دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸، صفحات ۷۰-۵۷

علی‌محمد خورشیددوست [۱]
*مهدی اسدی [۲]
حسن حاجی‌محمدی [۳]

بررسی سازوکار جوی حاکم بر رخداد روزهای توأم با گردوغبار شهر تبریز و ردیابی آن با استفاده از مدل HYSPILIT و تصویر سنجنده مودیس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۲

چکیده

فرآیندهای جوی خاص و برهمکنش آن‌ها با سطح زمین، عامل شکل‌گیری و تکامل یک طوفان گردوغبار به شمار آیند و در شناسایی مسیرهای انتقال ریز گردها حائز اهمیت هستند. به‌منظور بررسی سازوکارهای جوی حاکم بر رخداد روزهای توأم با گردوغبار در شهر تبریز از داده‌های وضعیت هوای حاضر ایستگاه هواشناسی شهر مذکور از سال (۱۹۹۰) تا سال (۲۰۱۲) استفاده شد. در ادامه برای شناسایی الگوهای گردشی در تراز میانی جو، ماتریسی به ابعاد ۲۸۲×۸ تشکیل شد، و روزهایی که بیش از ۲٤ ساعت استمرار داشتند با عنوان، روزهایی همراه با ذرات معلق گردوغبار انتخاب شدند. سپس برای شناسایی عوامل و تیپ‌های حاکم در رخداد طوفان‌های گردوغبار منطقه، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هرروز استخراج شده و تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای بر روی آن‌ها صورت پذیرفت. همچنین برای درک بهتر ساختار جوی-منطقه‌ای الگوهای هواشناختی از داده‌های سطوح مختلف فشاری برگرفته شده از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR)، و برای ردیابی ذرات معلق از مدل لاگرانژی HYSPILIT و در نهایت برای نمایش حجم گردوغبارهای انتقالی در هر الگو از تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس استفاده شد. نتایج نشان داد که در زمان رخداد روزهای گردوغباری در تراز میانی جو ده عامل با مجموع

۱- گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.
*۲- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی کشاورزی دانشگاه حکیم سبزواری. (نویسنده مسئول). E- mail: asadimehdi11@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی سینوپتیک دانشگاه تربیت مدرس.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

پراش ۹۳ درصد از کل واریانس داده‌ها فعالیت داشتند که عامل اول ٦٢/٥ درصد آن را تبیین نموده بود. در نهایت مشخص شد که سه تیپ در روز رخداد این پدیده در منطقه حاکمیت داشته است، تیپ اول: بریده‌ی کم‌فشاری در جنوب دریای سیاه و شرق مدیترانه؛ تیپ دوم: ناوه‌ی عمیقی از شمالگان تا غرب خاورمیانه و تیپ سوم: موج کوتاهی است که در روی سوریه و غرب عراق مستقر شده است.

کلید واژه‌ها: گردوغبار، سازوکار جوی–منطقه‌ای، مدل HYSPILIT، شهر تبریز.

مقدمه

پدیده گردوغبار به دلیل مشکلات و معضلاتی که برای انسان‌ها ایجاد می‌کند از گذشته‌های دور تا به امروز مورد توجه محققان بوده و مطالعات فراوانی نیز در این زمینه صورت گرفته است (Chun et al., 2010; Takemi & Seino, 2005; shao & dong, 2006; Barkan & Alpert, 2010; Ganor et al., 2010; Zolfaghari & Heydarzadeh, 2005; Raispour, 2008; Amanollahi & Kaboudvandpur, 2014; Ashrafi et al., 2019). قدمت مطالعه طوفان‌های گردوغباری تا به آنجا می‌رسد که در روم باستان این پدیده را به اولیوس یا خدای بادها نسبت می‌دادند (Goudie and Middleton, 2001: 179).

طوفان‌های گردوغبار با فرسایش و رسوب‌گذاری و کاهش توانایی دید به کم‌تر از یک کیلومتر مشخص می‌شود (Goudie and Middleton, 2000: 73). شدت طوفان گردوخاک با میزان ماندگاری، فراگیری مکانی و میزان کاهش دید تعیین می‌شود و برحسب تداوم زمانی به دو نوع طوفان گردوخاک کوتاه‌مدت (تا نیم ساعت) و طولانی‌مدت (چند ساعت و گاهی یک شبانه‌روز) تقسیم می‌شود (Lashkari & Kikhosrovi, 2008: 18). اخیرا مطالعات بسیاری در زمینه‌ی پایش ذرات معلق بر جو توسط فناوری سنجش‌ازدور انجام گرفته است که به‌کارگیری سنجنده‌هایی مانند ژئوس و مودیس، در این زمینه بسیار مفید بوده‌اند (Sohrabinia et al., 2007). Omidvar (2006) نیز در بررسی توفان‌های ماسه‌ای در دشت یزد–اردکان با بررسی پارامترهای مربوط به گردوغبار به این نتیجه می‌رسد که کم‌فشارهای دینامیک که با جبهه سرد همراه هستند عامل اصلی ایجاد گردوغبار در این منطقه می‌باشند. در این رابطه فرارفت هوای سرد بر روی منطقه با گرادیان شدید دما و فشار در سطح زمین همراه گردیده و جریانات قائم هوا ناپایداری لازم را برای پیدایش توفان‌های گردوغباری در پی خواهد داشت. Sohrabinia et al (2007) به امکان‌سنجی داده‌های مودیس، جهت پایش آلودگی هوا در شهر تهران پرداخت. در این مطالعه از داده‌های ضخامت نوری مودیس استفاده شده که با به‌کارگیری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های زمینی و روش درون‌یابی، نقشه‌های مجزایی از هر نوع آلاینده برای کل شهر تولید شدند. Lashkari & Kikhosrovi (2008) علت وقوع توفان‌های گردوغباری در خراسان بزرگ را به این صورت تشریح می‌کنند که در دوره گرم سال زمانی که مرکز کم‌فشاری در محدوده جنوب خراسان و کشور افغانستان بسته شود و همزمان زبانه‌ای از پرفشار آزور نیز بر روی دریای سیاه و سپس بر روی دریای خزر نیز گسترش یابد و تا ساحل جنوبی دریای خزر پیشروی نماید، سبب افزایش شیب فشار نصف‌النهاری بر روی منطقه خواهد شد. Ataei

