

## واکاوی شرایط همدید - سنجش از دور رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب ایران (مهر ۱۳۹۲)

برومند صلاحی<sup>۱</sup>، مسعود مرادی<sup>۲</sup> و مهدی عالی‌جهان<sup>۳</sup>  
تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۲/۲، تاریخ تأیید: ۱۳۹۳/۴/۱۰

### چکیده

توفان‌های گرد و خاک از پدیده‌های جوی معمول در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. در این پژوهش، از روش ترکیبی همدید-سنجش از دور، شرایط مؤثر بر رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب ایران در مهرماه ۱۳۹۲ بررسی شده است. بدین منظور، پس از بررسی دید افقی و سمت و سرعت باد در ایستگاه‌های مشاهداتی زمینی، داده‌های بازکاوی سطوح مختلف اتمسفر با توجه به موضوع تحقیق از سایت نوآ اخذ گردید. از این داده‌ها به منظور بررسی شرایط همدید و ترسیم نقشه‌های موردنیاز در محیط نرم‌افزار گرادس استفاده شده است. در ادامه، با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس (اکوا)<sup>۴</sup> و سنجنده مادون قرمز اتمسفری<sup>۵</sup>، پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه آشکارسازی شد و در نهایت، تصاویر مورد استفاده از همپوشانی تصاویر رنگ واقعی بازتاب سطح زمین و میزان گرد و غبار تهیه شد. نتایج نشان داد که در شرایطی که شیو فشار زیاد بین مرکز پرفشار و کم‌فشار در منطقه شمال‌غرب کشور وجود دارد با همراهی موج بادهای غربی در سطوح میانی جو و فعالیت رودباد سطوح بالا، جریان هوا از روی کشورهای عراق و سوریه با سرعت زیاد به سمت شمال غرب ایران وزیده و موجبات رخداد توفان گرد و خاک در شمال‌غرب ایران در مهرماه ۱۳۹۲ را فراهم آورده است. تصاویر سنجش از دور، مسیر حرکت گرد و غبار را منطبق بر جریان هوا در منطقه تأیید می‌کند.

کلیدواژگان: توفان گرد و خاک، شمال غرب ایران، تحلیل همدید، مودیس.

۱. دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۳. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

4. MODIS(aqua)

5. AIRS

## مقدمه

توفان‌های گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های معتدله، حاره‌ای و جنب حاره‌ای رخ می‌دهند جایی که میانگین سالانه بارش، ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (Indoitu et al, 2012, 63). در این رابطه، هواویزه‌های گردوغباری خاک، توزیع‌کننده اصلی در تشکیل هواویزه‌های جوی جهان بوده و عاملی مؤثر در میزان دید افقی است (Jiawei et al, 2011, 3955). رخداد یک گرد و غبار در منطقه زایش آن، زمانی آغاز می‌شود که سرعت باد سطحی از یک حد بحرانی تجاوز کند که در اثر آن، ذرات به پا خواسته از سطح زمین می‌توانند در مقیاس محلی تا جهانی انتقال یابند (Han et al., 2004; Gong et al, 2003). برخلاف فرسایش بادی که در یک مقیاس محلی عمل می‌کند توفان گرد و خاک قابلیت انتقال در سطح یک قاره و حتی فراتر از آن را دارد. در مناطق خشک و نیمه خشک که ذرات ریز و آزاد پوشش سطحی را تشکیل می‌دهند و دوره‌های خشک در اثر خشکسالی‌های مداوم حاکم است فرسایش بادی سبب افزایش توفان‌های گردوغبار می‌شود (Indoitu et al, 2012, 63). بر این اساس، تشکیل و تشدید توفان‌های گرد و غبار با اندرکنش میان سه رخداد کنترل می‌شود: ۱. بادهای شدید، ۲. مهیایی مواد سطحی برای فرسایش بادی و انتقال، ۳. شرایط ناپایدار جوی (Xu, 2006, 279). شدت توفان گرد و خاک توسط بقای آن و کاهش در دید تعیین می‌شود. برحسب تداوم زمانی، این پدیده به دو نوع توفان گرد و خاک کوتاه مدت (تا نیم ساعت) و و طولانی‌مدت (چند ساعت و حتی یک شبانه‌روز) تقسیم می‌شود (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۶، ۱۸). رخداد این پدیده تأثیر بسزایی بر محیط اتمسفر و سلامت انسان از طریق پایین آوردن کیفیت هوا، مشکلات تنفسی، کاهش دید، تأثیر بر انتقال پرتوهای خورشیدی و عمل تراکم در ابرها دارد. تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم اقلیمی هواویزه‌ها نشان می‌دهد که بازتوزیع انرژی اتمسفر از تابش‌های خورشیدی و زمینتاب و همچنین گرم یا سرد شدن اتمسفر بسته به نوع ذرات و توزیع فضایی آنها متفاوت است (Nickovic and Dobricic, 1996, 2542). برای نمونه، تأثیر هواویزه‌های گردوغبار بر دریای عرب به صورت افزایش در دمای لایه گردوغبار و کاهش دما در زیر این لایه تا ۰/۳ درجه سانتی‌گراد است که نتیجه کاهش در تابش خورشیدی در سطح زیرین لایه گردوغبار است. تأثیر گرمایشی گردوغبار در سطح ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌بار در شمال غربی دریای عرب رخ می‌دهد

