بررسی نقشه ۸۵۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می دهد که کشور ایران بین نفوذ دو سامانه می باشد: ۱- مرکز پر ارتفاعی با مقدار ۱۶۴۰ ژئوپتانسیل متر بر روی قزاقستان بسته شده و زبانه ۱۵۲۰ آن تا نیمه شمالی کشور را در بر گرفته است. ۲- از سمت جنوب شرقی کشور نیز سامانه کم ارتفاعی که بر روی چین بسته شده و زبانه ۱۴۴۰ آن تا نیمه شرقی و جنوب شرقی کشور کشیده شده و سیستان و بلوچستان را در بر گرفته است که در حال چرخش پاد ساعتگرد و خروج از کشور می باشد (شکل ۱۴).



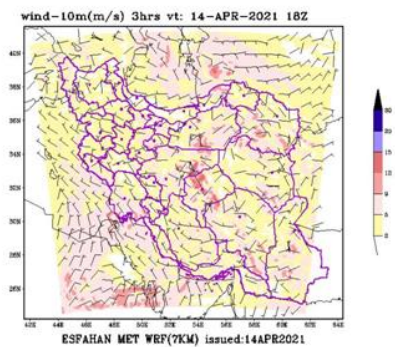
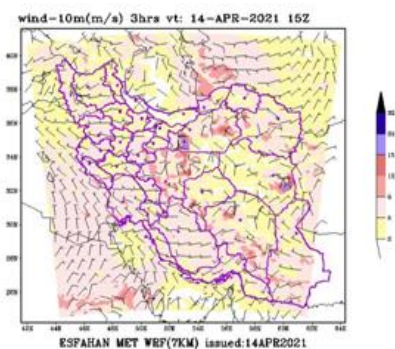
شکل ۱۴. نقشه تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱

بررسی نقشه ۷۰۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می دهد که کشور ایران تحت نفوذ ضعیف دو سامانه می باشد: ۱- مرکز پر ارتفاعی با مقدار

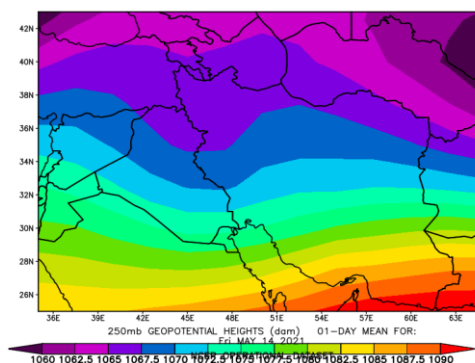


شکل ۲۰. نقشه خروجی مدل WRF برای سرعت وزش باد ۱۰ متری؛ روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ در کشور ۴

اشکال (۲۰ و ۲۱) مربوط به خروجی ساعتی مدل خرد مقیاس WRF، با بزرگنمایی ۷ کیلومتر نشان می‌دهد که منشأ اصلی وزش باد شدید و ایجاد گرد و غبار در جنوب غربی سمنان بوده که در ساعت ۱۵ گرینویچ (با توجه به اینکه خروجی مدل ۳ ساعته می‌باشد، نزدیکترین ساعت به وقوع حادثه است) تندی باد بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه بوده و در مناطق مجاور از جمله شمال استان اصفهان به ویژه بر روی مرزهای اردستان و کاشان سرعت باد به ۱۲ تا ۱۵ متر بر ثانیه رسید و با نفوذ تدریجی خود به شمال استان اصفهان مناطق شمال شرقی کاشان را در نوردیده است (شکل ۲۲).



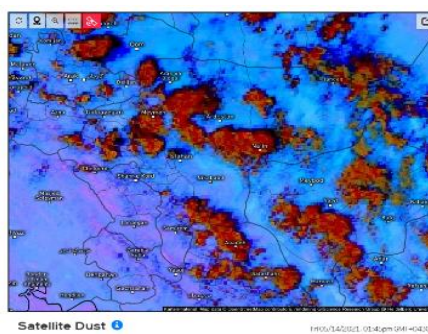
شکل ۲۱. نقشه خروجی مدل WRF برای سرعت وزش باد ۱۰ متری؛ روز ۱۴ می ۲۰۲۱ از ساعت ۱۵ تا ۱۸ گرینویچ در کشور ۴



شکل ۱۷. نقشه تراز ۲۵۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۲۰۲۱

نقشه ۲۵۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که سامانه پراتفافی با پربند بیش از ۱۰۹۶ ژئوپتانسیل متر بر روی سودان و آفریقا شکل گرفته، پشته ضعیفی بر روی مرکز ایران بر روی استان‌های غربی و جنوب غربی کشور و ناوهای بر روی مرزهای غربی ایران کشیده شده است. شکل کلی الگو به ویژه در کشورهای واقع در عرض‌های شمالی کشور به صورت امگای کامل می‌باشد. مرکز ایران و استان اصفهان در گیر عبور امواج ضعیفی به شکل ناوه و پشته بوده که نمایانگر جوی نسبتاً ناپایدار و گذرا می‌باشد (شکل ۱۷).

تصاویر ماهواره نیز بیانگر ایجاد جوی ناپایدار و گذرا با قدرت بیشتری بر روی شمال و شمال غربی کشور و از جمله شمال استان اصفهان در زمان وقوع پدیده می‌باشد. شکل (۱۹)، نشان دهنده شکل‌گیری سامانه همرفتی بر روی جنوب شرقی کشور و ایجاد ناپایداری‌های همرفتی به صورت افزایش ابر، رگبارهای لحظه‌ای، طوفان لحظه‌ای شدید و رعد و برق می‌باشد.



شکل ۱۹. تصویر ماهواره؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ می ۶

جدول ۳. معرفی مقادیر شاخص KO

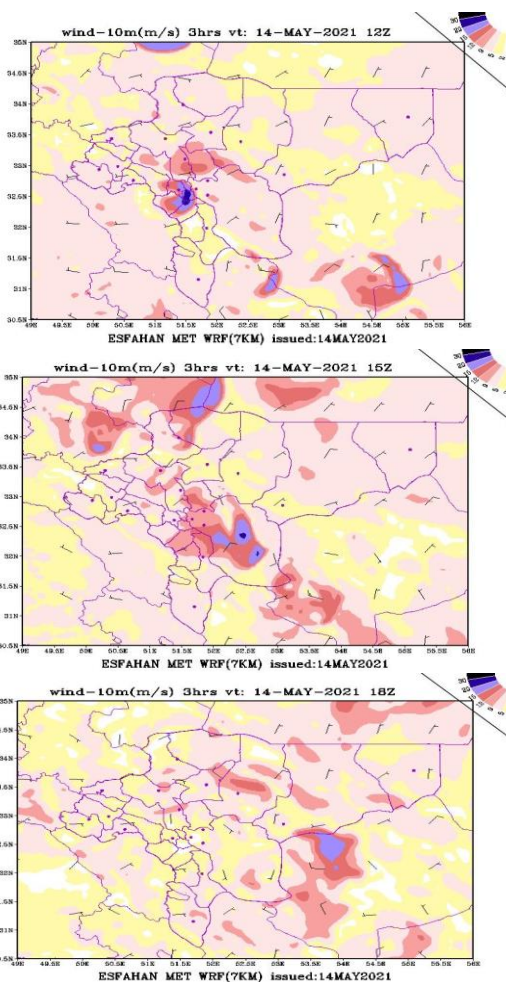
شاخص KO	احتمال طوفان و رعد و برق
< ۶	ضعیف
۶ تا ۲	متوسط
۲ >	قوی
← ۶	ناپایداری بسیار شدید

جداول (۳) و (۴) و شکل (۲۳) مربوط به شاخص KO و سرعت قائم از ساعت ۹ تا ۱۵ گرینویچ ۲۰۲۱، نشان می‌دهد که در این روز روند تغییرات شاخص KO افزایشی بوده، این روند در ساعات ۹ تا ۱۵ (یعنی از ظهر تا بعد از ظهر محلی همراه با گرمایش روزانه) بیشتر نمایان می‌باشد. براساس این نقشه در ساعت وقوع طوفان گرد و غبار در کاشان سرعت قائم عدد منفی نبوده ولی شاخص KO مبین ناپایداری بوده و باعث گشته که در ساعات گرمایش روزانه ایجاد توفان تندی شدید و گذرا داشته باشد.