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

& and Ahmadi (2010) علت وقوع توفان‌های گردوغباری در دوره سرد سال را ناشی از استقرار مرکز کم‌ارتفاع بر روی اروپا و دریای مدیترانه می‌دانند آن‌ها منعقدند که در این زمان از سال امواج غربی اجازه نفوذ به عرض‌های پایین را به‌خوبی پیدا می‌کنند و ناوه‌های امواج به‌کرات بر روی مناطق خشک خاورمیانه استقرار می‌یابد. ایشان دو منطقه غرب بغداد و هورالعظیم را کانون‌های اصلی گردوغبار برای توفان‌های گردوغباری ایران به‌خصوص منطقه جنوب‌غرب کشور برمی‌شمارند. همچنین از پژوهش‌های انجام یافته در خارج می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Prospero et al (2002) بیابان رب‌الخالی در عربستان و زمین‌های خشک و بی‌آب واقع در مناطق پست کرانه‌ی رود دجله و فرات و سواحل عمان را کانون‌های اصلی تولید گردوغبار خاورمیانه ذکر کرده‌اند. این مراکز همچون کمربندی از غبار، از سواحل شمال‌غربی آفریقا آغاز شده و با عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسند.

Ling jun et al (2007) ارتباط پارامتر سهم هواویزها در بازتابندگی ظاهری، به‌دست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده ذرات معلق را مطالعه کردند که این ارتباط در ایستگاه زمینی واقع در شهر پکن در فاصله زمانی اوت (۲۰۰۳) و اوت (۲۰۰٤) بررسی شد نتیجه برازش خطی با ضریب همبستگی بالای ۰/۵٦ به‌دست آمد.

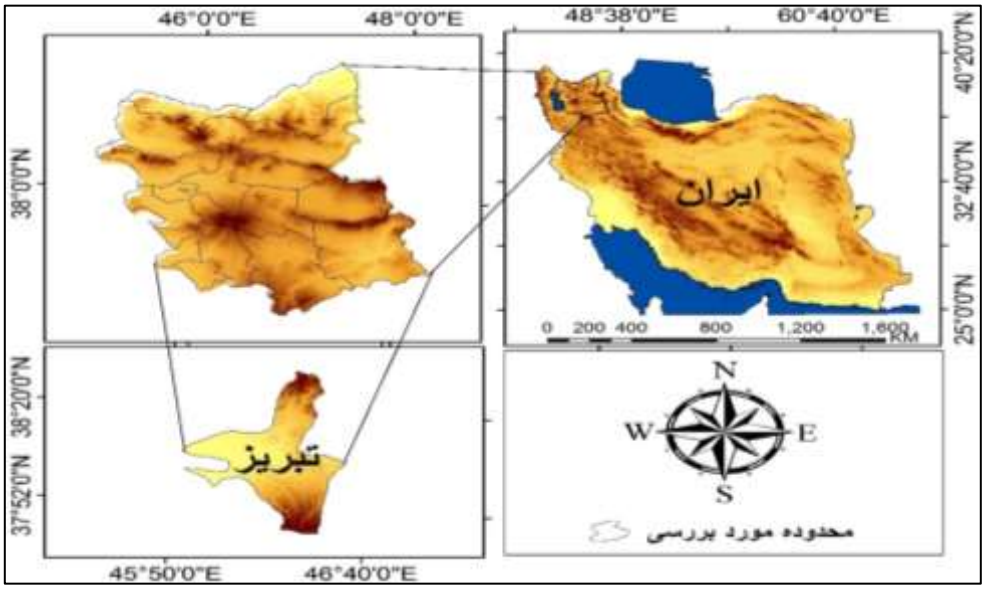
Tsai et al (2011) رابطه میان داده‌های ضخامت نوری هواویزهای مودیس را با غلظت‌های ذرات معلق برای دوره زمانی مورد نظر بررسی کردند و نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای این سنجنده برای پایش ذرات معلق بود. از دیگر پژوهش‌های انجام یافته می‌توان به: (Evan et al., 2004; Huang & Weng, 2007; San-Chao et al., 2007; Kluser & Schepanski, 2009; Zhoa et al., 2010). با توجه به مطالب فوق، در این پژوهش سعی بر آن است تا به بررسی سازوکار جوی حاکم بر رخداد روزهای توأم با گردوغبار شهر تبریز و ردیابی آن با استفاده از مدل HYSPILIT و تصویر سنجنده مودیس پرداخته شود تا تحلیل کاملی از شیوه‌ی شکل‌گیری و انتقال گردوغبار به داخل منطقه مورد مطالعه، از کانون‌های اصلی گردوغبار در منطقه ارائه کند و کانون‌های کنترل‌کننده گردوغباری شهر تبریز نیز شناسایی گردد.

محدوده مورد مطالعه

وسعت شهر تبریز به‌طور تقریبی ۱۷۸۱ کیلومتر مربع می‌باشد. شهر تبریز از شمال به شهرستان اهر، از جنوب به شهرستان اسکو، از شرق به شهرستان هریس و بستان‌آباد و از غرب و شمال‌غرب به شهرستان شبستر و شهرستان سرسبز مرند محدود می‌گردد.

این شهر در ٤٦ و ۲۵ طول شرقی و ۳۸ و ۲ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است و ارتفاع تقریبی آن از سطح دریا، ۱۳۵۰ متر می‌باشد. شهر تبریز از دو ناحیه کوهستانی و دشت تشکیل شده است. ارتفاع از سطح دریا در دشت ۱۳۱۰ و در مناطق کوهستانی تا ۲۱۰۰ متر بالغ می‌گردد. این شهرستان از شمال و جنوب، به‌وسیله کوه‌های عینالی و سهند احاطه شده است (شکل ۱).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: منطقه موردمطالعه

