دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۸۰
زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۳۳-۱۱۷

DOI:10.52547/GeoSpa.22.4.117

وحیده صیاد[1]*
مهری اکبری[2]
محمد سلیقه[3]
شریفه زارعی[4]

ردیابی و تحلیل همدید گردوغبار فراگیر زمستانی در ایران (مطالعه موردی بهمن ماه ۱۳۹۶)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۲٦

چکیده

در سال‌های اخیر غبار مهم‌ترین بحران زیست‌محیطی ایران بوده است. در ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦ گردوغبار شدیدی ایران را در برگرفت که از دو جنبه‌ی وسعت مکانی و زمان رخداد (زمستان) دارای اهمیت برای پژوهش بود. هدف این تحقیق تحلیل شرایط همدیدی و ردیابی این پدیده فرین است. به این منظور از داده‌های ماهواره‌ای و باز تحلیل شده استفاده شده است. داده‌های سنجنده مودیس نشان داد که بیش از ٦۰ درصد از مساحت ایران در این روز تحت تأثیر هواویزهای غباری بوده که نشان‌دهنده فراگیر بودن این پدیده است. بیشینه مقدار عمق نوری هواویزها در شمال شرق استان یزد به میزان ۲/۰۳ مشاهده شد. نتایج تحلیل همدید این پدیده نشان داد که در تراز دریا یک هسته‌ی کم‌فشار شمال شرق و بخش‌های مرکزی ایران را در بر گرفته است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال وجود یک کم ارتفاع در شمال دریاچه بایکال و یک پرارتفاع بر روی جنوب پاکستان و حرکات سیکلونی و آنتی سیکلونی ناشی از آن‌ها منجر به همگرا شدن جریان هوا در مرکز ایران شده است. تضاد حرارتی ناشی از هوای سرد عرض‌های بالا و هوای گرم عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، منجر به شکل‌گیری هسته رودباد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی مرکز ایران

*۱- فارغ التحصیل دکترای گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی. (نویسنده مسئول). E-mail: sayadvahideh@gmail.com
۲- گروه آب و هواشناسی، دانشکده دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.
۳- گروه آب و هواشناسی، دانشکده دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.
٤- دانشجوی دکترای گروه آب و هواشناسی، دانشکده دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

شده است. قرارگیری هسته کمینه رطوبت در تمامی ترازها و همچنین صعودی بودن هوا (بر اساس مقادیر تاوایی) شرایط را برای خیزش گردوغبار فراگیر در ایران مهیا کرده است. مسیریابی حرکت توده‌های هوا غبار خیز از ٤٨ ساعت قبل از اوج غبار در سه نقطه‌ی جنوب‌غرب، مرکز و شمال‌شرق ایران نشان داد که مسیر انتقال توده‌های هوا در تمامی بخش‌های ایران غربی بوده است. با این حال در مرکز ایران حتی در ارتفاع ۵۰۰ متری نیز توده‌ی هوا از بیابان‌های عربستان به ایران منتقل شده و منجر به انتقال غبار سنگین زمستانه به مرکز ایران شده است.

کلید واژه‌ها: گردوغبار، تحلیل همدید، سنجنده MODIS، مدل HYSPLIT، ایران.

مقدمه

غبار به‌عنوان اصلی‌ترین نوع هواویزهای اتمسفری به شمار می‌آید (Maghrebi et al., 2011). خشک‌سالی، بارش، رطوبت خاک، جنگل‌زدایی، تغییر در کاربری اراضی و سیستم‌های جوی مهم‌ترین عوامل تشکیل‌دهنده در شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار هستند (Yang et al., 2007؛ Qu et al., 2006). غالب توفان‌های غباری نیم‌کره شمالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بین عرض‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۳۰ درجه شمالی گسترش یافته‌اند (که بارش سالانه کمی دارند)، رخ می‌دهند (Sissakian, 2013؛Goudie & Middleton, 2006). منطقه خاورمیانه به‌عنوان یکی از منابع اصلی غبار در جهان به شمار می‌رود (Middleton,1986, Rezazadeh et al., 2013). کشور ایران نیز با توجه به قرار گرفتن در کمربند غبار نیمکره شمالی و میانگین بارش سالانه کم‌تر از ٢٤٢ میلی‌متر به‌عنوان یکی از نواحی درگیر با پدیده غبار در خاورمیانه به شمار می‌آید (Vaheddoost & Aksoy, 2017). با توجه به مطالعه (Rezaei et al., 2019) که بر مبنای داده‌های بلندمدت سنجنده مودیس انجام‌شده، بیش‌ترین میزان فراوانی هواویزهای غباری ایران، در جنوب‌غرب ایران (استان خوزستان) رخ می‌دهد. (Zarasvandi, Miri et al., 2007 2007) نیز اشاره کردند که جنوب‌غرب ایران بیش‌ترین توجه علمی را برای مطالعه‌ی ابعاد مختلف غبار به خود جلب کرده است. این امر به دلیل نزدیکی منطقه جنوب‌غرب ایران به کانون‌های غباری در کشورهای عراق، سوریه و عربستان می‌باشد (Furman, 2003). در سال‌های اخیر غبار به‌عنوان بحران زیست‌محیطی عمده در استان خوزستان به شمار می‌آید و از آنجا که روند روزهای غباری در منطقه نیز به دلایل مختلف ازجمله ساختن سد و خشک‌سالی‌های گسترده افزایش چشمگیری داشته است (Zarasvandi et al., 2011, Azizi et al., 2012, Shahsevani et al., 2012)، این پدیده نگرانی‌های زیادی را به وجود آورده است؛ بنابراین تحلیل شرایط همدیدی و ردیابی منشأ این پدیده می‌تواند در جهت پیش‌آگاهی و برنامه‌ریزی دقیق‌تر جهت مقابله با آن کاربرد داشته باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با شرایط همدیدی و شناسایی منابع ایجادکننده گردوغبار انجام‌شده است. بسیاری از این مطالعات خارج از محدوده‌ی خاورمیانه می‌باشد، برای مثال Hahnenbrger & Nicoll (2012) ویژگی‌های هواشناختی توفان‌های گردوغبار را در یوتا ایالات‌متحده بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که دلیل ٦٨ درصد از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