جدول ۴. چگونگی عملکرد شاخص KO

منطقه جبهه‌ای (اگر مقدار منفی سرعت قائم در مکانی با گرادیان بالای KO بین دو مقدار پایدار و ناپایدار قرار گرفته باشد: جبهه پتانسیل ناپایداری با ریسک توفان تندی پنهان را دارد.	KO پایدار + سرعت قائم منفی
ناوه فعال جو بالا با ریسک شدید توفان	KO ناپایدار + سرعت قائم منفی
توده هوای ناپایداری که امکان ایجاد توفان تندی را به خاطر گرمایش روزانه (عمدتاً در بعدازظهر) ایجاد می‌کند.	KO ناپایدار بدون سرعت قائم منفی

با توجه به خشکسالی‌های مکرر و سستی خاک منطقه باعث خیزش گرد و غبار و مشکلات جانبی از جمله کاهش دید و اختلال در تردد جاده‌ها گشته است. لازم به ذکر است که در ساعت ۱۲ گرینویچ هیچ اثری از این نوع طوفان بر روی منطقه گزارش نشده است.

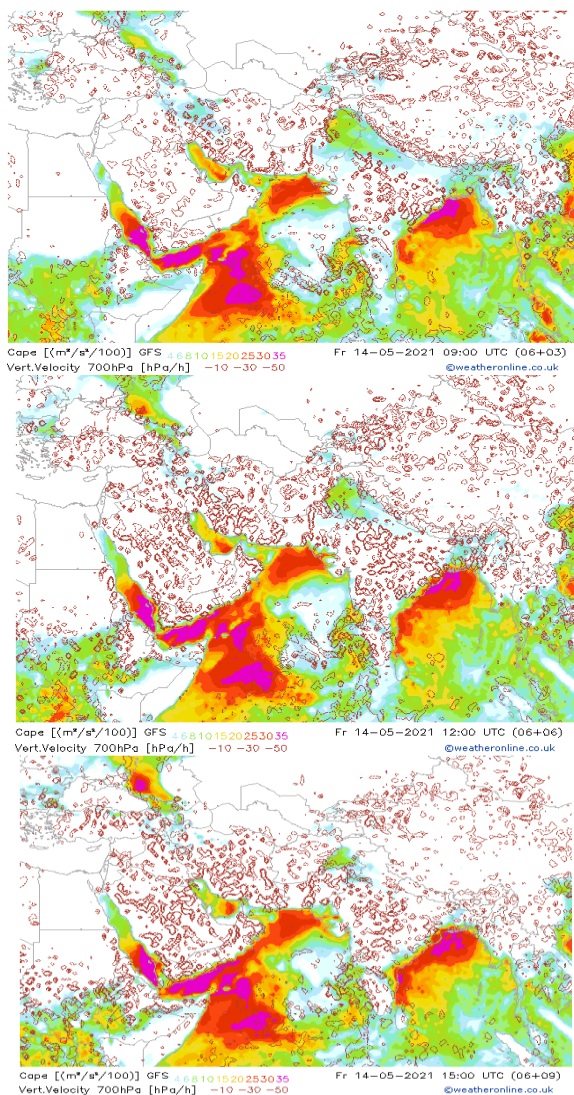


شکل ۲۲. نقشه خروجی مدل Wif برای سرعت وزش باد ۱۰متری؛ روز ۱۴ می ۲۰۲۱ از ساعت ۱۵ تا ۱۸ گرینویچ در اصفهان^۴

۳-۳- بررسی ترمودینامیکی و دینامیکی گرد و غبار استان اصفهان

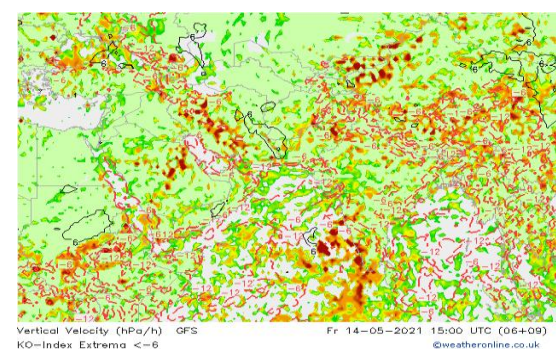
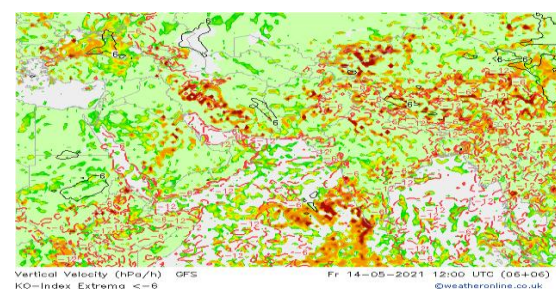
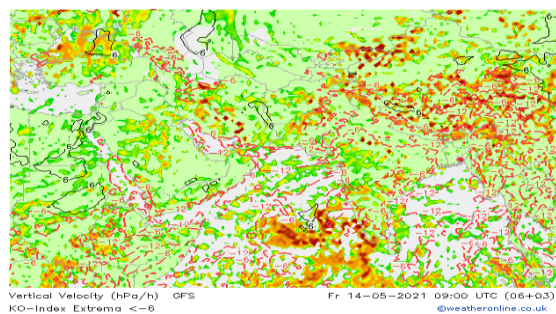
شکل (۲۳) نقشه مربوط به سرعت عمودی امگا (هکتوپاسکال بر ساعت) و شاخص KO می‌باشد، تقسیم‌بندی شاخص KO به شرح جدول (۳) و براساس منبع (۲) می‌باشد. براساس تقسیم‌بندی‌ها ترکیب دو فاکتور سرعت قائم و شاخص KO طبق جدول (۴) در وضعیت جوی موثر می‌باشد.

ثانیه از استان‌های شمال شرقی به مرکز کشیده شده و در ناحیه مرکز تغییر جهت داده و بسته شده است. این وضعیت در ساعات بعدی تشدید و با قدرت بیشتری نمایان شده که عامل ایجاد گرد و غبار و وزش باد شدید و ناگهانی را به خوبی نشان می‌دهد. نکته مهم این است که مناطقی از استان‌های شمال شرقی خود کانون گرد و غبار و انتقال آن به مناطق واقع در مسیر جریان می‌باشند.



شکل ۲۴. نقشه خروجی مدل GFS برای سرعت قائم لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال و شاخص CAPE روز ۱۴ می ۲۰۲۱؛ ساعت ۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ

بر اساس نمودار اسکیتیوی مربوط به ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۹ (شکل ۲۶)، از سطح زمین تا لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال از رطوبت خوبی برخوردار نیست. در لایه ۶۰۰ هکتو پاسکال دونمودار مربوط به دمای خشک و تر به یکدیگر رسیده و مبین رطوبت صد درصد و حالت اشباع در این نقطه تا لایه ۴۰۰



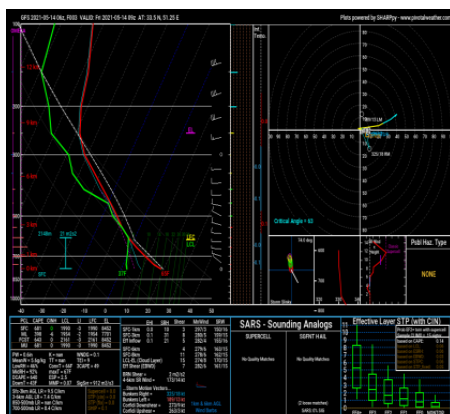
شکل ۲۳. نقشه خروجی مدل GFS برای سرعت قائم و شاخص KO؛ ساعت ۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ

شکل (۲۴) نقشه مربوط به سرعت عمودی امگا (هکتو پاسکال بر ساعت) در لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال و شاخص CAPE می‌باشد. با توجه به استانداردهای ذکر شده در جدول (۱) و این شکل‌ها، مشاهده می‌شود که در این روز روند کاهش شاخص CAPE از نظر مقدار و وسعت منطقه مورد اثر نشان دهنده تخلیه انرژی پتانسیل در دسترس و تبدیل به انرژی جنبشی در بعد قائم (صعود) می‌باشد. این روند در ساعات ۹ تا ۱۵ (یعنی از ظهر تا بعد از ظهر محلی، همراه با گرمایش روزانه) بیشتر نمایان می‌باشد. طبق این نقشه، سرعت قائم در ساعت خیزش گرد و غبار در کاشان عدد منفی بوده و شاخص CAPE نیز مبین ناپایداری بوده و در ساعات گرمایش روزانه ایجاد توفان شدید تندرگی و گذرا کرده است.