Figure 1: The study area

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از تصاویر مودیس، داده‌های مربوط به الگوریتم HYSPLIT و داده‌های وضعیت هوای حاضر (WW) شامل کدهای ٦ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵ در بازه‌ی زمانی (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲) که از سازمان هواشناسی کل کشور به‌صورت ساعتی (۸ بار در روز) برای منطقه مورد مطالعه دریافت شده بود، استفاده گردید. پس از استخراج کدهای مذکور، برای شناسایی الگوهای گردشی در تراز میانی جو ماتریسی به ابعاد ۸×۲۸۲ تشکیل شد، که سطرهای آن معرف روزها و ستون‌ها معرف ساعت‌ها بود، لازم به توضیح است در تحقیق حاضر روزهایی با عنوان، روزهایی توأم با ذرات معلق گردوغبار انتخاب شد که بیش از ٢٤ ساعت استمرار داشتند. در نهایت با استخراج داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هرروز، بین طول‌های ۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی یک تحلیل عاملی در نرم‌افزار متلب برای روی آن‌ها صورت پذیرفت تا عوامل مؤثر در رخداد توفان‌های گردوغبار منطقه شناسایی شود در نهایت با خوشه‌بندی این عوامل تیپ‌های حاکم بر رخداد توفان‌های گردوغبار شهر تبریز شناسایی شدند. همچنین برای ردیابی گردوغبار از الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر، با داده سنجنده MODIS استفاده شده است. سنجنده مودیس دستگاهی با تفکیک رادیو متریکی زیاد (۱۲ بیت) است که با دو ماهواره آمریکایی Terra و Aqua حمل می‌شود. زمان عبور دو ماهواره Terra و Aqua از خط استوا ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به‌وقت محلی است. برای مطالعه شرایط اتمسفری لحظه وقوع توفان به بررسی پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل فشار سطح دریا، نقشه‌های سطوح فوقانی جو، به‌ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تراز نقشه سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد با استفاده از سیستم تحلیل و نمایش شبکه GrADS[4] برای تجزیه‌وتحلیل سینوپتیک استفاده شده است. داده‌های مذکور با مشاهدات

4- Grid Analysis and Display System

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

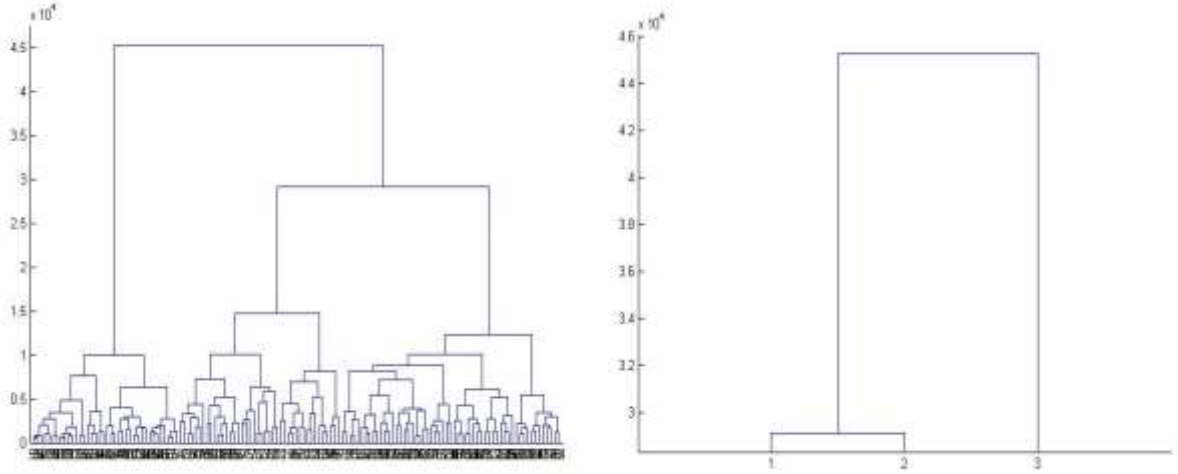
روزانه با دقت فضایی ۲/۵×۲/۵ درجه از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی موسوم به NCEP از درگاه مرکز ملی اقیانوس و جو (NOAA) تهیه شده است. جهت تعیین منابع اصلی گردوغبار برای توفان گردوغبار مورد مطالعه از مدل لاگرانژینی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد (Draxler & Rolph, 2011). در هواشناسی دینامیک و به بیانی بهتر در مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی در مطالعه سیالات وجود دارد: رهیافت اویلری و رهیافت لاگرانژی (لاگرانژینی). یک مثال ساده برای درک تفاوت این دو رهیافت می‌تواند بررسی گردش هوا در امتداد نصف‌النهاری باشد. بر این اساس هنگامی‌که ما یک مدل سه سلولی از گردش جو را در هر نیمکره تصور کنیم درعین‌حالی که تمامی ذرات را در امتداد نصف‌النهاری در نظر می‌گیریم، در آن واحد برای هر ذره یک موقعیت ثابت فرض می‌کنیم که بدین ترتیب با استفاده از رهیافت اویلری یک مدل سه سلولی از گردش جو در هر نیمکره تصویر نموده‌ایم که در آن هر ذره یک جایگاه ثابت دارد. اما هنگامی‌که ما ذره‌ای را (یا بسته هوایی را) بر روی استوا در نظر بگیریم و آن ذره را تا رسیدن به مقصد تعقیب نماییم و یا به عبارتی درصدد تصویرسازی حرکت یک ذره در یک بازه زمانی معین باشیم، درواقع برای ردیابی از رهیافت لاگرانژی استفاده نموده‌ایم. این رهیافت در بررسی آلودگی هوا، مسیریابی چرخندها، سن‌یابی هوا کاربردهای گسترده‌ای دارد. از آنجایی‌که در رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژینی این امکان را فراهم می‌آورد که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه ردیابی نماید. از آنجایی رهیافت لاگرانژینی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژینی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده (روش Forward) و یا به سمت زمان‌های گذشته (روش پسگرد یا Backward) ردیابی نمایند. برای مسیریابی پسگرد ذرات در شهر تبریز، الگوهای ردیابی از ۲٤ ساعت قبل از وقوع گردوغبار در نظر گرفته شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرارگرفته است. این داده‌ها باقدرت تفکیک ۱×۱ درجه، برای ۲٦ تراز فشاری (۱۰۰–۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با گام زمانی ٦ ساعته از جولای (۱۹۹۹) در دسترس می‌باشند. داده‌های تحلیل شده عملیاتی با مقیاس نهایی (NCEP)، یا به‌طور مختصر FNL (Final) از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی (GDAS[5]) برای تهیه داده‌های اولیه ورودی به سیستم استفاده می‌نماید. سامانه GDAS نیز وظیفه جمع‌آوری داده‌های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور (GTS[6]) و سایر منابع به‌صورت بی‌وقفه و پیوسته بر عهده دارد. در نهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS[7]) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (Stunder, 1997: 48).