(Natsagdorj et al, 2003, 1402). با توجه به آثاری که این پدیده در بعد جهانی بر جای می‌گذارد، کارشناسان مربوطه به روش‌های متفاوت مانند تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های هوا و روش‌های آماری مختلف آن را بررسی می‌کنند تا با شناسایی منشاء و آثار آن‌ها اقدامات لازم برای کاهش آسیب‌های احتمالی ناشی از گرد و غبارها را انجام دهند.

بررسی مطالعات انجام شده در زمینه توفان‌های گرد و غبار نشان می‌دهد که مناطق مختلفی از کره زمین با این پدیده درگیر هستند. مطالعات متعددی در کشورهای آسیای مرکزی و شرقی بویژه کشور چین انجام شده است (Liu et al, 2004, 999; Natsagdorj et al, 2003, 1401) که نشان از رخداد مداوم پدیده توفان گرد و خاک در این منطقه دارد. گونگ و همکاران (۲۰۰۳، ۴۲۶۲) تولید و انتقال گرد و غبار خاک را در دوره مارس تا می ۲۰۰۱ بررسی کرده‌اند. لی و همکاران (۲۰۰۱، ۳۹۵۴) از یک مدل سه بعدی کیفیت هوا که حاوی یک سری فرایندهای کلیدی مرتبط با آلودگی اتمسفر است، مدل متوسط مقیاس (MM5) را برای فراهم کردن فراسنج‌های هواشناسی شامل باد، دما، رطوبت و دیگر فراسنج‌ها برای محاسبه مدل کیفیت هوا استفاده کرده‌اند. توزیع زمانی و فضایی توفان‌های گرد و غبار در آسیای مرکزی طی هفت دهه گذشته (Indoiti et al, 2012, 62) نشان می‌دهد که منابع فعال تولید گرد و غبار عمدتاً در بیابان‌های ماسه‌ای و دیگر قسمت‌های بیابان که نسبت به فعالیت‌های بشری حساس است قرار دارد. در یک پژوهش اقلیمی متوسط مقیاس در ایالت یوتا<sup>۱</sup> آمریکا، عوامل تولید و انتقال گرد و غبار توسط Hahnenberger و Nicoll (۲۰۱۲، ۶۰۱) بررسی شد. میانگین سالانه روزهای غباری ۴/۷ روز در سال و بیشتر در فصل بهار و در ساعات بعد از ظهر بوده است. اما عامل آغاز و انتقال گرد و غبار و توفان یک سیکلون در حال تقویت است که از منطقه سیرانوادا به عنوان محل سیکلون‌زایی آغاز می‌شود. این چرخه‌های سیکلونی بادهای قوی جنوب غربی را در شرق حوضه بزرگ یوتا تولید می‌کنند که زمینه ایجاد گرد و غبار است. همچنین چشمه‌های تولید گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس شناسایی شده است. فراوانی و خصوصیات طولانی‌مدت رخداد گرد و غبار در ایسلند توسط Dagsson و همکاران (۲۰۱۳، ۱۱۸) بررسی