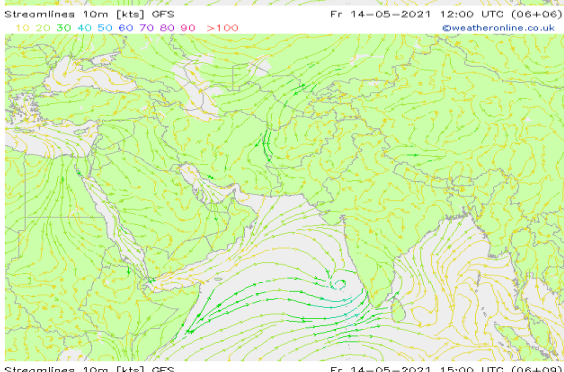
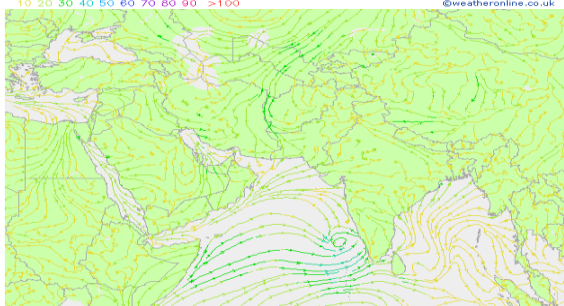
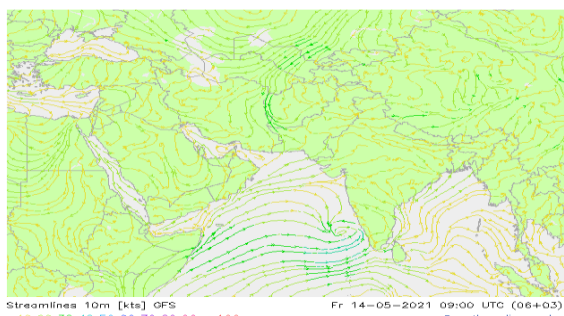
شکل (۲۵) مربوط به خطوط جریان در روز وقوع گرد و غبار نشان می‌دهد که در ساعت ۹ خطوط جریان با مقدار ۱۰ نات

در این ساعت L_i برابر منفی ۳ می باشد که طبق استاندارد مبین ناپایداری متوسط می باشد. ارتفاع LFC در این ساعت ۱۸۱۵ و ارتفاع LCL نیز ۱۸۱۵ می باشد، که هر دو نسبت به ۳ ساعت قبلی کاهش داشته و مبین افزایش شدت ناپایداری می باشد. در این ساعت CAPE مقدار ۷۰۴ را داشته و CINH صفر می باشد. افزایش CAPE نسبت به ۳ ساعت قبلی مبین افزایش انرژی پتانسیل در دسترس در منطقه می باشد.

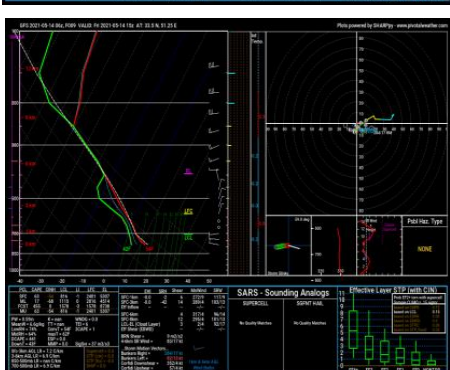
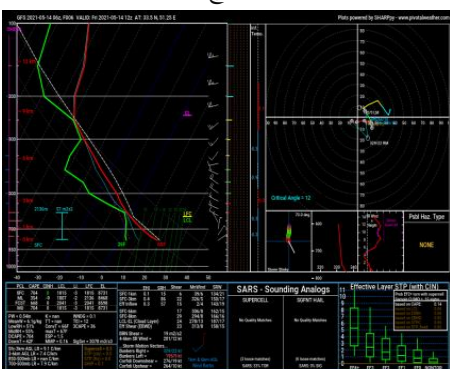
هکتو پاسکال می باشد. در این ساعت L_i برابر منفی ۳ می باشد که طبق استاندارد، مبین ناپایداری متوسط می باشد. ارتفاع LFC در این ساعت ۱۹۹۰ و ارتفاع LCL نیز ۱۹۹۰ می باشد. در این ساعت CAPE مقدار ۶۸۱ داشته و CINH صفر می باشد.



شکل ۲۶. نمودار اسکیتوی خروجی های مدل GFS؛ روز ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۹ گرینویچ در کاشان ۵



شکل ۲۵. نقشه خروجی مدل GFS برای خطوط جریان؛ ۱۴ می ۲۰۲۱؛ ساعت ۹، ۱۲ و ۱۵ گرینویچ

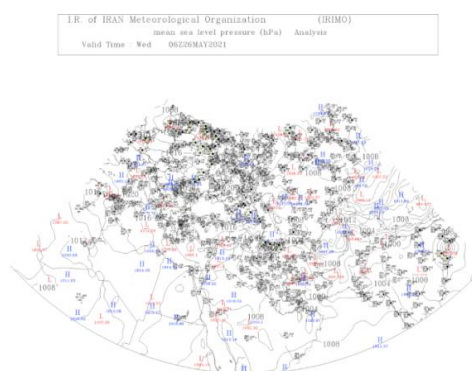


شکل ۲۷. نمودار اسکیتوی خروجی های مدل GFS؛ روز ۱۴ می ۲۰۲۱ از ساعت ۱۲ و ۱۵ گرینویچ در کاشان ۵

نمودار اسکیتوی مربوط به ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۵ گرینویچ نشان می دهد که از سطح زمین تا لایه ۶۰۰ هکتو پاسکال نسبت به ساعات قبلی، رطوبت شیب منظم و حالت

بررسی نمودار اسکیتوی مربوط به ۱۴ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ (شکل ۲۷) گرینویچ نشان می دهد که از سطح زمین تا لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال از رطوبت خوبی برخوردار نیست و در لایه ۶۰۰ هکتو پاسکال دونمودار مربوط به دمای خشک و تر به یکدیگر رسیده و مبین رطوبت صد درصد و حالت اشباع در این نقطه می باشد. در لایه های بالاتر نیز خطوط دمای تر و خشک از هم جدا گشته و مبین کاهش رطوبت می باشد.

شکل (۲۹) نقشه سطح زمین مربوط به ساعت ۰۶ گریونچ روز بیست و ششم می ۲۰۲۱ نشان می دهد که مرکز کم فشاری با ۱۰۰۰ میلی بار از روی جنوب غربی سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد و شرق استان اصفهان بسته شده که به طور کامل شرق استان اصفهان را در بر گرفته و با مرکز ۹۹۵ بر روی خورویبابانک بسته شده است. در مجاورت این مرکز، از جنوب و غرب، مرکز پرفشاری با ۱۰۰۵ میلی بار بسته شده است. با توجه به فصل بهار مراکز کم فشار و پرفشار محلی و منطقه ای زیاد می باشد و نوسانات فشار در منطقه نیز قابل توجه است.



شکل ۲۹. نقشه سطح زمین در ساعت ۰۶ گریونچ روز بیست و ششم می ۲۰۲۱

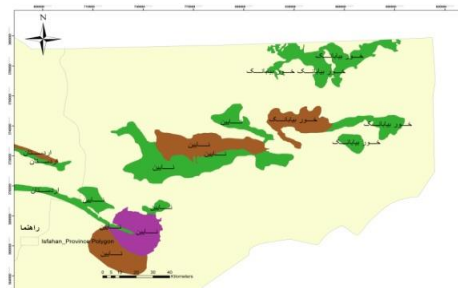
شکل (۳۰) نقشه سطح زمین، ساعت ۱۲ گریونچ روز بیست و ششم می ۲۰۲۱ نشان می دهد که مرکز کم فشاری با ۱۰۰۰ میلی بار بر روی جنوب غربی سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد و شرق استان اصفهان بسته شده که به طور کامل شرق استان اصفهان را در بر گرفته است. در کنار و هم مرز این مرکز، از جنوب و غرب، مرکز پرفشاری با ۱۰۰۵ میلی بار بسته شده است.