5- Global Data Assimilation System
6- Global Telecommunications System
7- Global Forecast System

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

یافته‌ها و بحث

پس از شناسایی روزهای توأم با گردوغبار مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو برای هرروز در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی استخراج شد. سپس برای شناسایی تیپ‌های حاکم بر رخداد روزهای غبارآلود شهر تبریز از روش وارد[8] استفاده شد. نتایج نشان داد که ده عامل با مجموع پراش ۹۳ درصد از کل واریانس داده‌ها فعالیت داشتند که عامل اول ٦٢/٥ درصد آن را تبیین نموده و ۳ تیپ در بروز روزهای همراه با گردوغبار در تراز میانی جو در منطقه حاکمیت دارند (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار غربالی حاصل از تحلیل خوشه‌ای
Figure 2: Chart diagram of cluster analysis

- وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر الگو گردشی

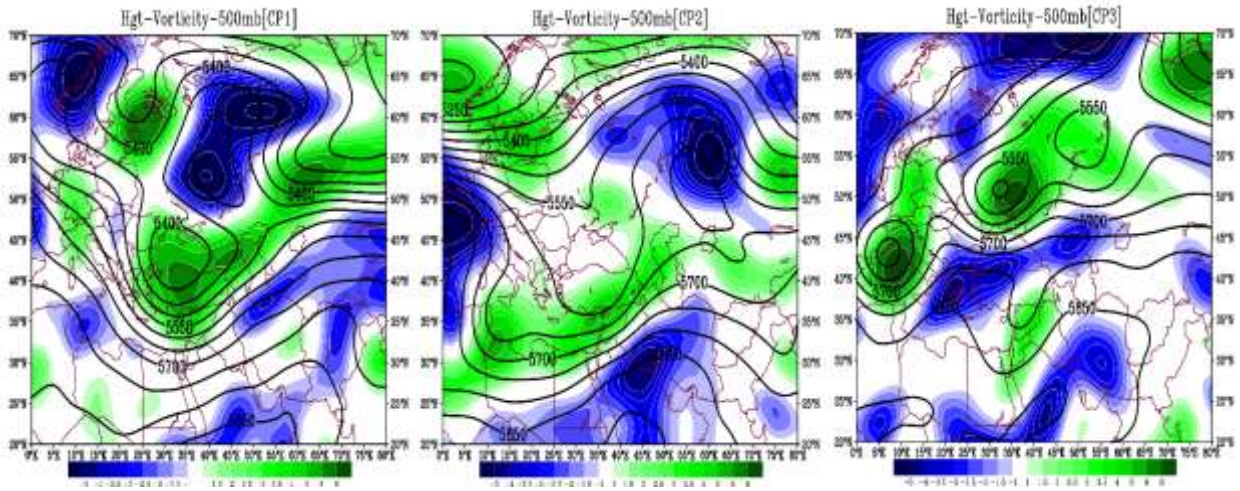
برای بررسی الگوهای گردشی از میانگین روزهای هر الگو استفاده و بر روی نقشه‌های سینوپتیک برای تفکیک هر الگوی گردشی با عناوین CP1[9]، CP2 و CP3 به نمایش درآمده است.

استقرار ناوه عمیق با هسته سردچال در غرب خاورمیانه و ایجاد جریان چرخندی مثبت در داخل این سامانه سبب شده تا موجبات صعود هوا در منطقه فراهم گردد. همچنین به دلیل تشکیل سیستم مانع در غرب روسیه و ناوه تشکیل شده در شرق آن، یک جریان قوی تاوایی مثبت به‌صورت جنوب‌غرب-شمال‌شرق در محدوده مورد مطالعه، ایجاد گشته که سبب شده شیو ژئوپتانسیل در تراز مذکور به‌سوی مرزهای شمال‌غربی ایران باشد. از طرفی ایجاد جریان واچرخندی در نواحی غربی کشور که تا جنوب ناحیه خزری کشیده شده، سبب گشته تا شرایط انتقال گردوغبار از نواحی غربی خاورمیانه به شهر تبریز فراهم گردد. در الگوی دوم مشاهده می‌شود که توأم با تقویت جریان واچرخندی بر روی عربستان، سه هسته چرخندزایی قوی در غرب و جنوب‌غرب خاورمیانه تشکیل شده که اولی منطبق بر شمال

8- Ward method
9- Circulation Pattern

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

آفریقا، دومی بر روی سوریه و غرب عراق و دیگری در غرب دریای خزر است. این وضعیت سبب شده تا انتقال گردوغبار از مناطق همراه با چرخندگی مثبت به منطقه فراهم گردد. الگوی سوم را می‌توان با موج نسبتاً عمیقی در غرب عراق و جنوب ترکیه شناسایی کرد. به‌طوری که محور ناوه تا شمال دریای سرخ نیز رسیده است. در این وضعیت با ایجاد تاوایی مثبت در شرق ناوه و در مقابل به دلیل گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای و قرار گرفتن منطقه در غرب جریان واچرخندی، خیزش و انتقال گردوغبار از شبه‌جزیره عربستان و عراق فراهم شده است (شکل ۳).