---

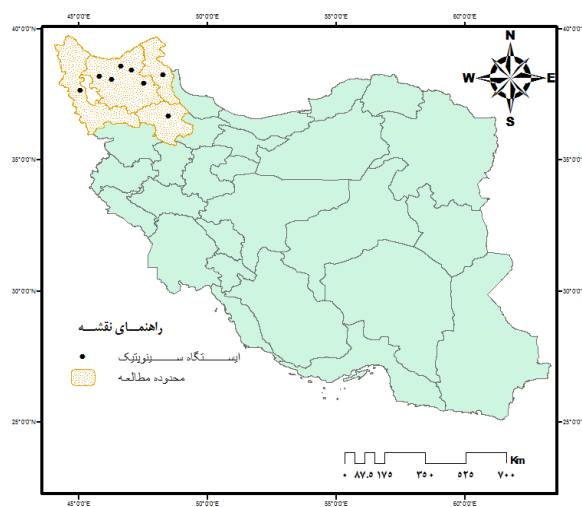
## 1. Utah

شد. پدیده توفان گرد و خاک در ابر شهرهای چین در تمایز با آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای توسط Tao و همکاران (۲۰۱۴، ۱۸۶) بررسی شده است. مهر شاهی و نکونام (۱۳۸۵، ۸۴) در یک تحلیل فضایی و زمانی از پدیده گرد و غبار با استفاده از داده‌های ساعتی سمت و سرعت باد به بررسی توزیع زمانی و فضایی بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزوار پرداخته‌اند. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷، ۱۷) سامانه‌های منجر به توفان‌های گرد و غبار در خراسان رضوی را بررسی کردند. آنها نشان دادند که شیو فشار و شیو گرمایی شدید میان سامانه چرخندی بر روی افغانستان و سامانه واچرخندی روی دریای خزر و ترکمنستان سبب ورش بادهای شدید به‌ویژه در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی می‌شود. خسروی و همکاران (۱۳۸۹: ۹۷) در مطالعه ۵۰ گرد و غبار شاخص در خورستان آنها را به دو دوره سرد و گرم تفکیک کرده و شرایط همدید مؤثر بر ایجاد گرد و غبار را در این دوره‌ها بررسی کردند. مسیر حرکت امواج گرد و غباری و نحوه استقرار محور فرود در مراکز کم فشار نشان داد که منابع تشکیل و انتقال گرد و غبار در بیابان‌های جنوب عراق، شمال عربستان، جنوب شرق سوریه و تا اندازه‌ای شمال آفریقا است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۲۵) با استفاده از آمار ساعتی گرد و غبار در نیمه غربی کشور به بررسی چگونگی تشکیل و منشأ ورود گرد و غبار پرداخته‌اند. سپس به واکاوی شرایط همدید یک نمونه رخداد گرد و غبار با شدت و گستردگی قابل توجه پرداخته‌اند و در ادامه، با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس، فرآیند انتقال گرد و غبار و توزیع آن در نیمه غربی کشور با توجه به منشأ آن مورد تحلیل قرار گرفته است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۱: ۶۳) به ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دو منطقه عمده منبع گرد و غبار نیمه غربی کشور یکی در مرز بین سوریه و عراق و دیگری در غرب و جنوب غربی عراق است که از دو مسیر عمده شمال غربی - جنوب شرقی و غربی - شرقی به کشور وارد می‌شوند. خوشحال و همکاران (۱۳۹۱: ۱۵) در یک مطالعه همدید از رخداد گرد و غبار در استان ایلام، ابتدا داده‌های گرد و غبار را با تحلیل خوشه‌ای طبقه‌بندی کردند. سعادت‌آبادی و درویش‌زاده (۱۳۹۲: ۱۴۷) در مطالعه شرایط بسیار ناسالم هوای تهران پس از مشخص نمودن روزهای مورد نظر، با استفاده از داده‌های مشاهداتی، بازتحلیل و تصاویر ماهواره‌ای سامانه‌های جوی مرتبط با آن را بررسی کردند. از دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای لشکری (۱۳۸۱) در تحلیل