شکل (۳۱) مربوط به نقشه تغییرات فشاری سطح زمین در ساعت ۱۲ گریونچ روز ۲۶ می ۲۰۲۱ نسبت به شش ساعت قبل نشان می دهد که در اکثر مناطق کشور در ساعت ۱۲، نسبت به شش ساعت قبل کاهش فشار مشاهده شده ولی در منطقه وقوع خیزش گردو خاک افزایش فشار گزارش شده است. با توجه به فصل بهار و ریزش هوای سرد از عرض های شمالی و نفوذ هوای گرم از سمت جنوب پدیده همرفت به وقوع پیوسته که با توجه به نوسانات فشار در این مدت نسبتاً شدید می باشد.

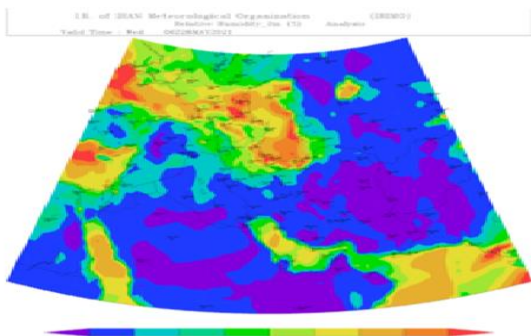
مرطوب تری را نشان می دهد. از لایه ۶۰۰ تا ۴۰۰ این دو خط دمای خشک و تراز هم فاصله بیشتری گرفته و از لایه ۴۰۰ تا ۲۵۰ دو خط دمای خشک و تر بر روی همدیگر منطبق شده و بیانگر رطوبت صد درصد و حالت اشباع در این ارتفاع می باشد. از لایه ۲۵۰ بالاتر، خطوط دمای تر و خشک از هم جداگشته و مبین کاهش رطوبت می باشد. در این ساعت Li برابر منفی ۱ می باشد که طبق استاندارد مبین ناپایداری متوسط می باشد. ارتفاع LFC در این ساعت ۲۴۰۱ است که نسبت به ۳ ساعت قبل افزایش و ارتفاع LCL نیز ۸۱۶ که نسبت به سه ساعت قبل کاهش می باشد و مبین افزایش شدت ناپایداری می باشد. در این ساعت CAPE مقدار ۶۳ ر اداشته و CINH منفی ۵۴ می باشد. کاهش CAPE نسبت به ۳ ساعت قبلی مبین کاهش انرژی پتانسیل در دسترس در منطقه و تبدیل آن به انرژی جنبشی و تخلیه توسط وزش باد شدید می باشد که این خود با کاهش CINH کاملاً هم خوانی دارد.

۴-۳- بررسی وقوع گرد و غبار با منبع داخل کشور ایران (شرق استان اصفهان)

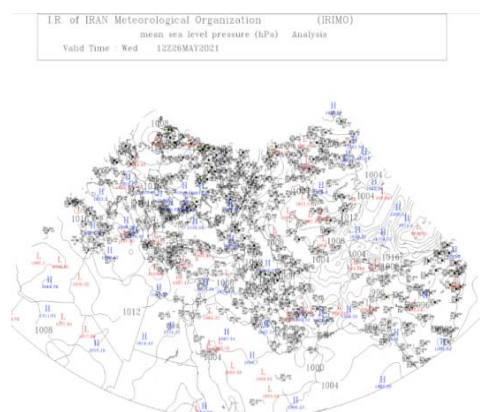
در روز ۲۶ می ۲۰۲۱، وزش باد و خیزش شدید گرد و غبار در منطقه خورویبابانک در ساعت ۱۰ گریونچ (معادل ۱۴:۳۰ محلی) به وقوع پیوست. سرعت باد ناگهانی در این ساعت، بین ۱۶ تا ۲۲ متر بر ثانیه از سمت جنوب به شمال منطقه بوده و باعث ایجاد گرد و غبار شدید و کاهش دید تا زیر ۱۰۰ متر گردید. با توجه به مطالعات انجام شده در اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان طبق شکل (۲۸) کانون های گرد و غبار فعال در این منطقه نمایش داده شده است.



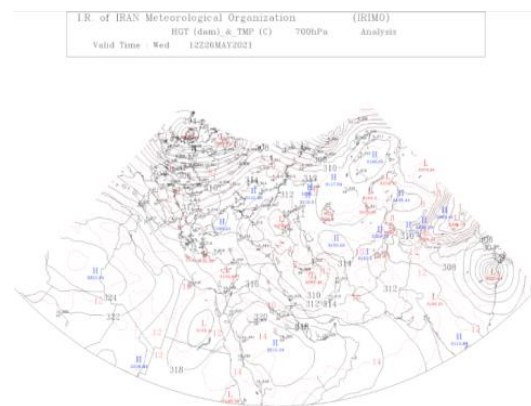
شکل ۲۸. نقشه کانون های گرد و غبار در شرق و شمال شرقی استان اصفهان؛ رنگ بنفش شدت زیاد، سبز شدت متوسط و قهوه ای شدت کم فرسایش بادی (مطالعات دفتر امور بیابان، سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور - ۱۳۹۸)



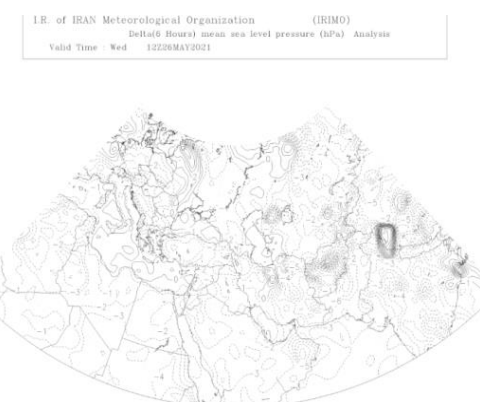
شکل ۲۲. نقشه نم نسبی در ۲ متری سطح زمین-ساعت ۱۲ گرینویچ بیست و ششم می ۲۰۲۱



شکل ۳۰. نقشه سطح زمین، ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۶ می ۲۰۲۱



شکل ۳۳. نقشه تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۶ می ۲۰۲۱



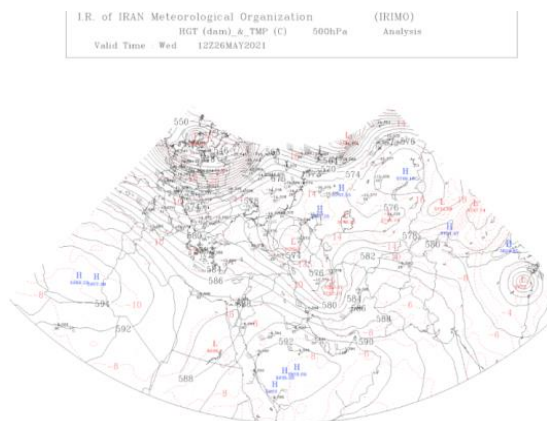
شکل ۳۱. نقشه تغییرات فشاری سطح زمین نسبت به شش ساعت قبل روز ۲۶ می ۲۰۲۱

نقشه ۷۰۰ هکتو پاسکال مربوط به همان ساعت نشان می‌دهد که کشور ایران به طور کامل در حاکمیت یک سامانه کم ارتفاع قرار گرفته که مرکز آن ۳۰۸۰ ژئوپتانسیل متر دقیقاً بر روی شرق و شمال شرقی استان اصفهان بسته شده است. این سامانه از سمت مرزهای شمال شرقی کشور و مرزهای جنوب غربی تحت محاصره دو سامانه پرا ارتفاع می‌باشد (شکل ۳۴).