شکل ۳: وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر الگو گردشی

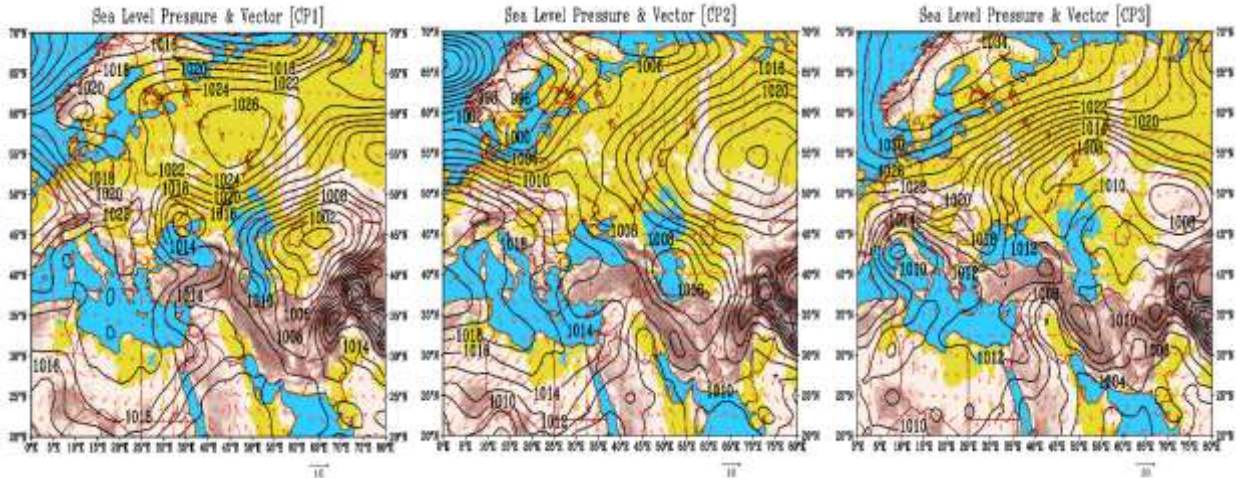
Figure 3: Geopotential and tropical elevation level of 500 hectosalals per turn pattern

– وضعیت فشار تراز دریا و بردار باد

آرایش الگوهای فشار در سطح زمین در الگوی اول به‌گونه‌ای است که یک سلول کم‌فشار قوی در غرب تبت به وجود آمده که فشار مرکزی آن کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بوده و پربندهای آن تا غرب دریای خزر کشیده شده‌اند. از طرفی بر روی مدیترانه نیز پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال ایجاد شده است. در شرق مدیترانه به دلیل مجاورت این دو سامانه شکستگی در پربندهای فشار به‌وجود آمده که سبب ایجاد جریان پادساعت‌گرد بر روی منطقه شده است. همان‌طور که در شکل (٤) نیز مشهود است، جریانات از غرب عراق و شرق مدیترانه به سمت شمال‌غرب کشور حرکت کرده و در جنوب‌غرب خزر به دلیل سلول کم‌فشار ایجاد شده همگرا شده‌اند. در الگوی دوم سلول کم‌فشار تشکیل‌شده در جنوب دریای خزر ازنظر گستره مکانی مناطق وسیعی را تحت تأثیر خود قرار داده است. در این الگو سلول بسته پرفشاری در جنوب زاگرس ایجاد شده که، سبب شده جریاناتی که در شرق عراق به سمت عرض‌های پایین‌تر حرکت می‌کنند منحرف شده و به سمت شمال‌غرب کشور انتقال یابند. از طرفی به دلیل حضور پرفشار تشکیل شده در غرب مدیترانه و به وجود آمدن گرادیان ۸ هکتوپاسکالی با مرکز کم‌فشار خزری، جریان غربی در مناطق غربی و شمال‌غرب کشور به وجود آمده است. در الگوی سوم پرفشار زاگرس تقویت شده و نیمه غربی ایران را در برگرفته است. در مقابل بر روی عراق سلول کم‌فشاری با هسته ۱۰۰٤ هکتوپاسکالی ایجاد شده که این دو سامانه سبب شده‌اند

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تا هوا از عرض‌های پایین‌تر به مناطق شمالی ازجمله شمال‌غرب ایران انتقال یابد. با ایجاد یک جریان جنوبی بر روی مناطق شمال‌غرب کشور، هوا در شرق ترکیه همگرا شده است (شکل ٤).



شکل ٤: وضعیت فشار تراز دریا و بردار باد در هر الگو گردشی

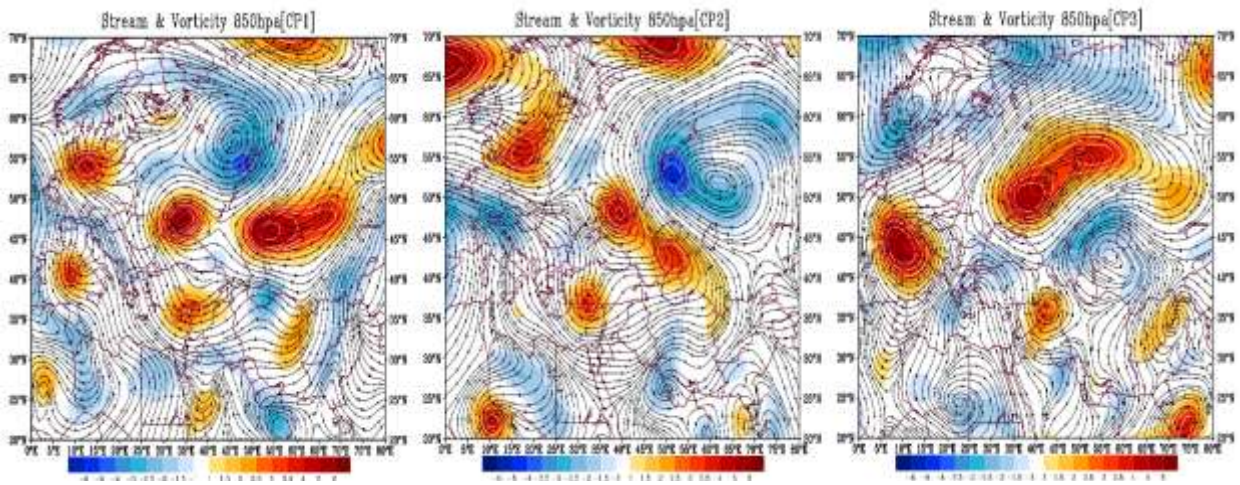
Figure 4: Sea level pressure and wind vector in any turning pattern

- وضعیت جریان هوا و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

در بررسی وضعیت تاوایی و جریان هوا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در الگوی اول مشاهده شد که دو هسته چرخندگی مثبت قوی، یکی بر روی دریای سیاه و دیگری در شرق مدیترانه تشکیل شده‌اند. این فرآیند باعث شده تا جریان هوا به‌سوی منطقه مورد مطالعه سرازیر گردد. هسته چرخندگی شرق مدیترانه را می‌توان عاملی در انتقال رطوبت و هسته دیگری که بر روی دریای سیاه است را عامل ابرناکی در نظر گرفت (به بخش تصاویر باند مرئی سنجنده مودیس مراجعه شود). در الگوی دوم سه هسته تاوایی مثبت یکی در شمال‌شرق مدیترانه دیگری در شمال دریای سیاه و سومی جنوب دریای خزر تشکیل شده‌اند. چرخندگی مثبت در شرق مدیترانه سبب شده تا شرایط برای خیزش گردوغبار بر روی نواحی غرب عراق و سوریه فراهم گردد. با غربی شدن جریانات موجبات انتقال گردوغبار به منطقه نیز فراهم شده است (شکل ۵).