توفان‌های منطقه نزدیک شدن تراف‌های سطوح میانی و سیستم‌های سیکلونی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برخی از مطالعات نیز به تحلیل همدید توفان‌های غبار در منطقه خاورمیانه پرداخته‌اند. بر اساس مطالعه‌ی (Hamidi et al., 2013) به‌طور کلی الگوهای همدید توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه را می‌توان به دودسته‌ی کلی الگوی باد شمال و الگوی جبهه‌ای طبقه‌بندی کرد که الگوی شمال اصلی‌ترین الگوی ایجاد توفان‌های غبار در منطقه‌ی خاورمیانه می‌باشد. پژوهش‌های Aljamile & Ebrahim (2013) بر روی کشور عراق، Gaetani & Pasqui (2014) بر روی حوزه مدیترانه و (Awad & Mashat, 2016) بر روی شمال کشور عربستان نیز از منظر همدیدی انجام شده است. وجه اشتراک نتایج این پژوهش‌ها این است که شدیدترین توفان‌های گردوغبار به دلیل سیستم‌های کم‌فشار در سطح زمین و عبور یک تراف در ترازهای میانی جو رخ می‌دهند. در ایران نیز در رابطه با تحلیل همدید پدیده‌ی غبار پژوهش‌های متعددی به‌ویژه برای منطقه جنوب غرب و غرب ایران انجام‌شده است. به‌عنوان مثال (Azizi et al, 2012)، (Farajzadeh & Rajai, 2012)، (Ghahri et al., 2012)، (Najafpour,2012)، (Reispour et al., 2014)، (Yarahmadi et al., 2014)، (Bahrami et al., 2014)، (Akbary & Farahbakhshi, 2015) در پژوهش‌های خود شرایط همدید وقوع غبار را برای منطقه جنوب‌غرب ایران بررسی کردند. علاوه بر این برخی از مطالعات ازجمله (Akbary & Farahbakhshi, 2015)، (Khoshkish et al., 2011)، (Zolfaghari & Abedzade, 2005)، (Kykhosravi & Haseli, 2017)، (Omidvar & Sepandar,2018) به تحلیل همدید وقوع غبار در غرب ایران به‌ویژه استان کرمانشاه پرداخته‌اند. آنچه از نتایج تحلیل همدید این مطالعات می‌توان استنتاج کرد این است که هرگاه یک ناوه عمیق در سطوح فوقانی جو منطقه مستقر و در سطح زمین هم یک سیکلون سطحی ایجاد شود باعث بروز پدیده غبار در منطقه می‌شود. هم‌زمان با تحلیل همدید پدیده غبار، بسیاری از مطالعات با استفاده از مدل هایسپلیت به مسیریابی و شناسایی منابع احتمالی غبار نیز توجه داشتند. برای مثال (Alam et al., 2011) با بررسی تغییرات مکانی-زمانی و مسیرهای حمل‌ونقل گردوغبار در پاکستان نتیجه گرفتند که توده‌های هوای گردوغبار در زمستان مسیری طولانی‌تر از تابستان دارند. مسیرهای گردوغبار احتمالی در شمال غربی چین با استفاده از مدل HYSPLIT در طول دوره ۱۹۷۸-۲۰۱۳، ارزیابی‌شده است و نتایج نشان داده است که فعالیت‌های گردوغبار در فصول بهار و تابستان به حداکثر خود می‌رسد (Ge at el., 2016). Rezai et al (2019) با استفاده از مدل هایسپلیت منابع احتمالی غبار را در ارتفاعات ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ٤۰۰۰ متر بر روی تهران شناسایی نمودند. نتایج مسیریابی توده‌های هوا نشان داد که دو مسیر شمال‌شرقی و غربی منجر به انتقال غبار از بیابان‌های کشورهای همسایه به تهران می‌شوند. در ایران نیز منابع تولیدکننده غبار بر روی غرب و جنوب‌غرب ایران در مطالعات متعددی مورد شناسایی قرارگرفته‌اند. به‌عنوان‌مثال، Azizi et al., 2012 پدیده غبار را در نیمه غربی ایران ردیابی نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب و جنوب‌غرب عراق به‌ترتیب به‌عنوان دو کانون اصلی گردوغبار در غرب ایران به‌شمار می‌آیند. علاوه بر این (Zolfaghari & Abedzadeh, 2004)، (Khoshkish et al., 2011)، (Ghahri et al., 2012)، (Najafi et al., 2014)، (Borumand & Bakhtiarpour, 2016)، (Falah et al., 2014) (Vishkai et al., 2012)، (Omidvar & Kykhosravi & Haseli, 2017)، (Netaro et al., 2015)، (Akbari & Farahbakhsh, 2015)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

Sepandar, 2018) نیز در مطالعات خود منابع توفان‌های غبار را در غرب ایران شناسایی نمودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش‌ها مهم‌ترین منابع تولید غبار در غرب ایران غالباً همسایه‌های غربی شامل نواحی خشک جنوب ترکیه، بیابان‌های عراق، سوریه و شمال‌شرقی عربستان و در برخی مواقع شمال صحرای افریقا می‌باشد. براثر وزش باد و طوفان گردوغبار در روز ۲۵ بهمن ۱۳۹٦ کیفیت هوا در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، یزد، اصفهان و سمنان کاهش یافت. شاخص کیفی هوای پنج شهر استان یزد شامل اردکان، میبد، بافق، مهریز و یزد ناسالم و بسیار ناسالم شد. سرعت وزش باد در برخی از نقاط استان به بیش از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت رسیده و براثر شدت گردوغبار و کاهش دید افقی محور اردکان–نائین مسدود شد، همچنین در استان خراسان جنوبی وزش باد شدید همراه با گردوخاک پرواز تهران–طبس را کنسل نمود. سرعت وزش باد در نواحی مرکزی، نوار غربی و جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان به بیش از ۹۰ کیلومتر در ساعت رسیده و گردوغبار ناشی از این طوفان شاخص کیفی هوای زاهدان را به ۹۰ برابر حد مجاز و ۳۰ برابر حد بحران رسانده است. در توفان غبار روز ۲۵ بهمن ۱۳۹٦، میزان گردوغبار در آسمان اهواز به بیش از ٦۰ برابر حد مجاز رسید و منجر به لغو پروازها و تعطیلی مدارس ١٤ شهرستان استان خوزستان گردید. در مدت‌زمان ٢٤ ساعت ۳۷۸ نفر براثر عوارض ناشی از گردوغبار به مراکز درمانی استان خوزستان مراجعه نمودند این گزارش‌ها حاکی از گستردگی مکانی طوفان گردوغبار در این روز است.با توجه به مطالعات قبلی مشخص می‌شود که غالب پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با تحلیل همدیدی غبار، مربوط به پدیده‌هایی است که در فصل‌های بهار و تابستان رخ می‌دهد، این امر به این سبب است که ازنظر فصلی فراوانی غبار در ایران در فصول گرم سال افزایش می‌یابد (Rezai et., 2019؛ Aram et al., 2015). با توجه به این‌که این رخداد فرین در زمستان رخ‌داده است، بنابراین هدف این تحقیق شناسایی ویژگی‌های اپتیکی آن بر اساس داده‌های ماهواره، دلایل همدید و منشأ یابی این پدیده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌طور کلی در این پژوهش به‌منظور تحلیل همدید و ردیابی هواویزهای غبار از چهار نوع مختلف ازجمله داده¬های سنجش‌ازدور، باز تحلیل شده و ایستگاه‌های هواشناسی برای روز ۲۵ بهمن ۱۳۹٦ استفاده شد. نوع اول داده‌های شبکه‌ای اقلیمی با فرمت Netcdf به‌صورت میانگین روزانه، ماهانه و همچنین چهار مشاهده در روز در وبگاه NCEP/NCAR موجود است. داده‌های بازتحلیل شده مورد استفاده در این پژوهش شامل، فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری، رطوبت نسبی و همچنین مقادیر سرعت قائم باد امگا در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده است. تمامی داده‌های یادشده به‌صورت میانگین روزانه برای روز ١٤ فوریه ۲۰۱۸ (۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦) گرفته شد. نقشه‌های سینوپتیک روزهای غباری در محیط نرم‌افزار Grads در محدوده‌ی ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی و ۰ تا ۱۰۰ درجه طول جغرافیایی شرقی ترسیم و تحلیل گردید. برای ترسیم نقشه جریان هوا و تحلیل مسیر گردوغبار از برآیند مؤلفه‌های باد مداری (U) و نصف‌النهاری (V) استفاده شد. علاوه بر این از مؤلفه‌های باد نصف‌النهاری و مداری مقادیر تاوایی نیز محاسبه شد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

نوع دوم از داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل محصولات سطح ۳ اتمسفری MODIS باقدرت تفکیک یک درجه جغرافیایی می‌باشد. یکی از شاخص‌هایی که با استفاده از سنجش‌ازدور می‌توانیم شناسایی کنیم AOD است که عمق اپتیکی آئروسل‌ها و شناسایی اندازه ذرات و میزان تراکم و تمرکز آن‌ها را در سطوح مختلف اتمسفر مشخص می‌کند، وقتی تمرکز ذرات زیاد می‌شود به‌صورت مستقیم می‌تواند بر روی انتقال امواج خورشیدی یا الکترومغناطیسی تأثیر داشته باشد. ذرات گردوغبار هم بر روی پخش و بازتاب امواج و هم بر روی جذب امواج تأثیرگذار است، اندازه AOD از ۰/۱ تا ۰/۵ است در ۰/۱ آسمان به‌صورت روشن و آبی‌رنگ است و هرچقدر از ۰/۱ به سمت مقادیر بیش‌تر پیش رویم تراکم گردوغبار بیش‌تر می‌شود و خورشید به‌صورت تیره‌وتار دیده می‌شود و هر چقدر تراکم گردوغبار کم‌تر باشد میدان دید بیش‌تر است. مرز آلودگی هوا توسط ذرات ۰/۳ است، هر چه اندازه ذرات از ۰/۳ بیش‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی دید کم‌تر و بازتاب نور خورشید بیش‌تر توسط ذرات است. در این تحقیق از داده‌های عمق نوری هواویزها از الگوریتم دیب بلو (کالکشن ٦/١) از وبگاه مودیس استفاده شد. پس از به‌دست آوردن داده‌های یاد شده، تحلیل فضایی آن در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام پذیرفت.