آماری- همدیدی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی، خسروی (۱۳۸۹) در بررسی جهت جریانات باد در سطوح مختلف جو در هنگام وزش باهای صد و بیست روزه سیستان، علیجانی (۱۳۹۰) در تحلیل آماری- همدیدی توفان گرد و خاک در جنوب شرق ایران، کرمی و همکاران (۱۳۹۰: ۵۷) در شناسایی خاستگاه توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، ذوالفقاری و عابدزاده، (۱۳۸۴) و ذوالفقاری (۱۳۹۰) در بررسی الگوهای همدیدی گرد و غبار در نیمه غربی کشور، اشاره کرد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی عوامل مؤثر در رخداد توفان گرد و خاک منحصر به فردی است که در ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۲ شمال غرب ایران را فرا گرفته است. سرعت باد در این روز در ایستگاه سینوپتیک تبریز بیش از ۲۰ متر بر ثانیه ثبت شده است. وزش باد شدید در شهر تبریز موجب شکستن شاخه‌های برخی درختان و ایجاد اختلال در تردد شده است به طوری که برخی پروازهای فرودگاه تبریز لغو و مدارس دوره ابتدایی تعطیل شده است. در ایستگاه اردبیل نیز وزش باد حداکثر با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به ثبت رسیده است.

### مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، شمال غرب ایران است. این محدوده، استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و زنجان را در ۳۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۴۹ درجه طول شرقی شامل می‌شود.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، از روش ترکیبی همدید-سنجش از دور به منظور بررسی رخداد توفان گرد و غبار در شمال غرب ایران، از ترکیب دو روش بررسی شرایط همدید در مقیاس منطقه‌ای منجر به رخداد توفان گردوغبار و مطالعه سنجش از دور در بررسی منشأ و مسیر ورود گردوغبار به منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. ابتدا داده‌های مشاهدات زمینی ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در محدوده مورد مطالعه شامل سمت و سرعت باد و دید افقی برای روزهای موردنظر اخذ شده است. این داده‌ها مربوط به بازه زمانی ۲۴ تا ۲۸ مهر ۱۳۹۲ است که از ادارت هواشناسی استان‌های مربوطه گردآوری شده است (جدول ۱). در پژوهش حاضر، از روش محیطی به گردشی در تحلیل شرایط همدید توفان گرد و خاک در شمال غرب کشور استفاده شده است. به‌منظور بررسی بزرگ مقیاس شرایط همدید مرتبط با رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب ایران، از داده‌های بازکاوی گرید شده مربوط به سطح زمین و سطوح فوقانی جو استفاده شده است. این داده‌ها از سایت نوآ، مرکز ملی پیش‌بینی محیطی / مرکز ملی تحقیقات اتمسفری (NCEP/NCAR) استخراج شده است. این پایگاه داده‌های جوی را در برد مکانی و بازه زمانی طولانی برای تمام کره زمین ارائه می‌کند. در این پژوهش، از فراسنج‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف‌النهاری، دما و مؤلفه عمودی باد در سطوح مختلف استفاده شده است. محدوده مورد بررسی، از صفر تا ۸۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۷۰ درجه عرض شمالی را دربرمی‌گیرد بنابراین، در شبکه ۲/۵×۲/۵ درجه‌ای موجود، اطلاعات جوی ۸۹۶ یاخته در این محدوده برای تهیه نقشه‌های همدید و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرادس<sup>۲</sup> استفاده شده است. در ادامه، با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس (اکوا) و سنجنده مادون قرمز اتمسفری (AIRS) پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه آشکارسازی شد. در واقع، نقشه‌های مورد استفاده در این بخش به صورت ترکیبی از اندازه‌گیری‌های این دو سنجنده تهیه شده است. در سنجنده آکوای مودیس، با استفاده از الگوریتم هواویزهای تروپوسفری (Levy et al, 2009, 2943)، قابلیت شناسایی این هواویزها وجود دارد. این کار در چهار مرحله انجام می‌شود: ۱. جمع‌آوری مشاهدات بازتاب طیفی در سطح پیکسل، ۲. نادیده گرفتن پیکسل‌های دارای پوشش ابری یا دیگر عامل‌ها، ۳. چشم‌پوشی از ۲۰ درصد پایینی