در الگوی سوم ناوه‌ای بر روی عراق تشکیل شده که، این سامانه را می‌توان شاخه‌ای جدا شده از هسته تاوایی مثبت تشکیل‌شده در غرب روسیه دانست. این وضعیت در تراز زیرین جو باعث شده تا شرایط برای انتقال گردوغبار به غرب کشور فراهم شود. با تشکیل واچرخند قوی در شرق دریای خزر و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در قسمت غربی این سامانه، یک جریان جنوبی بر منطقه مستولی گشته است. با این وضعیت انتقال گردوغبار و شارش آن بر روی منطقه صورت پذیرفته است (شکل ۵).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۵: وضعیت جریان هوا و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در هر الگو گردشی

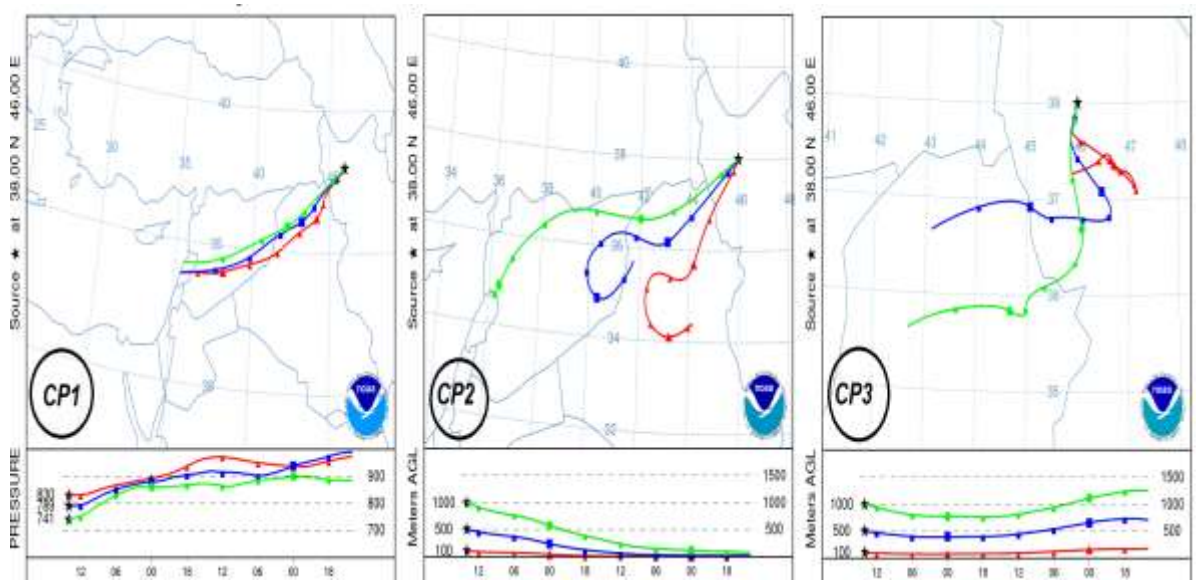
Figure 5: Shows the flow of air and vorticity 850 hPa in a circular pattern

– ردیابی ذرات معلق با استفاده از مدل HYSPLIT

برای ردیابی مسیر ذرات از مدل HYSPLIT از روش پسگرد (Backward) استفاده شد، به‌طوری‌که همزمان با آغاز اولین گردوغبار در منطقه مورد مطالعه مسیر باد تا ٢٤ ساعت قبل از آن مورد مشخص بود. در واقع مسیر باد برای روز قبل از رخداد گردوغبار در ایستگاه تبریز با این پدیده مورد ارزیابی قرار گرفت. مسیر باد، بارنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شده است. ارتفاع نمایش داده شده در پایین هر نقشه، بیانگر ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است. در این پژوهش ارتفاع ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر از سطح زمین انتخاب شده، که مهم‌ترین دلیل انتخاب این ارتفاع؛ ردیابی مسیر ذرات برای یک روز قبل از نفوذ اولین گردوغبار به منطقه، عامل دیگر پایین بودن ارتفاع جابجایی گردوغبار می‌باشد.

در الگوی اول مشاهده می‌شود که منشأ ذرات معلق غرب سوریه و فلسطین است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ابتدا گردوغبارها در ارتفاع کم‌تر از ۱۰۰۰ متر شروع به حرکت کرده و هر چه به منطقه مورد مطالعه نزدیک می‌شوند به ارتفاع آن‌ها افزوده شده است. الگوی دوم سه منشأ را برای گردوغبارها در این تیپ نشان می‌دهد. اولین منشأ که با رنگ سبز مشخص‌شده شرق فلسطین و غرب سوریه است که در ارتفاع ۱۰۰۰ متری قرار دارد. منشأ دوم شرق سوریه است که در ارتفاع ۵۰۰ متری بارنگ آبی مشخص شده و سرچشمه سوم مربوط به عراق مرکزی است که با رنگ قرمز نمایان است. در الگوی سوم سه منطقه به‌عنوان کانون اصلی انتقال گردوغبار به منطقه شناسایی شد. دو ناحیه مربوط به شمال و غرب عراق بوده که به‌ترتیب در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متری از سطح زمین به سمت منطقه روانه شده‌اند. منشأ سوم بیش‌تر به‌صورت محلی بوده و از جنوب منطقه آذربایجان‌شرقی به شهر تبریز نفوذ کرده است (شکل ٦).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