نوع سوم از داده‌های مورداستفاده در این تحقیق داده‌های مربوط به دید افقی است که در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و سری زمانی ماهانه آن برای ایستگاه طبس (به‌عنوان ایستگاه با کم‌ترین مقدار دید افقی در روز مورد مطالعه) ارائه شد. داده‌های دید افقی از سازمان هواشناسی ایران به آدرس http://www.irimo.ir/far اخذ شد.

نوع چهارم از داده‌ها، خروجی مدل لاگرانژی HYSPLIT به روش پسگرد، جهت ردیابی منشأ غبار بر روی نقاط مختلفی از بخش‌های غربی، مرکزی و شرقی ایران می‌باشد. مسیر ذرات گردوغبار برای ٤٨ ساعت قبل از رخدادِ غبار بر اساس ساعات وقوع پدیده غبار روی منطقه در نظر گرفته شد. داده‌های ورودی مدل برگرفته از داده‌های باز تحلیل‌شده Reanalysis NCEP بوده است. همچنین روش محاسبه جریانات به‌صورت خطوط ارتفاعی (vertical)، با گام زمانی اجرای مدل ٦ ساعته و در ترازهای ارتفاعی ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ متر از سطح زمین صورت گرفت. در نهایت با بررسی خروجی‌های حاصل از مدل، مسیر انتقال غبار در نقاط مختلف کشور مشخص گردید.

بحث و یافته‌ها

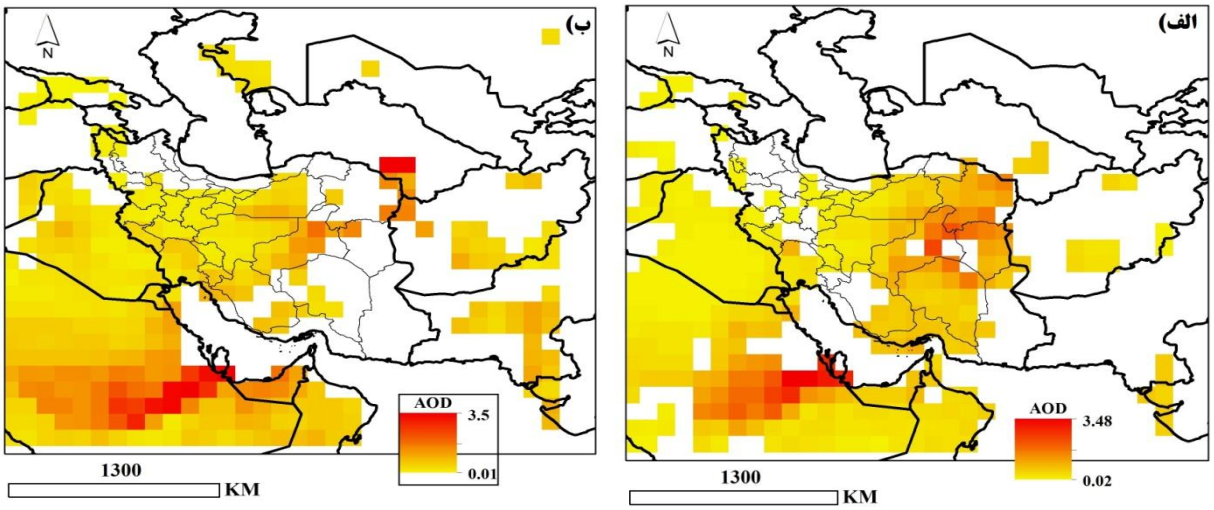
توزیع فضایی طوفان بر مبنای داده‌های ماهواره

عمق نوری آئروسل (AOD^{5}) یک پارامتر مهم سنجش‌ازدور است که به‌عنوان یک متغیر، فراوانی آئروسل را در یک ستون نماینده نشان می‌دهد (Holben et al.,1988)؛ داده‌های ماهواره‌ای از مقادیر عمق نوری هواویزها به دلیل وسعت مکانی و فضایی، برای مطالعه طوفان‌های گردوغبار مفید هستند (Alam et al., 2011). پوشش فضایی گسترده و قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده (MODIS)، داده‌های AOD آن را برای بررسی توزیع فضایی و زمانی گردوغبار مناسب نموده است. در شکل (۱) الف، مقادیر فضایی عمق نوری هواویزها برای ماهواره ترا در ایران و

5- Aerosol Optical Depth

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

کشورهای همسایه به نمایش گذاشته شده است. با توجه به قدرت تفکیک مکانی یک درجه جغرافیایی نقشه، از مجموع ۱۷۰ نقطه شبکه موجود بر روی ایران، ۱۰٤ مورد از لحاظ عمق نوری، دارای مقدار هستند. به‌عبارت‌دیگر بر مبنای داده‌های به‌دست آمده از ماهواره ترا در این هنگام ٦۱ درصد از مساحت ایران تحت تأثیر هواویزهای غباری بوده است. میانگین عمق نوری هواویزها ۰/۵۷ و انحراف معیار آن ۰/٤٤ است. بیشینه مقدار عمق نوری هواویزها در ایران در شرق استان یزد (به میزان ۲/۰۳) مشاهده می‌شود. علاوه بر این مقدار عمق نوری هواویزها در این لحظه در شمال استان خراسان جنوبی (۱/۵)، شمال شرق استان کرمان بر روی بیابان لوت (۱/٤) و شمال خوزستان (۰/۷۸) نیز قابل‌توجه می‌باشد. بر اساس نقشه‌ی عمق نوری هواویزهای سنجنده مودیس- ترا در این لحظه بیشینه عمق نوری هواویزها در شرق شبه‌جزیره عربستان و به میزان ۲/۵٦ است. شکل (۱ ب) نیز مانند شکل الف مقدار عمق نوری هواویزها را از سنجنده مودیس-آکوا نشان می‌دهد. داده‌های ماهواره آکوا به لحاظ زمانی ساعاتی بعد از ماهواره ترا و هنگام بعدازظهر می‌باشند. بر مبنای داده‌های عمق نوری هواویزها از ماهواره آکوا، ٤٦/٤ درصد از مساحت ایران (۷۹ نقطه شبکه) دارای کمیت عمق نوری هواویزها هستند. میانگین عمق نوری هواویزهای ایران در این نقشه نسبت به مشاهده ماهواره ترا کم‌تر است (میانگین ۰/۳۵ و انحراف معیار ۰/۲۷). در این نقشه نیز بیشینه عمق نوری هواویزها به میزان ۱/۲٦ در شمال‌شرق استان یزد مشاهده می‌شود. علاوه بر این مقادیر عمق نوری هواویزها در این لحظه بر روی شمال خراسان جنوبی (۱/۰۱)، شمال استان بوشهر (۰/٦۲) و شمال استان خوزستان نیز بسیار زیاد است.



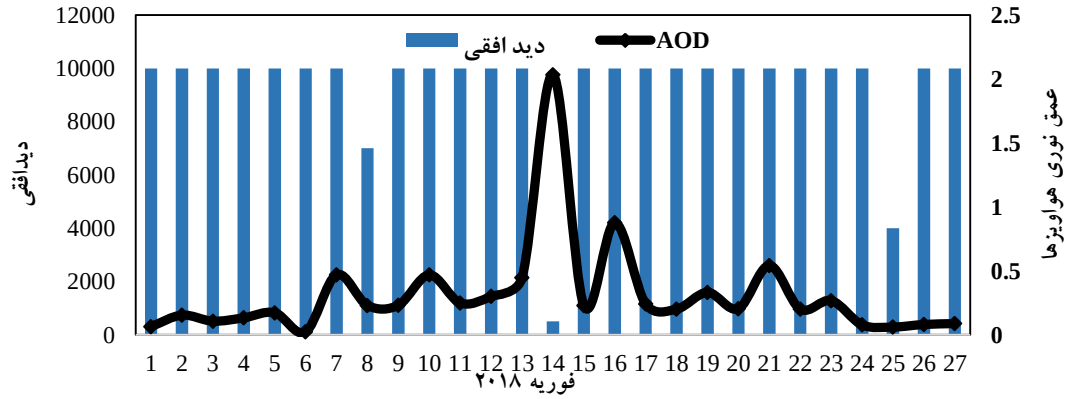
شکل ۱: توزیع جغرافیایی عمق نوری هواویزها در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦. الف) الگوریتم دیپ بلو، ماهواره ترا. ب) الگوریتم دیب بلو، ماهواره آکوا

Figure 1: Geographical distribution of aerial optical depth on 25th of February 2016. a) Deep Blue algorithm, Terra satellite. b) Deep blue algorithm, Aqua satellite