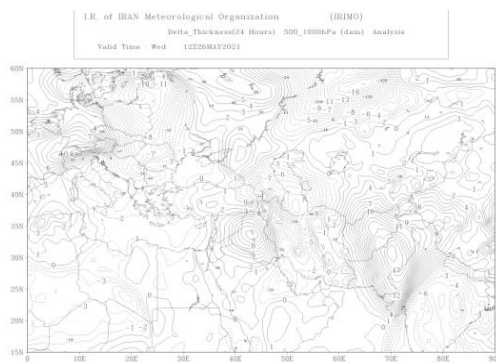
شکل ۳۴. نقشه تراز ۷۰۰ هکتو پاسکال؛ ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۶ می ۲۰۲۱

از طرفی بررسی رطوبت مربوط به ساعت ۱۲ در ارتفاع دو متری سطح زمین معرف نبود رطوبت مناسب جهت بارش‌های بهاری و مبین تخلیه انرژی به صورت وزش باد شدید و طوفان بوده است (شکل ۳۲). نقشه ۸۵۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۲۶ می ۲۰۲۱ در ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که کشور ایران به طور کامل از سمت شمال و شمال شرق در حاکمیت یک سامانه کم ارتفاع قرار گرفته که مرکز آن ۱۴۰۰ ژئوپتانسیل متر دقیقاً بر روی شرق و شمال شرق استان اصفهان بسته شده است. این سامانه از سمت مرزهای شمال شرق کشور و همچنین مرزهای غربی تحت محاصره دو سامانه پرا ارتفاع می‌باشد (شکل ۳۳).



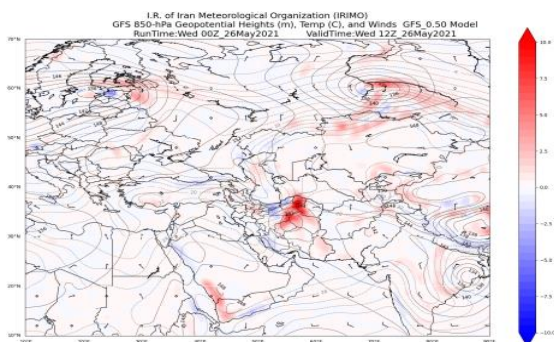
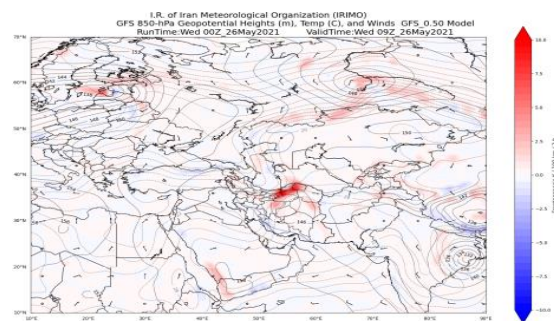
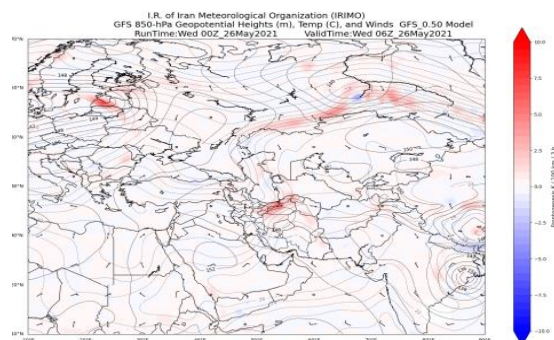
شکل ۳۶. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت ۱۲ گرینویچ ۲۶ می ۲۰۲۱

نقشه ۵۰۰ هکتو پاسکال مربوط به روز ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۱۲ گرینویچ نشان می دهد، مرکز کم ارتفاعی با مقدار ۵۷۶۰ ژئوپتانسیل متر بر روی سمنان و شرق اصفهان بسته شده وزبانه ۵۸۴۰ آن تا نیمه جنوبی ایران کشیده شده است. در این ساعت بر روی کل کشور فرارفت هوای سرد مشاهده شده است. شیو ارتفاعی نسبتاً خوبی بر روی منطقه سیستان و شرق اصفهان مشاهده می شود (توجیه وزش باد و گرد و غبار). نقشه لایه های ۳۰۰ و ۲۰۰ نیز الگوی مشابه تراز ۵۰۰ هکتو پاسکالی را نشان می دهند (شکل ۳۶).



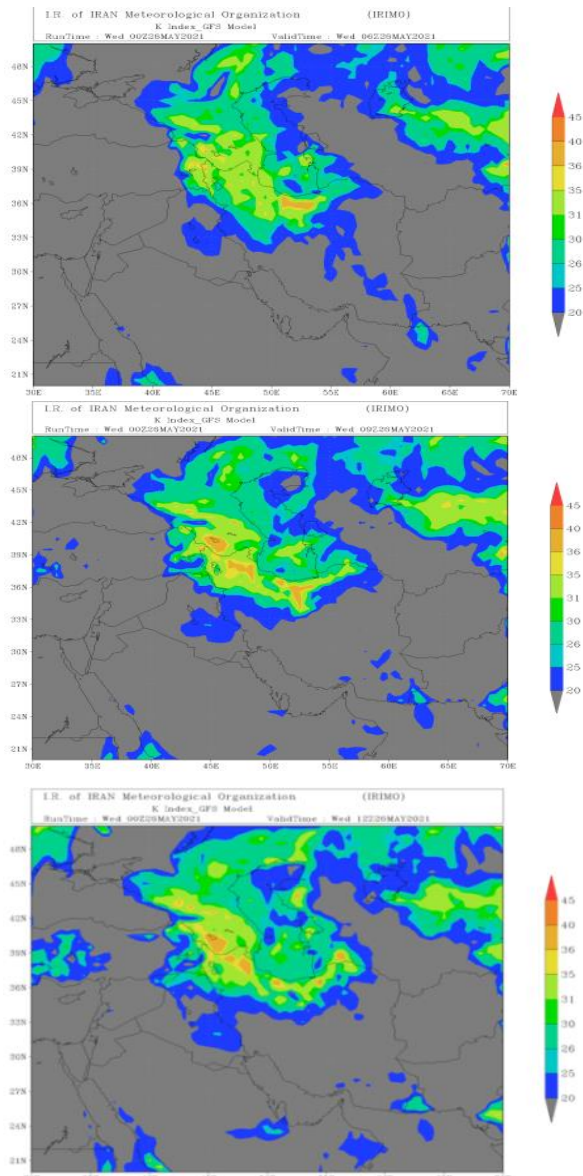
شکل ۳۷. اختلاف ضخامت لایه ۱۰۰۰/۵۰۰ در ساعت ۱۲ گرینویچ ۲۶ می ۲۰۲۱

نقشه (۳۷) نشان دهنده تغییرات ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ می باشد که در اکثر مناطق کاهش و تنها در قسمت هایی از غرب و شرق استان افزایش جزیی داشته و در منطقه مورد نظر در مرکز کاهش مشاهده شده است. البته لازم به ذکر است که ناحیه خورویببانک بین مرزکاهش و افزایش جزیی واقع شده که خود به افزایش روند همرفت کمک می کند.



شکل ۳۵. خروجی مدل GFS 0.5 مربوط به دما، وزش باد و ارتفاع لایه ۸۵۰ هکتو پاسکال در ۲۶ می ۲۰۲۱ در ساعت ۶، ۹ و ۱۲ گرینویچ ۳

براساس خروجی مدل GFS 0.5 بررسی اطلاعات دما، وزش باد و ارتفاع در روز ۲۶ می ۲۰۲۱ ساعت ۰۶ گرینویچ (شکل ۳۵) نشان می دهد که بر روی مازنداران و گلستان توده هوای گرمی با مرکزیت ۱۰ درجه سلسیوس بسته شده و طی ساعات بعدی رشد و حرکت کرده و به شرق اصفهان نفوذ کرده، به طوری که در ساعت ۹، خورویببانک را فراگرفته و در ساعات ۱۲، از این منطقه خارج و دما رو به خنکی رفته و توده هوای سرد جایگزین آن گشته است.