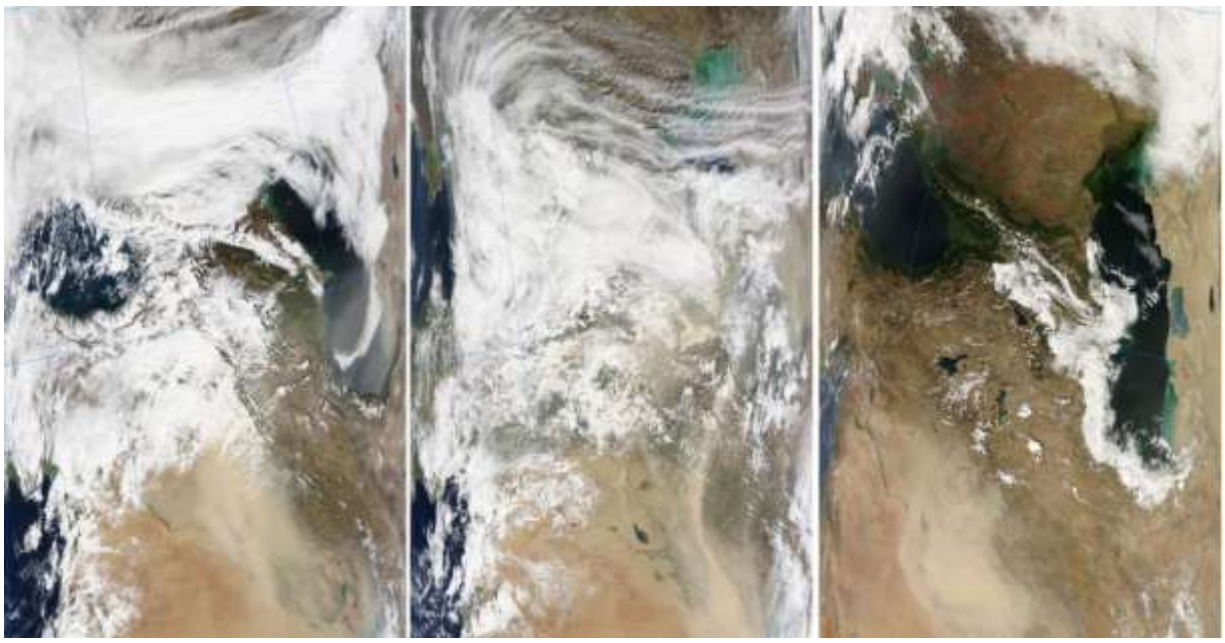


شکل ٦: ردیابی ذرات معلق با استفاده از مدل HYSPLIT در هر الگو گردشی

Figure 6: Tracking of suspended particles using the HYSPLIT model in each turning pattern

- وضعیت گردوغبارها در تصاویر مودیس

در بررسی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد که بنا به استقرار ناوه عمیق بر روی مدیترانه و دریای سیاه در الگوی اول رشد ابرها را در شرق دو دریای یاد شده شاهد هستیم که تا شمال‌غرب کشور کشیده شده‌اند. این در حالی است که گردوغبارها برخاسته از کانون‌های گردوغبار در منطقه به‌سوی نیمه غربی ایران روانه شده‌اند.



شکل ۷: وضعیت گردوغبار در تصاویر مودیس در هر الگوی گردشی

Figure 7: Status dust in MODIS images in each circulation pattern

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

در الگوی دوم نیز به‌مانند الگوی اول وضعیت ابرزایی در شرق دریای مدیترانه و سیاه فراهم شده ولی با انتقال حجم عظیمی از گردوغبار به سمت منطقه مورد مطالعه تلفیقی از ابر و خاک به‌وجود آمده و به‌نوعی ابر گلی[10] شکل بر فراز شهر تبریز ایجاد شده است. در الگوی سوم پدیده غالب در تصاویر سنجنده مودیس، حجم عظیمی از گردوغباری است که به سمت نواحی غرب و شمال‌غرب ایران هجوم آورده است. بر اساس مدل HYSPLIT، نشان داده شد که منشأ اصلی در شمال و غرب عراق متمرکز شده ولی در این بین نقش عوامل محلی نیز بی‌تأثیر نبوده و در انتقال گردوخاک در الگوی سوم نیز نقش عمده‌ای را بازی می‌کند (شکل ۷).

نتیجه‌گیری

شهر تبریز به لحاظ نزدیکی به مناطق منشأ گردوغبار در غرب آسیا منطقه‌ای مستعد برای رخداد مکرر پدیده‌ی گردوغبار در طی سال است. از این‌رو پس از شناسایی روزهای توأم با گردوغبار مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو برای هرروز در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی استخراج شد و نتایج نشان داد که ۳ تیپ در بروز روزهای همراه با گردوغبار در تراز میانی جو در منطقه حاکمیت دارند که اولی ناوه عمیقی منطبق بر شمال آفریقا، دومی بر روی سوریه و غرب عراق و دیگری در غرب ایران و نواحی شرقی عراق است. با استقرار سامانه‌های مذکور شرایط برای خیزش گردوغبار در مناطق مستعد فراهم شده و طی یک جریان انتقالی به منطقه شارش یافته است. به‌موازات ناوه تشکیل شده بر روی مناطق یاد شده، در سطح زمین نیز سلول کم‌فشاری در زیر محور ناوه مشاهده می‌شود. از طرفی در سمت مقابل و در نواحی غربی منطقه خزری با تشکیل هسته پرفشار، گرادیان شدید فشاری ایجاد و شرایط را برای ورود بسته هوای همراه با گردوغبار به منطقه فراهم نموده است (الگوی اول و دوم). در الگوی سوم نیز با تشکیل ناوه نسبتاً عمیق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شرق عراق جریانات جنوبی را برای شهر تبریز به همراه داشته است. این امر را می‌توان در تشکیل کم‌فشار محلی در شرق عراق و پرفشار زاگرس مشاهده نمود که به‌ترتیب با جریان چرخندی و واچرخندی خود در انتقال گردوغبار نقش به سزایی را ایفا می‌نمایند.