با توجه به نقشه‌های عمق نوری هواویزها، در هر دو سری از داده‌های ترا و آکوا بیشینه مقدار عمق نوری هواویزها در شمال‌شرق استان یزد مشاهده می‌شود؛ بنابراین، سری زمانی داده‌های عمق نوری هواویزها در بهمن‌ماه ۱۳۹٦

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

(فوریه ۲۰۱۸) برای عرض جغرافیایی ۵۶/۵ درجه طول جغرافیایی شرقی و ۳۲/۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی (شمال شرق استان یزد) در شکل (۲) به نمایش گذاشته شده است. علاوه بر این در نمودار شکل (۲) هم‌زمان سری زمانی مقادیر دید افقی (واحد=متر) برای ایستگاه طبس واقع در شرق استان یزد مشاهده می‌شود. تغییرات زمانی این دو کمیت نشان می‌دهد که بیشینه مقدار عمق نوری هواویزها در روز ۱۴ فوریه (۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹۶) به مقدار ۲/۰۳ رسیده است. هم‌زمان در همین روز در ساعت ۱۲ یو تی سی (۳۰: ۱۵ دقیقه به‌وقت‌ایران) مقدار دید افقی در ایستگاه هواشناسی طبس به حدود ۵۰۰ متر رسید است. این مقدار کم‌ترین مقدار دید افقی در ایستگاه هواشناسی طبس در ماه فوریه ۲۰۱۸ (بهمن‌ماه ۱۳۹۶) به‌حساب می‌آید؛ بنابراین هر دو کمیت نشان‌دهنده‌ی این نکته هستند که پدیده غبار روز ۲۵ بهمن یک ناهنجاری شدید در این نقطه بوده است.



شکل ۲: تغییرات عمق نوری هواویزها از سنجنده مودیس (ترا) در نقطه ۵۶.۵ درجه طول شرقی-۳۲.۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی (واقع در شرق استان یزد) همراه با تغییرات دید افقی در ایستگاه سینوپتیک طبس در ماه فوریه ۲۰۱۸

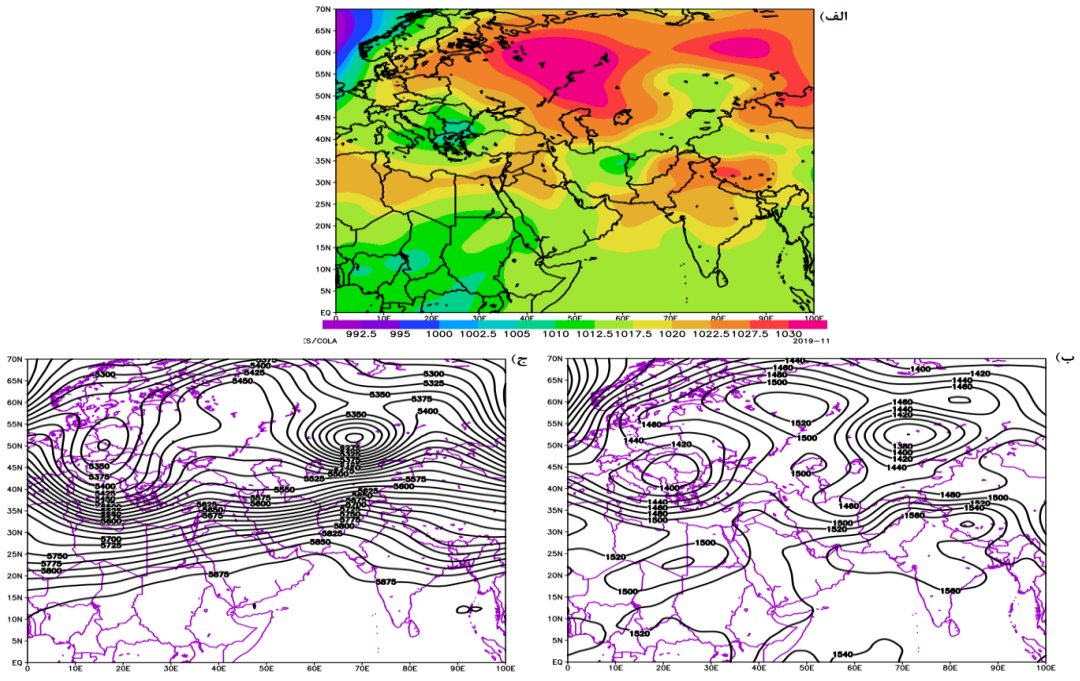
Figure 2: The changes in optical depth of aerials from MODIS sensor (TERA) at the point 56.5 degrees east longitude - 32.5 degrees north latitude (located in the east of Yazd province) along with changes in horizontal visibility at Tabas synoptic station in February 2018

بررسی همدید گردوغبار

شکل (۳) پراکندگی مقدار میانگین فشار تراز دریا را در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. در این روز سه مرکز پرفشار در شمال، شمال شرق روسیه و غرب چین مشاهده می‌شود. به لحاظ وسعت پرفشار واقع در نیمه غربی روسیه (شمال دریای خزر) با مقدار ۱۰۳۲/۵ هکتوپاسکال محدوده‌ی بیش‌تری را در برگرفته است. به‌رغم وجود این مراکز پرفشار در اطراف ایران، مقدار فشار تراز دریا در بخش‌های وسیعی از ایران نسبتاً کم می‌باشد. این حالت به دلیل قرارگیری یک هسته کم‌فشار (به میزان ۱۰۰۲/۵ هکتوپاسکال در هسته) در شمال‌شرق ایران است که منجر به این شده است که فشار تراز دریا در سرتاسر ایران نسبت به اطراف کم‌تر باشد. ارتباط و هماهنگی بسیار خوبی بین نقشه تراز دریا و مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳ الف) دیده می‌شود. به‌عبارتی‌دیگر بر فراز مراکز پرفشار و کم‌فشار تراز دریا، به‌ترتیب مراکز پر ارتفاع و کم ارتفاع در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال دریاچه بایکال یک مرکز کم ارتفاع با منحنی هم‌ارتفاع ۱۳۸۰ ژئوپتانسیل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

متر مشاهده می‌شود که ناوه‌ای از آن از شمال‌شرق وارد شده و تا بخش‌های مرکزی ایران نیز امتداد یافته است. درواقع وجود مرکز کم‌فشار در شمال‌شرق ایران به دلیل وجود این کم ارتفاع در شمال دریاچه بایکال است. ضریب همبستگی پیرسون بین توزیع جغرافیایی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل بین ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ۰/۸۳ است. این مقدار نشان می‌دهد که در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۷۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۰ تا ۱۰۰ درجه شرقی، وضعیت توزیع مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبتاً مشابه با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بوده و همراهی سطح میانی اتمسفر با سطوح پایین منجر به همگرایی دو تراز برای رخداد گردوغبار فراگیر فرین در کشور شده است. در انطباق با کم ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بر روی دریاچه بایکال، یک منحنی هم‌ارتفاع به میزان ۵۲۵۰ ژئوپتانسیل متر دیده می‌شود. با این حال برخلاف تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در این تراز محور ناوه چندان عمیق نیست و خطوط هم‌ارتفاع بر روی ایران به‌صورت مداری کشیده شده‌اند. از نقشه‌های پراکندگی فشار در ترازهای سطح دریا، تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌توان نتیجه گرفت که در تراز دریا کم‌فشار دینامیکی در شمال‌شرق ایران واقع‌شده که این کم‌فشار با محور ناوه منطبق در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال منطبق می‌شود. با این‌حال در تراز ۵۰۰ این ناوه به سبب پشته‌ی ضعیفی که در مرزهای شرقی ایران مشاهده می‌شود از عمق چندانی برخوردار نیست.