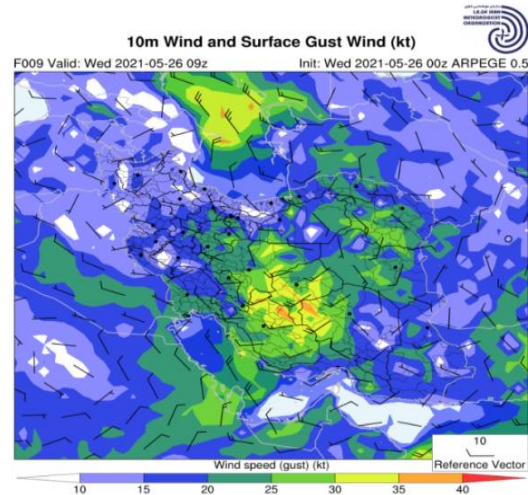


شکل ۴۰. خروجی مدل GFS مربوط به KI، ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۶، ۹ و ۱۲ گریونیچ^۳

جدول ۵. ارتباط بین شاخص KI، وقوع ناپایداری و طوفان و رعد و برق

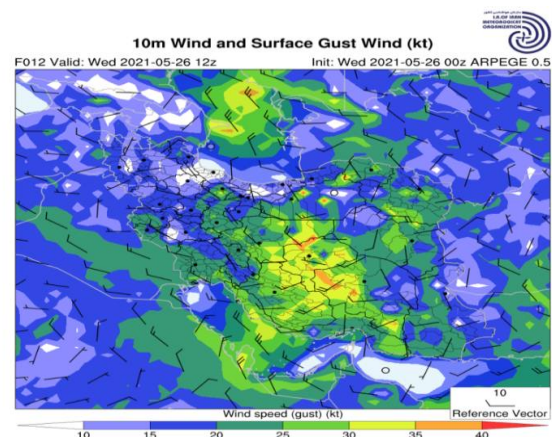
شاخص KI	احتمال وقوع رعد و برق
کمتر از ۲۰	وجود ندارد
۲۰-۲۵	رعد و برق مجزا
۲۶-۳۰	رعد و برق پراکنده به طور گسترده
۳۰-۳۵	رعد و برق پراکنده
+۳۵	رعد و برق های متعدد

شکل (۳۸) خروجی مدل Arpage 0.5، میزان بیشینه سرعت باد (نات) در ده متری سطح زمین مربوط به روز ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۹ گریونیچ نشان می دهد که در منطقه خورویابانک بین ۱۵ تا ۲۰ نات (معادل ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه) بوده و در مناطق دیگر استان، وزش باد از شدت بیشتری برخوردار بوده است.



شکل ۳۸. خروجی مدل Arpage 0.5، بیشینه سرعت باد (نات) در ده متری سطح زمین، مربوط به ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۹ گریونیچ^۳

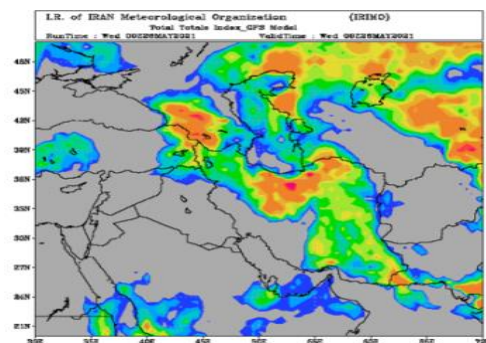
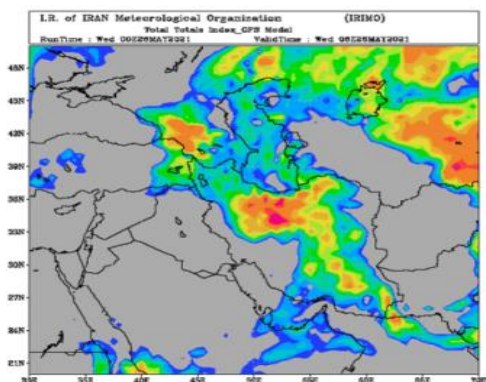
شکل (۳۹) نشان می دهد که در ساعت ۱۲ گریونیچ، بیشینه سرعت باد در منطقه خورویابانک به مقدار ۲۵ تا ۳۰ نات (معادل ۱۳ تا ۱۵ متر بر ثانیه) و در مناطق چوپانان و ناین به ۱۷ تا ۲۰ متر بر ثانیه رسیده است. این مطلب مبین شدیدتر بودن وزش باد در جنوب منطقه بوده، که با توجه به لحظه ای و محلی بودن، باد با سرعت ۲۲ متر بر ثانیه در خورویابانک در ساعت ۱۰ گریونیچ دور از انتظار نبوده و قابل پیش بینی می باشد.



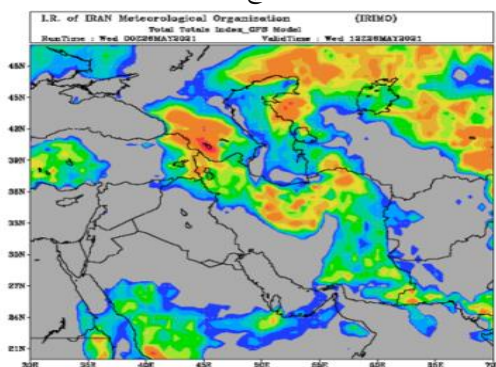
شکل ۳۹. خروجی مدل Arpage 0.5، بیشینه سرعت باد (نات) در ده متری سطح زمین، مربوط به ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۱۲ گریونیچ^۳

آن در منطقه کاسته و از محدوده ناپایداری طبق جدول (۶) کاسته شده است. مطابق این شکل‌ها، اوج ناپایداری بین ساعت‌های ۹ تا ۱۲ می‌باشد.

بر اساس خروجی مدل GFS مربوط به شاخص TT در ۲۶ می ۲۰۲۱ از ساعت ۶ تا ۱۲ گریونوچ، طبق شکل (۴۲) و (۴۳)، از ساعت ۶ گریونوچ مقدار این شاخص در محدوده ۴۸ تا ۵۱ بوده و در ساعت ۹ تا ۱۲ گریونوچ به ۵۰ تا ۵۲ رسیده سپس از ساعت ۱۲ گریونوچ به تدریج مقدار آن در منطقه کاسته و از محدوده ناپایداری طبق جدول (۷) کم شده است. مطابق این شکل، اوج ناپایداری بین ساعت‌های ۹ تا ۱۲ می‌باشد.

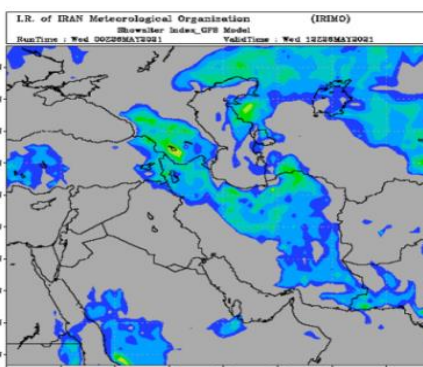
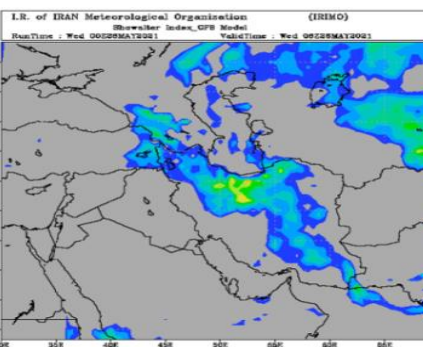
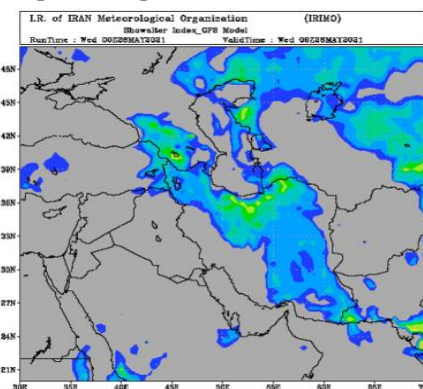


شکل ۴۲. خروجی مدل GFS مربوط به شاخص TT در ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۶ و ۹ گریونوچ^۳