همچنین برای ردیابی مسیر دقیق گردوغبار از مدل HYSPLIT استفاده شد که بر اساس مدل مذکور مشخص گردید که گردوغبارهای منطقه در روزهای مورد بررسی دارای سه منشأ متفاوت می‌باشند که اولین منشأ آن شرق فلسطین و غرب سوریه است که در ارتفاع ۱۰۰۰ متری قرار دارد. دومین منشأ آن شرق سوریه است که در ارتفاع ۵۰۰ متری قرار دارد و سرچشمه سوم آن مربوط به عراق مرکزی است که با رنگ قرمز نمایان است البته در الگوی سوم، سه کانون به‌عنوان کانون اصلی انتقال گردوغبار به منطقه شناسایی شد، که دو ناحیه مربوط به شمال و غرب عراق بوده که به‌ترتیب در ارتفاع ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متری از سطح زمین به سمت منطقه روانه شده‌اند و منشأ سوم در ارتفاع ۱۰۰ متری می‌باشد که بیش‌تر به‌صورت محلی بوده است. همچنین در پژوهشی مشابه Azizi et al (2012) به ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مسیر اصلی برای انتقال گردوغبار به غرب

10- Muddy

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

ایران، مسیر شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و مسیر غربی-شرقی می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش تا حدودی در مقایسه با پژوهش حاضر یکسان می‌باشد که می‌تواند گواهی بر صحت مطالب فوق باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Amanollahi, J., Kaboudvandpour, Sh., (2014), "Assessment of MODIS images and data validation to measure pm10 in related to ground station data. Case study: Sanandaj, Iran", ***Journal of Geographical space***, 14 (46): 153-173. [In Persian].
- Ashrafi, A., Amiraslani, F., Darvishi Boloorani, A., Mousivand, A., (2019), "Leaf area index (LAI) responses of tree species to industrial dust (case study: The caspian hyrcanian mixed forests)", ***Journal of Geographical space***, 18 (64): 267-286. [In Persian].
- Ataei, H., Ahmadi, F., (2010), "Dust as one of the environmental problems of the Islamic World. Case study: Khuzestan Province", ***Proceedings of the Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World***, pp 19-19. [In Persian].
- Azizi, Gh., Miri, M., Nabavi, A., (2012), "Detection of dust in the midwest of Iran", ***Journal of Arid Regions Geographical Studies***, 2 (7): 63-81. [In Persian].
- Barkan, J,. Alpert, P., (2010), "Synoptic analysis of a rare event of saharan dust reaching the arctic region", ***Weather***, 65 (8): 208-211.
- Chun, Y., Boo, K. O., Kim, J., Park, S. U. Lee, M., (2001), "Synopsis, transport, and physical characteristics of asian dust in korea", ***Journal of Geophysical Research***, 106: 18461-18469.
- Draxler, R. R., Rolph, G. D., (2011), "Hysplit (Hybrid single particle lagrangian integrated trajectory)", ***NOAA Air Resources Laboratory***, Silver Spring, New yourk.
- Draxler, R., Hess, G. D., (1998), "An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion and Deposition", ***Australian Meteorological Magazine***, 47: 295-308.
- Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A., (2009), "Hybrid single-particle lagrangian integrated trajectories 4 user's guide", NOAA Tech. Memo, ERL-ARL, 84 page.
- Evan, A.T., Keidinger, A. K., Pavolonis, M. J., (2004), "A new algorithm for dust detection over water utilizing the AVHRR Imager", ***13 th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Norfolk***, VA, 20-23 September 2004, Boston, MA, American Meteorological Society.
- Falah Qalhari, GH. A., (2014), "***Principles and foundations of meteorology***", Sabzevar: Hakim Sabzevari University Press. [In Persian].
- Ganor, E., Stupp, A., Osetinsky, I., Alpert, P., (2010), "Synoptic classification of lower troposphere profiles for dust days", ***Journal of Geophysical Research***, 115 (11): 1-8.
- Goudie, A., Middleton, N. J., (2001), "Saharan dust storms: Nature and consequences", ***Earth Science Review***, 56: 179-204.
- Goudie, A., Middleton, N. J., (2000), "Dust storms in South West Asia", ***Acta Univ Car***, 35: 73-83.
- Huang, J., Ge, J., Weng, F., (2007), "Detection of Asia dust storms using multisensory satellite measurements", ***Remote Sensing of Environment***, 110 (2): 186-191.
- Klüser, L., Schepanski, K., (2009), "Remote sensing of mineral dust over land with MSG infrared channels: A new bitemporal mineral dust index", ***Remote Sensing of Environment***, 113 (9): 1853-1867.
- Lashkari, H., Kikhosrovi, A., (2008), "Statistical analysis of synoptic dust storms in Khorasan Razavi province during the period (1993-2005)", ***Physical Geography Research Quarterly***, 65: 17-33. [In Persian].
- Ling-jun, L., Ying, W., Qiang, Z., Tong, Y., Yue, Z., Jun, J., (2007), "Spatial distribution of aerosol pollution based on MODIS data over Beijing China", ***Journal of Environmental Sciences***, 19: 955-960.
- Omidvar, K., (2006), "Synoptic analysis and analysis of sand storms in Yazd-ardakan plain",

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

Geographical research Quarterly, 81: 43-58. [In Persian].
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., Gill, T. E., (2002), "Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product", ***Reviews of Geophysics***, 40 (2): 1002.
- Raispour, K., (2008), "Statistical analysis of dust phenomenon in Khuzestan province", Master's Degree, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, 189 page. [In Persian].
- San-chao, L., Qinhuo, L., Maofang, G., Liangfu, C., (2006), "Detection of dust storms by using daytime and nighttime multi-spectral MODIS images", Geoscience and Remote Sensing Symposium, Denever, USA, 31 July 2006, pp 294-296.
- Shao, Y., Dong, C. H., (2006), "A review on east Asian dust storm climate, modeling and monitoring", ***Global and Planetary Change***, 52 (1-4): 1-22.
- Sohrabinia, M., Khorshiddoust, A. M., (2007), "Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran", ***Habitat International***, 31: 268-275.
- Stunder, B. J. B., (1997), "NCEP model output-FNL ARCHIVE DATA, TD-6141", Prepared for National Climatic Data Center (NCDC), USA, 60 page.
- Takemi, T., Seino, N., (2005), "Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring", ***Journal of Geophysical Research***, 110 (18): 11-23.
- Tsai, T., Jeng, Y., Chu, D., Chen, J., Chang, S., (2011), "Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008", ***Atmospheric Environment***, 45 (27): 4777-4788.
- Zhao, T. X. P., Ackerman, S., Guo, W., (2010), "Dust and smoke detection for multi-channel imagers", ***Remote Sensing***, 2 (10): 2347-2368.
- Zolfaghari, H., Heydarzadeh, H., (2005), "Synoptic analysis of dust storms in West Iran", ***Geography evelopment Iranian Journal***, 6: 173-188. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]