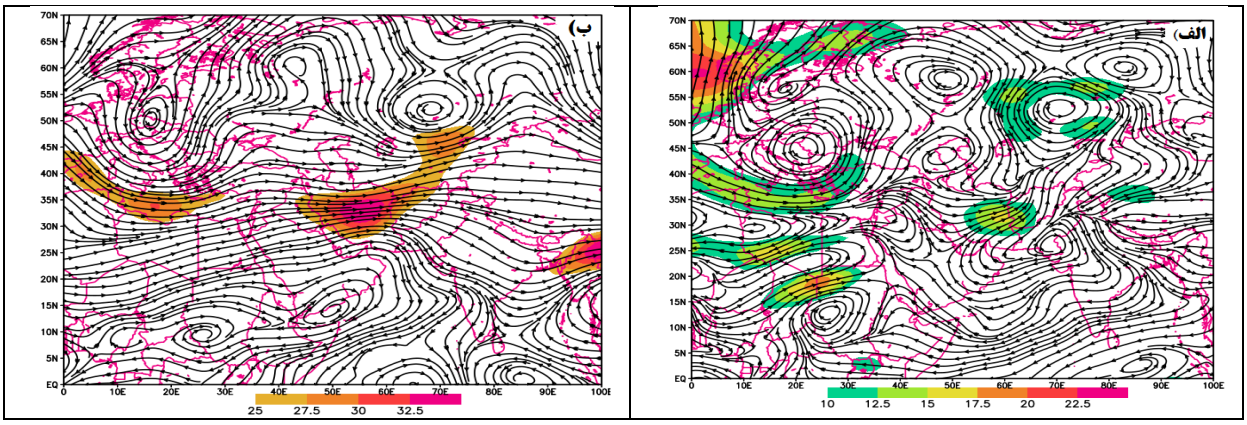


شکل ۳: توزیع جغرافیایی فشار در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹۶. الف) فشار تراز دریا. ب) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. ج) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

Figure 3: Geographical distribution of pressure on 25th of February 2016. a) Sea level pressure. b) Geopotential height of 850 hectopascals. c) Geopotential height of 500 hectopascals

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

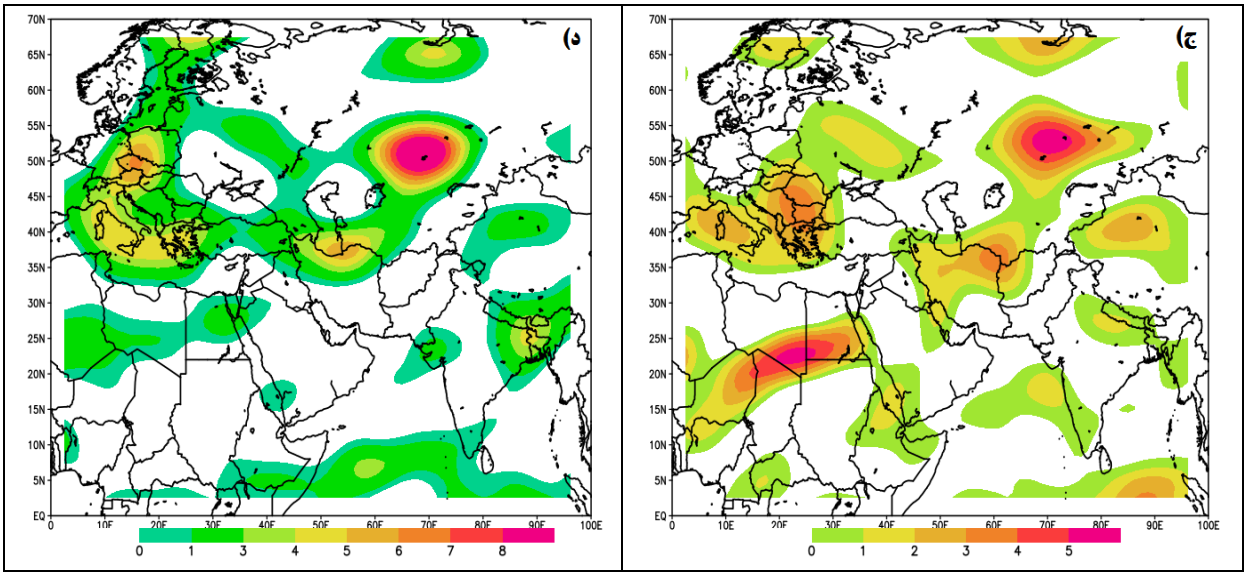
شکل (٤) توزیع ویژگی‌های باد را در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. در شکل (٤ الف و ب) به ترتیب نقشه ترکیب شدت باد (مقادیر رنگی) و جریان باد را نشان می‌دهد. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جریان باد منطبق بر الگوی فشار می‌باشد. جریان سیکلونی ناشی از مرکز کم ارتفاع واقع در شمال دریاچه بایکال و جریان آنتی‌سیکلونی ناشی از مرکز پر ارتفاع روی جنوب کشور پاکستان در منطقه شرق ایران همگرا شده و به سمت شرق جهت گرفته است. این امر علاوه بر تضاد حرارتی موجب شده است که هسته بیشینه سرعت باد (به میزان ۱۷/۵ متر با ثانیه) در شرق ایران واقع شود. این همگرایی جریان (ناشی از جریان آنتی‌سیکلونی از مراکز پرفشار جنب حاره و جریان سیکلونی ناشی از مراکز کم‌فشار دینامیکی منطقه برون حاره) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز مشاهده می‌شود. این امر موجب شده است که هسته رودباد با هسته سرعت ۳۰ متر بر ثانیه بر روی ایران قرار گیرد (شکل ٤ ب). نقشه مقادیر مثبت تاوایی (که نشان‌دهنده جریان صعودی هوا می‌باشد) در همین روز نشان می‌دهد که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال منطبق بر ناوه و بیشینه سرعت باد، هسته بیشینه تاوایی نیز در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال‌شرق ایران قرار گرفته و به‌جز جنوب و جنوب‌شرق ایران، در سرتاسر مناطق ایران جریان هوا صعودی می‌باشد. با این‌حال در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه تاوایی نشان می‌دهد که هسته بیشینه تاوایی در جنوب‌شرق دریای خزر واقع‌شده است. در این تراز مقادیر بیشینه تاوایی در یک‌سوم شمالی ایران واقع شده است؛ بنابراین توزیع جغرافیایی باد در روز رخداد توفان فراگیر در ایران نشان می‌دهد که جهت باد غربی بود و ناشی از حرکت سیکلون واقع در شمال شرق ایران و آنتی سیکلون واقع در جنوب پاکستان بر روی ایران همگرا شده است. در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال هسته بیشینه سرعت باد در مناطق مرکزی و شرقی ایران مشاهده می‌شود و در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال هسته رودباد در مرکز ایران قرار گرفته است. مقادیر تاوایی نیز به‌ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که در مناطقی که تحت تأثیر غبار بوده‌اند جریان هوا صعودی بوده است. بدیهی است که صعودی بودن جریان هوا منجر به صعود ذرات غبار از بیابان‌ها شده است.



شکل ٤: ویژگی‌های باد در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦. الف) ترکیب جریان و شدت باد در تراز ۸۵۰. ب) مشابه الف برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. ج) مقادیر مثبت تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. د) مقادیر مثبت تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

Figure 4: Wind characteristics on 25th of February 2016. a) Combination of current and wind intensity at level 850. b) Same as a for level 500 hectopascal. c) Positive values of Tavai at the level of 850 hectopascals. d) Positive values of Tavai at the level of 500 hectopascals