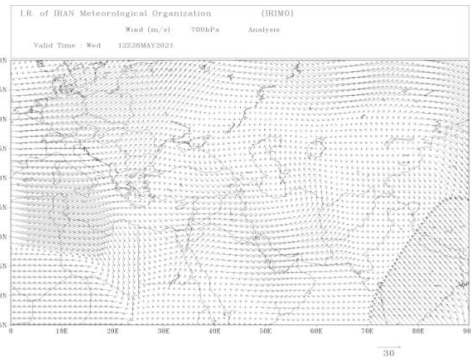
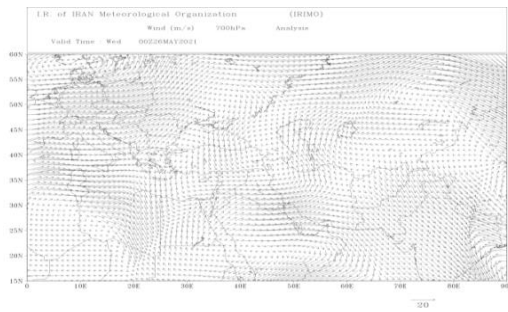


شکل ۴۳. خروجی مدل GFS مربوط به شاخص TT؛ ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۱۲ گریونوچ^۳

خروجی مدل GFS مربوط به شاخص ki، روز ۲۶ می ۲۰۲۱ از ساعت ۶ تا ۱۲ گریونوچ طبق شکل (۴۰) نشان می‌دهد که در ساعت ۶ گریونوچ شاخص ki در محدوده ۲۰ تا ۲۶ می‌باشد و در ساعت ۹ گریونوچ به ۳۶-۴۰ رسیده، سپس از ساعت ۱۲ گریونوچ به تدریج مقدار آن در منطقه کاسته و از محدوده ناپایداری طبق جدول (۵) خارج گشته است. این شکل نشان می‌دهد اوج ناپایداری بین ساعت ۹ تا ۱۲ بوده است. خروجی مدل GFS مربوط به شاخص شوالتر در ۲۶ می ۲۰۲۱ از ساعت ۶ تا ۱۲ گریونوچ طبق شکل (۴۱) نشان می‌دهد که از ساعت ۶ مقدار این شاخص بین صفر تا یک بوده و در ساعت ۹ به (-۱) تا (-۲) رسیده، از ساعت ۱۲ گریونوچ به تدریج مقدار

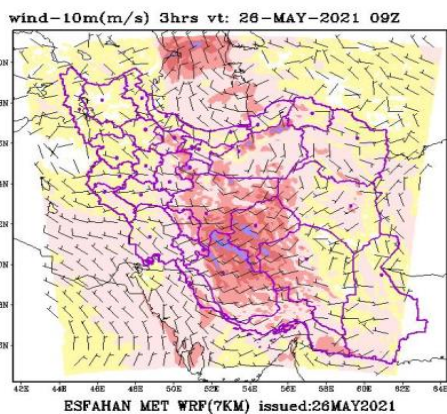
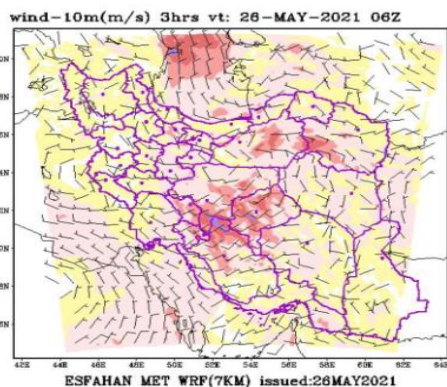


شکل ۴۱. شاخص شوالتر، خروجی GFS؛ ۲۶ می ۲۰۲۱؛ ساعت ۶ تا ۱۲ گریونوچ^۳



شکل ۴۴. نقشه مربوط به وزش باد لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال در ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۰۰ و ۱۲ گرینویچ^۳

تعدد کانون‌های گرد و غبار در این مکان (شکل ۱) باعث افزایش تندی باد و خیزش گرد و غبار شدید و کاهش محسوس دید افقی در ساعت ۱۰ گرینویچ گشته است.



جدول ۶. ارتباط بین شاخص شوالتر، وقوع ناپایداری و طوفان و رعدو برق

شاخص شوالتر	پایداری -- ناپایداری
بیشتر از صفر	پایداری-امکان همرفت ضعیف برای شاخص بین ۱ تا ۲ در صورت صعود قوی
صفر تا -۳	ناپایداری ملایم
-۴ تا -۶	خیلی ناپایدار
کمتر از -۶	ناپایداری شدید

جدول ۷. ارتباط بین شاخص TT، وقوع ناپایداری و طوفان و رعدو برق

شاخص TT	احتمال وقوع رعد و برق
۴۴ <	احتمال رعد و برق وجود ندارد
۴۴-۵۰	احتمالاً رعد و برق است
۵۱-۵۲	رعد و برق شدید منزوی
۵۳-۵۶	رعد و برق شدید، گسترده و پراکنده
۵۷-۶۰	رگبارهای شدید پراکنده

بر اساس شکل (۴۴)، نقشه‌های مسیر باد در لایه ۷۰۰ هکتو پاسکال مربوط به ۲۶ می ۲۰۲۱، ساعت ۰۰ تا ۱۲ گرینویچ نشان می‌دهد که جهت وزش باد از سمت جنوب به شمال و شمال شرقی می‌باشد. این وضعیت در کل این مدت نمایان بوده است. در منطقه مورد مطالعه نیز جهت باد از این الگو تبعیت می‌کند که با گزارشات ارسالی از ایستگاه همدیدی همخوانی کامل داشته و بیانگر این است که چشمه اصلی این گرد و غبار از جنوب منطقه خورویابانک بوده اما ناپایداری‌های شمال استان و مناطق شمالی کشور در تشدید آن و ایجاد همرفت، نقش به‌سزایی داشته است. نکته مهم در این جا این است که این الگو تا لایه‌های فوقانی جو همچنان ادامه داشته است. شکل (۴۵) مربوط به خروجی ساعتی مدل WRF، نشان می‌دهد که منبع اصلی وزش باد شدید و ایجاد گرد و غبار در شمال شرقی یزد بوده که از سمت جنوب وارد شهرستان خورویابانک گشته و با توجه به ماهیت سستی خاک منطقه و

گسترش و توسعه دامنه گرد و غبار کمک کرده است. با توجه به خشکسالی‌های مکرر و فرسایش خاک و اقلیم منطقه با کمترین وزش باد ایجاد گرد و غبار و مشکلات جانبی گردیده است. لازم به ذکر است که در منطقه مذکور بعد از ساعت ۱۲ هیچ اثری از این نوع طوفان بر روی منطقه گزارش نشده است. با توجه به محلی و لحظه ای بودن وقوع این پدیده نیاز به اجرای مدلی مدلهای خرد مقیاس می‌باشد.

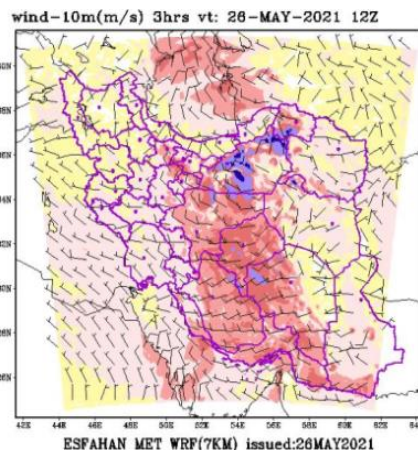
شکل (۴۶) مربوط به خروجی مدلی WRF مقیاس ۷km، نشان می‌دهد که منبع اصلی وزش باد شدید و ایجاد گرد و غبار در ساعت ۹ گریونویچ شمال شرق استان یزد بوده که از سمت جنوب وارد شهرستان خورویابانک گشته و با توجه به ماهیت سستی خاک منطقه و تعدد کانون‌های گرد و غبار در این مکان باعث افزایش تندی باد و خیزش گرد و غبار شدید و کاهش محسوس دید افقی در ساعت ۱۰ گریونویچ گشته است. لازم به ذکر است که ناپایداری‌های مربوط به جنوب استان سمنان در ساعات بعدی نیز به ازدیاد ناپایداری و گسترش و توسعه دامنه گرد و غبار کمک کرده است. در منطقه مذکور بعد از ساعت ۱۱ هیچ اثری از این نوع طوفان در منطقه گزارش نشده است.