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

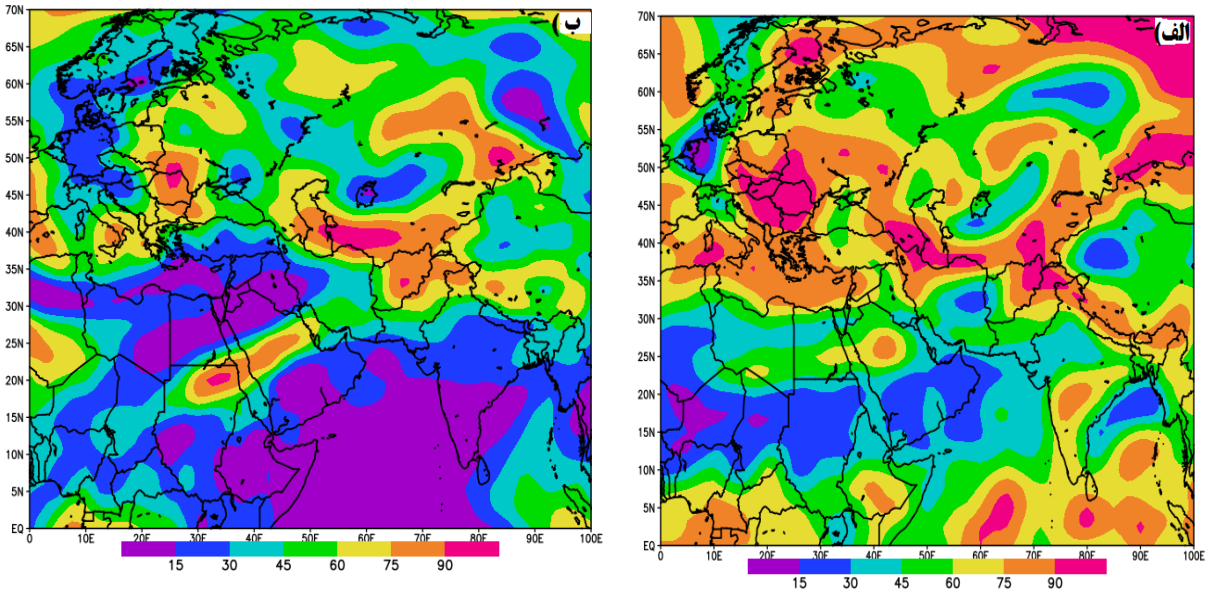


ادامه شکل ٤: ویژگی‌های باد در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦. الف) ترکیب جریان و شدت باد در تراز ۸۵۰. ب) مشابه الف برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ج) مقادیر مثبت تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. د) مقادیر مثبت تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

Continue of Figure 4: Wind characteristics on 25th of February 2016. a) Combination of current and wind intensity at level 850. b) Same as a for level 500 hectopascal. c) Positive values of Tavai at the level of 850 hectopascals. d) Positive values of Tavai at the level of 500 hectopascals

با توجه به نقشه‌های تراز دریا، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در مقیاس همدید وضعیت دینامیکی خوبی در روز غباری جهت ایجاد توفان گردوغبار فراهم‌شده است. به نظر می‌رسد آنچه موجب ایجاد این پدیده فرین در زمستان شده است این است که این سیستم به لحاظ رطوبتی فقیر بوده است. نقشه‌های مقدار رطوبت نسبی در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦ در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز این امر را تائید می‌کنند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال منطبق بر هسته بیشینه باد در شرق ایران، هسته‌ی کمینه رطوبت نسبی نیز به میزان ۳۰ درصد قابل مشاهده است (شکل ۵ الف) این در حالی است که در مناطق دیگری که در این تراز در زیر ناوه قرار گرفتند، مقدار رطوبت نسبی بیش‌تر است. برای مثال در جنوب دریاچه بایکال مقدار رطوبت نسبی به ۹۰ درصد می‌رسد. ضریب همبستگی بین مقادیر رطوبت نسبی ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ۰/۳۱ است. علی‌رغم این‌که توزیع رطوبت در این دو تراز شباهت چندانی با یکدیگر ندارند، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز به‌مانند تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مقدار رطوبت نسبی در ایران پایین است. بخش‌های وسیعی از عراق، عربستان و سوریه مقدار رطوبت نسبی کم‌تر از ۱۵ درصد است و این هسته کمینه به مناطق غربی ایران نیز نفوذ کرده است؛ بنابراین کمبود رطوبت در تمامی ترازها تکمیل‌کننده شرایط برای بروز این رخداد فرین شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]



شکل ۵: توزیع مقادیر رطوبت نسبی در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹۶. الف) رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ب) رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

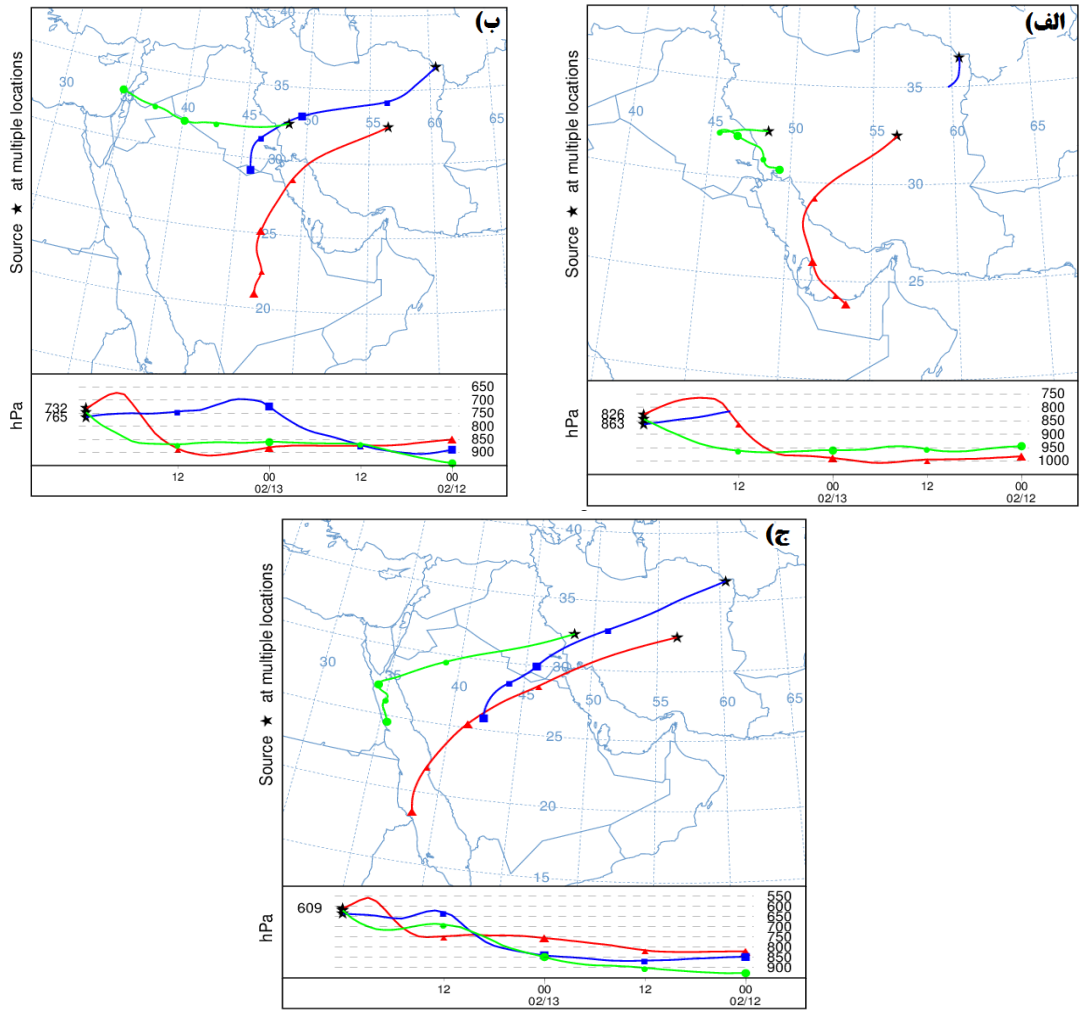
Figure 5: Distribution of relative humidity values on 25th of February 2016. a) Relative humidity at the level of 850 hectopascals, b) Relative humidity at the level of 500 hectopascals

ردیابی گردوغبار

به‌منظور شبیه‌سازی مسیر حرکت توفان گردوغبار از مبدأ تا مقصد، با شروع اولین ساعت گزارش گردوغبار، مسیر حرکت ذرات تا ٤٨ ساعت پیش از زمان رخداد مورد بررسی قرار گرفت. بررسی مسیر توده‌های هوا در سه ارتفاع ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ متر برای سه‌نقطه از ایران در شمال استان خوزستان، شرق استان یزد و شمال‌شرق ایران انجام شده است. (شکل ٦ الف)، مسیر توده‌های رسیده به نقاط منتخب را در ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح زمین نشان می‌دهد. در این ارتفاع که به سطح زمین نزدیک می‌باشد در شمال خوزستان و شمال‌شرق ایران منشأ توده‌های هوا از نزدیکی نقطه بوده و به عبارتی هوا از فواصل دور به سمت نقطه‌ی مشخص‌شده جریان نداشته است. این در حالی است که بر روی یزد در این ارتفاع نیز هوا از عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر (شبه‌جزیره عربستان و خلیج‌فارس) به سمت منطقه جریان داشته است.

در ارتفاع ۱۵۰۰ متر (شکل ٦ ب)، توده‌های هوای رسیده به شمال‌شرق، یزد و شمال خوزستان به ترتیب از جنوب عراق، جنوب عربستان سعودی و بیابان‌های سوریه و عراق جریان داشته است. در این تراز مسیر انتقال توده‌های هوا در ٤٨ ساعت قبل از مشاهده‌ی اوج توفان طولانی‌تر بوده است. در ارتفاع ۳۰۰۰ متری (شکل ٦ ج) نیز اگرچه میسر عبور توده‌هوای رسیده به نقاط انتخابی طولانی‌تر شده است اما در جهت حرکت توده‌های رسیده به منطقه نسبت به ارتفاع ۱۵۰۰ تفاوت بارزی دیده نمی‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]



شکل ٦: مسیریابی عقب‌گرد توده‌های هوای رسیده به شمال شرق، مرکز و جنوب غرب ایران از ٤٨ ساعت قبل. الف) ارتفاع ۵۰۰ متر. ب) ارتفاع ۱۵۰۰ متر. ج) ارتفاع ۳۰۰۰ متر

Figure 6: Backtracking of the air masses that reached North-East, Center and South-West of Iran since 48 hours ago. A) Height 500 meters. b) Altitude 1500 meters. c) Altitude 3000 meters

نتیجه‌گیری

گردوغبار ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦ از دو منظر وسعت فضایی و زمانی رخداد دارای اهمیت ویژه برای پژوهش بود. در بیش‌تر مطالعاتی که به پدیده‌ی گردوغبار در ایران پرداخته‌اند، تمرکز زمانی اغلب فصل گرم و خشک‌سال (نیمه‌ی گرم و خشک‌سال) بوده است. اغلب این مطالعات به شناسایی الگوهای گردشی منجر به رخداد توفان‌های گردوغبار بوده است، درحالی‌که این پژوهش به مطالعه‌ی یک توفان گردوغبار فراگیر زمستانه پرداخته است. ازنظر توزیع زمانی، این پدیده یک پدیده‌ی فرین و کم‌بسامد و درعین‌حال فراگیر به لحاظ بعد فضایی محسوب می‌گردد که ضرورت مطالعه‌ی آن را دوچندان می‌نماید و همان‌طور که ذکر گردید داده‌های سنجیده‌ی مودیس از ماهواره ترا نشان داد که در این روز در حدود ٦١ درصد از وسعت ایران تحت تأثیر هواویزهای غباری قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

بیش‌ترین مقدار عمق نوری هواویزها بر روی شمال شرق یزد به میزان ۲/۰۳ مشاهده شد. علاوه بر این مقادیر عمق نوری هواویزها در شمال استان خراسان جنوبی، بیابان لوت، شمال بوشهر و شمال خوزستان نیز قابل ملاحظه بود. با توجه به این‌که بیش‌ترین مقدار عمق نوری هواویزها در این روز در نزدیکی ایستگاه هواشناسی طبس مشاهده شد، از داده‌های دید افقی این ایستگاه برای مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد که نتایج آن نشان داد هماهنگی زمانی دقیقی بین این دو سری داده وجود دارد و در روز ۲۵ بهمن‌ماه ۱۳۹٦ هم‌زمان با افزایش و اوج‌گیری مقدار عمق نوری هواویزها بر روی منطقه، دید افقی در ایستگاه هواشناسی طبس به کم‌ترین مقدار خود (۵۰۰ متر در ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه) رسیده است که بر اساس طبقه‌بندی اداره هواشناسی جهانی (۱۹٦۹) این مقدار دید افقی مشابه باحالت مه آلودگی محسوب می‌گردد که در این حالت دید افقی بسیار پایین است.

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، اغلب توفان‌های گردوغباری ایران در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهند (Arami et al., 2015, Rezai et al., 2019)؛ اما این توفان غباری فراگیر در اواسط فصل زمستان اتفاق افتاده و غافلگیری بیش‌تری در مواجهه ایجاد نموده و لذا بررسی ابعاد همدید و مسیریابی این پدیده ضرورت داشت. بررسی همدید این پدیده نشان داد که در تراز دریا کم‌فشار دینامیکی در شمال شرق ایران واقع شده که این کم‌فشار با محور ناوه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ارتباط است. توزیع جغرافیایی باد در روز رخداد توفان فراگیر در ایران نشان داد که جهت باد در تمامی ترازها غربی بوده است. در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال هسته بیشینه سرعت باد در مناطق مرکزی و شرقی ایران مشاهده می‌شود و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هسته رودباد بر روی مرکز ایران قرار گرفته است. اهمیت رودبادها در ایجاد توفان‌های غبار به‌اندازه‌ای است که Alpert & Ganor, (1993) در مطالعه‌ای به‌طور جداگانه به نقش رودبادها در تولید توفان‌های غباری غرب مدیترانه پرداختند. مقادیر تاوایی نیز به‌ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که در مناطقی که تحت تأثیر غبار بوده‌اند جریان هوا کاملاً صعودی بوده و بدیهی است که صعودی بودن جریان هوا منجر به صعود ذرات غبار از بیابان‌ها شده است. الگوی همدید این توفان فراگیر زمستانه نیز با نتایج پژوهش‌های قبل دارای شباهت‌هایی است. مطالعات پیشین همچون (Al-Jumaily & Ibrahim, 2013)، (Gaetani & Pasqui, 2014)، (Awad & Mashat, 2016)، (Zolfaghari & Abedzadeh, 2004)، (Khoshkish et al., 2011)، (Kykhosravi & Haseli, 2017), (Akbary & Farahbakhshi, 2015)، (Omidvar & Sepandar, 2018)؛ وجود کم‌فشارهای سطحی، وجود ناوه در ترازهای میانی و البته ۸۵۰ هکتوپاسکالی را جزء دلایل اصلی همدید توفان‌های غباری برشمرده بودند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در پژوهش‌های پیشین، کم‌تر به بررسی رطوبت اتمسفری که فقدان آن عامل تأثیرگذاری در بروز رخداد غبار است، پرداخته شده است (Savina et al., 2014). لذا بررسی رطوبت نسبی در روز مورد مطالعه، نشان داد که قرارگیری هسته‌ی کمینه رطوبت در تمامی ترازها بر روی ایران و خشکی جو، در کنار شرایط مناسب ترمودینامیکی موجب بروز این رخداد فرین در میانه‌ی فصل زمستان در ایران شده است. بر اساس نتایج تحلیل مسیریابی عقب‌گرد نیز می‌توان پی برد که در تمامی مناطق تحت تأثیر غبار از شمال استان خوزستان تا شمال‌شرق استان خراسان رضوی مسیر توده‌های هوا از غرب

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

بوده و غبار از بیابان‌های عراق و عربستان به کشورمان منتقل شده است که این نتایج نیز با مطالعات (Zolfaghari & Abedzade, 2005)، (Khoshkish et al., 2010)، (Azizi et al., 2012)، (Ghahri et al., 2012)، (Vishkai et al., 2015)، (Fallah et al., 2013)، (Borumand & Bakhtiarpour, 2015)، (Najafi et al., 2014)، (Akbari & Farahbakhsh, 2015)، (Netaro et al., 2015)، (Kykhosravi & Haseli, 2016)، (Omidvar & Sepandar, 2018) مطابقت دارد. بااین‌حال آنچه موجب تشدید گردوغبار در مناطق مرکزی ایران و به‌ویژه شرق استان یزد شده است این است که در این مناطق حتی در ارتفاع نزدیک به سطح زمین نیز انتقال غبار از بیابان‌های عربستان صورت گرفته است.