۴. نتایج

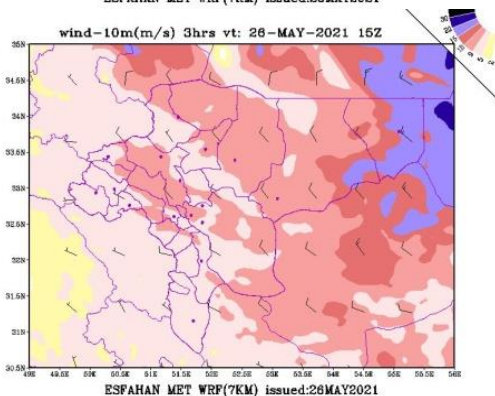
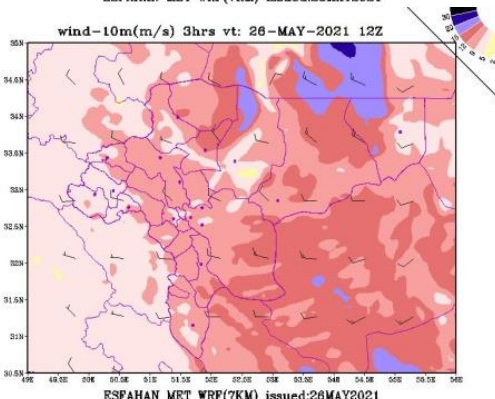
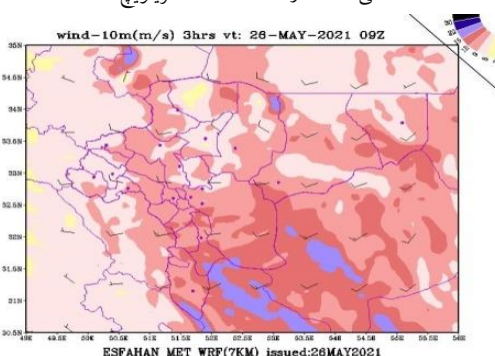
الف- خیزش گرد و غبار شدید ناشی از کانون‌های داخلی بدون هیچ زمینه قبلی یا فرارفت افقی و انتقال از استان‌ها یا مکان‌های دیگر رخ داده و به طور لحظه‌ای یا کوتاه مدت با شدت و انرژی زیاد در بعد قائم بوده است (لازم به ذکر است جهت اطمینان یافتن از این گفته از نقشه‌های با مقیاس بزرگتر استفاده و به طور ساعتی بررسی شده است).

ب- تنها از طریق خروجی مدلهای خرد مقیاس و محلی با درجه تفکیک بالا و ساعتی در کنار تجزیه تحلیل پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی با استفاده از اطلاعات جو بالا وقوع این چنین پدیده‌های محلی و لحظه‌ای قابل پیش‌بینی است.

ج- تاکنون براساس تحقیقات نقطه‌ای و منطقه‌ای و با بررسی اطلاعات و آمار هواشناسی، هیچ کانون گرد و غباری در مناطق غرب و جنوب استان یافت نشده است.



شکل ۴۵. نقشه‌های خروجی مدلی WRF برای سرعت وزش باد ۱۰ متری در ۲۶ می ۲۰۲۱، از ساعت ۶ تا ۱۲ گریونویچ^۴



شکل ۴۶. نقشه‌های خروجی مدلی WRF برای سرعت وزش باد ۱۰ متری در ۲۶ می ۲۰۲۱، از ساعت ۹ تا ۱۵ گریونویچ در استان اصفهان^۴

البته لازم به ذکر است که ناپایداری‌های مربوط به جنوب استان سمنان در ساعات بعدی نیز به ازدیاد ناپایداری و

تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران، اردبیل،

<https://civilica.com/doc/371424>

4. Ebrahimi, Z., Vali, A. A., khosroshahi, M. and Ghazavi, R., 2017. Investigation of the role of bed dried Gavkhooni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and duststorms (Case study: Isfahan province). *Journal of Range and Desert Research*, 24(1): 152-164.
5. Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Khalili, A., Saremi Naieni, M. A. and Rajabi, M. R., 2006. Application of Wind Rose, dust storm and Sand Rose in the analysis of wind erosion and determine the direction of the sands (Case study: Yazd-Ardakan plain area). *Journal of Natural Resources*, 59(3): 533-541.
6. Ensafi Moqaddam, T., Khoshakhlagh, F., Shamsipour, A. A., Akhavan, R., Safarrad, T. and Amir Aslani, F., 2018. Analyses of simultaneous dustfall and rain events frequency in southwestern of Iran. *Journal of Range and Desert Research*, 25(3): 546-555.
7. Goudie, A., 2014. Review Desert dust and human health disorders. *The Journal of Environment International*, 63(3): 101-113. – Hamidi, M., Kavianpour, M. R. and Shoa, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3): 279-286.
8. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S. and Kahn, R. A., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *The Journal of Science of the total environment*, 434(3): 552-564.
9. Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y., 2013. Climatology of the middle dust events. *Journal of Aeolian Research*, 10:103-109.
10. Mesbahzadeh, T. and Ahmadi, H., 2011. The wind regime in the sand dunes of Dubai and for transferring deposits (Case Study: Sabzevar). *Geo-Sun Journal*, 99: 16724-16710.
11. Tan, M., Li, X. and Xin L., 2014. Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric Environment*, 85(4): 215-222.
12. Yousefi, M. and Kashi Zenouzi, L., 2015. Nomination the most suitable of input combination of artificial neural networks method to purpose nomination the wind parameters on the prospect of dust storms phenomenon (case study: yazd province). *Journal of Range and Desert Research*, 22(2): 240-250.
13. Hamidi, M., Kavianpour, M. R. and Shoa, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the middle east. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3): 279-286. https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/convective_parameters/skewt/skewtinfo.html

د- شرایط همرفتی و پارامترهای ترمودینامیکی در سه مورد مذکور عامل وزش باد لحظه‌ای و خیزش گرد و غبار می‌باشد.
 ه- از شاخص Li فقط در شرایط همرفت فصول گرم می‌توان استفاده کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در زمان وقوع طوفان و گرد و غبار در شهرستان ورزنه واقع در جنوب شرقی استان اصفهان (۴-) درجه سلسیوس بوده و در دیگر مناطق استان بین ۰ تا (۲-) بوده است. این خود با توجه به جدول (۲) مبین ناپایداری متوسط تا شدید در آن منطقه بوده است. در این منطقه با توجه به زمان وقوع، شاخص Li مفیدتر از بقیه شاخص‌ها خواهد بود.

و- نقشه‌های واقعی مربوط به سطح زمین و سطوح فوقانی جو با توجه به درجه تفکیک پایین و نبود داده‌های زمینی و جو بالای مورد نیاز نمی‌تواند به تنهایی بیانگر علت وقوع گرد و خاک‌های مذکور در منطقه باشد.

۵. پیشنهادات

- ۱- اجرای مدل‌های عددی میان و خرد مقیاس بر روی استان اصفهان جهت پیش‌بینی دقیق این پدیده و استفاده نقطه‌ای در شناخت کانون‌های اولیه و ثانویه می‌تواند مفید واقع گردد.
- ۲- مدیریت و تلاش در حفظ موقعیت کنونی غرب و جنوب استان از نظر رطوبت خاک و منابع آب جهت عدم تبدیل مناطق غرب به کانون گرد و خاک ضروری است.

۶. منابع

۱. مطالعات دفتر امور بیابان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۹۸)، طرح مطالعات جامع عرصه‌های تولید گرد و غبار در کشور به منظور اولویت بندی مناطق منشا تولید گرد و غبار مطالعه موردی (استان اصفهان).
۲. سلحشوری، ر. و جوانمرد، ا. ۱۳۹۴، مدیریت ریزگردها در اصفهان، کنفرانس ملی اقیانوس مدیریت، شیراز، <https://civilica.com/doc/486768>
۳. مرادی، آ.، ۱۳۹۴، ارزیابی اثرات زیست محیطی پدیده خشکسالی بر وقوع ریزگردها، اولین همایش ملی

14. SKEW-T: A LOOK AT SI
(theweatherprediction.com)
<https://www.kashanakhbar.ir/news>