بر اساس داده‌های سنجنده مادیس در این روز بیش‌ترین مقدار عمق نوری هواویزها را در شرق عربستان و به میزان ۳/۵ مشاهده می‌شود؛ بنابراین این حالت نشان‌دهنده این است که ضخامت لایه غبار در مرکز و به‌ویژه شرق استان یزد نسبت به سایر مناطق بیش‌تر بوده و به همین دلیل مقدار عمق نوری هواویزها و دید افقی در این منطقه به‌ترتیب به بالاترین و پایین‌ترین مقدار خود در ماه بهمن سال ۱۳۹۶ رسیده است. نتایج این تحقیق می‌تواند در پیش آگاهی از سازوکار توفان‌های گردوغبار فراگیر و زمستانه در ایران مفید واقع شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

References

- Akbary, M., Farahbakhshi, M., (2015), "Analyzing and tracing of dust hazard in recent years in Kermanshah Province", ***International Journal of Environmental Research***, 9 (2): 14-30. [In Persian].
- Aram, N., Akbari, M., Alijani, B., (2014), Analysis of air dust in Ahvaz city based on wind pattern, ***5th Regional Climate Change Conference***, Tehran Olympic Hotel, 25 january 2014.
- Akbari M., Farahbakhshi M., (2015), "Synoptic analysis and simulation of the movement path of severe dust storms, Scientific, ***Geographical Space***.
- Alam, K.,Trautmann, T., Blaschke, T., (2011a), "Aerosol optical properties and radiative forcing over mega-city Karachi", ***Atmos. Res***. 101: 773-782.
- Alpert, P., Ganor, E., (1993), "A jet stream associated heavy dust storm in the western Mediterranean", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, 98 (D4): 7339-7349.
- Awad, A. M., Mashat, A. W. S., (2016), "Synoptic characteristics of spring dust days over northern Saudi Arabia. Air Quality", ***Atmosphere & Health***, 9 (1): 41-50.
- Al-Jumaily, K. J., Ibrahim, M. K., (2013), "Analysis of synoptic situation for dust storms in Iraq, Int. J. ***Energ. Environ***, 5: 851-858.
- Azizi, Q., Miri, M., Nabavi, O., (2012), "Tracing the phenomenon of dust in the western half of Iran", ***Geographical studies of dry areas***, 7 (2): 22-36. [In Persian].
- Bahrami, K., Hejazizadeh, Z., Sasif, M., Azizi, S., (2013), "synoptic analysis of the intensity, duration and persistence of dust in Khuzestan with an emphasis on the southern borders", National Conference on border management, sustainable development and investment opportunities.border university of science and technology, 5 desember 2018, Parsabad, Islamic Azad University. [In Persian].
- Bromandi, P., Bakhtiarpour, A., (2015), "Finding the origin of dust particles by examining their physical and chemical properties and numerical modeling in Masjid Sulaiman city, Health and Environment Journal, ***Scientific Research Quarterly of the Iranian Environmental Health Scientific Association***, 42-56. [In Persian].
- Csavina, J., Field, J., Félix, O., Corral-Avitia, A. Y., Sáez, A. E., Betterton, E. A., (2014), Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates, ***Science of the Total Environment***, 487: 82-90.
- Ge, Y., Abuduwaili, J., Ma, L., Wu, N., Liu, D., (2016), "Potential transport pathways of dust emanating from the playa of Ebinur Lake, Xinjiang, in arid northwest China", ***Atmos. Res***, 178: 196-206.
- Gaetani, M., Pasqui, M., (2014), "Synoptic patterns associated with extreme dust events in the Mediterranean Basin", ***Regional environmental change***, 14 (5): 1847-1860.
- Ghasem, A., Shamsipour, A., Miri, M., Safarrad, T., (2012), "Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran", ***Natural hazards***, 64 (2): 1625-1638.
- Goudie, A. S., Middleton, N. J., (2006), "Desert dust in the global system", Springer Science & Business Media, ***journal of climatology***, 6 (2):183-196.
- Hahnenbrger, M., Nicoll, K., (2012), "Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern great basin of Utah, USA", ***Atmospheric environment***, 60: 601-612.
- Hamidi, M., Kavianpour, M. R., Shao, Y., (2013), "Synoptic analysis of dust storms in the Middle East", ***Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences***, 49 (3): 279-286.
- Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., (1998), Aeronet- a federated instrument network and data archive for aerosol characterization, ***Remote Sens. Environ***, 66 (1): 1-16.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

- Furman, H. K. H., (2003), "Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics, ***Indoor and Built Environment***, 12 (6): 419-426.
- Farajzadeh, M., Rajaei, S., (2011), "Synoptic analysis of dust storm patterns in Bushehr from 1961 to 2005 (case study: March 5, 2018)", ***Natural Geography Quarterly***, 18: 25-37. [In Persian].
- Fallah Zzouli, M., Vafainejad, A., Khairkhah, Zarkash, M. M., Ahmadi Dehka, F., (2013), "Finding the origin of dust in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis using remote sensing and geographic information system", ***Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences***, 5 (4): 425-437. [In Persian].
- Khoshkish, A., Alijani, B., Hejazizadeh, Z., (2010), "Synoptic analysis of dust systems in Lorestan provinc", ***Geographical Sciences***, 21: 185-197. [In Persian].
- Kohri, F., Ranjbar, A., Boroujerdi, P., (2012), "Study of meteorological patterns and sources of intense summer dust in southwest Iran", ***Researches of marine sciences and techniques***, (1) 7. [In Persian].
- Ki Khosravi, Q., Hasli, M., (2016), "Simulation of the trajectory of several examples of severe dust storms in Kermanshah province from the perspective of the observer and the hyspilt model", ***Natural Geography***, (3): 10-37. [In Persian].
- Miri, A., Ghanbari, H., Moghaddamnia, A., (2007), "Dust storms impacts on air pollution and public health under hot and dry Climate", ***Int. J. Energy Environ***, 1: 101-105
- Maghrabi, A., Alharbi, B., Tapper, N., (2011), "Impact of the March 2009 dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity", **Atmos. *Environ***, 45 (13): 2164-2173.
- Middleton, N. J., (1986), "A geography of dust storms in South-west Asia", **Journal of *Climatology***, 6 (2): 183-196.
- Najafpour, B., (2012), "Identification of circulation patterns that cause dust in southwest Iran, a case study of Fars province", ***Geographical Research***, 27: 125-137. [In Persian].
- Omidvar, K., Sepandar, N., (2017), "Synoptic analysis and satellite monitoring of the dust phenomenon in Kermanshah province in the period from 1987 to 2010, case study: pervasive dust on June 27 and 28, 2018", ***Applied Research Journal of Geographical Sciences***,18: 43-55. [In Persian].
- Qu, J. J., Hao, X.Kafatos, M., Wang, L., (2006), "Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua modis SRB measurements", ***IEEE Geoscience and remote sensing letters***, 3 (4): 484-486.
- Raispour, K., Khosravi, M., Tavousi, T., Sharifikiya, M., (2016), "The influence of the polar front jet stream on the formation of dust events in the southwest of Iran, ***Air quality, atmosphere & health***, 9 (1): 15-23.
- Rezaei, M., Farajzadeh, M., Mielonen, T., Ghavidel, Y., (2019, a), "Analysis of spatio-temporal dust aerosol frequency over Iran based on satellite data", ***Atmospheric Pollution Research***, 10 (2): 508-519.
- Rezaei, M., Farajzadeh, M., Mielonen, T., Ghavidel, Y., (2019, b), "Discrimination of aerosol types over the Tehran city using 5 years (2011-2015) of modis collection 6 aerosol products", ***Journal of Environmental Health Science and Engineering***, 10 (3): 1-12.
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., (2013), "Climatology of the Middle East dust events. ***Aeol. Res***, 10: 103-109.
- Sissakian, V., Al-Ansari, N., Knutsson, S., (2013), "Sand and dust storm events in Iraq", ***Nat. Sci***. 10 (5): 1084-1094.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]

- Vaheddoost, B., Aksoy, H., (2017), "Structural characteristics of annual precipitation in Lake Urmia basin", ***Theoretical and applied climatology***, 128 (3-4): 919-932.
- Vishkaee, A. F., Flamant, C., Cuesta, J., Oolman, L., Flamant, P., Khalesifard, H. R., (2012) Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study, J. ***Geophys. Res***, 117: 25-37.
- Yang, B., Bräuning, A., Zhang, Z., Dong, Z., Esper, J., (2007), "Dust storm frequency and its relation to climate changes in Northern China during the past 1000 years", ***Atmospheric Environment***, 41 (40): 9288-9299.
- Yarahamdi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A., Nikbakht, H., (2013), The effect of climate fluctuations on the occurrence of dust, a case study of dust in the west and southwest of Iran**,** ***Desert Ecosystem Engineering***, 5: 42-55. [In Persian].
- Zarasvandi, A., (2009), "Environmental impacts of dust storms in the Khuzestan Province, Ahvaz Environmental Protection Agency (EPA) of Khuzestan Province", Internal Report, p. 375.
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., Rastmanesh, F., (2011), "Spatio-temporal occurrences and mineralogical–geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran)", ***Journal of geochemical exploration***, 111 (3): 138-151.
- Zulfiqari, H., Abedzadeh, H., (2004), Synoptic analysis of dust systems in western Iran, ***Geography and Development***, 6: 32-44. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-01]