---

1.NOAA  
2.GRADS

و ۵۰ درصد بالایی هیستوگرام بازتابش و ۴. مقایسه مقادیر باقیمانده با مدل هواویزهای اتمسفری که در جدول یک مراجعه‌ای به منظور بدست آوردن عمق اپتیکی ذرات اتمسفری تهیه شده است. هر پیکسل به عنوان نمونه آماری بازتاب طیفی از منطقه‌ای با مساحت  $10 \times 10$  کیلومتری فرض شده است. در نهایت، تصاویر مورد استفاده از همپوشانی تصاویر رنگ واقعی و بازتاب سطح زمین حاصل از تصاویر سجنده مودیس و شاخص میزان گردوغبار حاصل از سنجنده AIRS تهیه شد.

جدول ۱: مقادیر سمت و سرعت باد و دید افقی در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	ارومیه			زنجان			تبریز			اردبیل		
	سمت	سرعت m/s	دید افقی	سمت	سرعت m/s	دید افقی	سمت	سرعت m/s	دید افقی km	سمت	سرعت m/s	دید افقی
۲۴	۲۷۰	۳	۱۰	۲۷۰	۶	۱۱	۲۴۰	۴	۱۲	۲۱۰	۷	
۲۵	۲۱۰	۴	۱۰	۱۸۰	۶	۱۰	۲۷۰	۸	۱۰	۲۱۰	۱۳	
۲۶	۲۳۰	۸	۱۰	۱۸۰	۵	۱۲	۵۰	۴	۰/۳۵	۲۱۰	۱۳	
۲۷	۲۲۰	۲۰	۱۰	۱۸۰	۶	۹/۵	۲۹۰	۱۸	۰/۲۲	۲۱۰	۲۰	
۲۸	۵۰	۵	۱۰	۲۷۰	۶	۱۰/۵	۳۶۰	۸	۰/۶	۶۰	۸	
ایستگاه	اهر			سراب			شبه‌ستر			ورزقان		
ایستگاه	اهر			سراب			شبه‌ستر			ورزقان		
	سمت	سرعت m/s	دید افقی	سمت	سرعت m/s	دید افقی	سمت	سرعت m/s	دید افقی km	سمت	سرعت m/s	دید افقی
۲۴	۲۵۰	۶	۱۵	۲۸۰	۵	۲۷	۹۰	۶	۱۲	۲۲۰	۶	۰/۵
۲۵	۲۶۰	۱۰	۲۰	۲۴۰	۹	۲۶	۱۷۰	۴	۱۲	۲۴۰	۷	۱۲
۲۶	۲۶۰	۹	۶	۲۷۰	۸	۷	۱۹۰	۳	۴	۲۲۰	۷	۶
۲۷	۲۴۰	۲۰	۰/۹	۲۴۰	۲۱	۱/۲	۲۱۰	۱۷	۴	۲۳۰	۱۵	۲
۲۸	۲۷۰	۹	۱۰	۳۲۰	۶	۲۵	۹۰	۴	۸	۲۸۰	۵	۱۲

### یافته‌های پژوهش

نقشه‌های ترکیبی ایجاد شده از پایگاه داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR کمک کرد تا ویژگی‌های همدید و متوسط مقیاس رخداد توفان گرد و خاک در منطقه شمال غرب کشور شناسایی گردد. داده‌های بازکاوی این مرجع، ضمن قدرت تفکیک مناسب برای بررسی سامانه‌های همدید و توجه به تعادل هیدرودینامیک جو، از پشتیبانی نرم‌افزار ساده و پرقابلیتی به

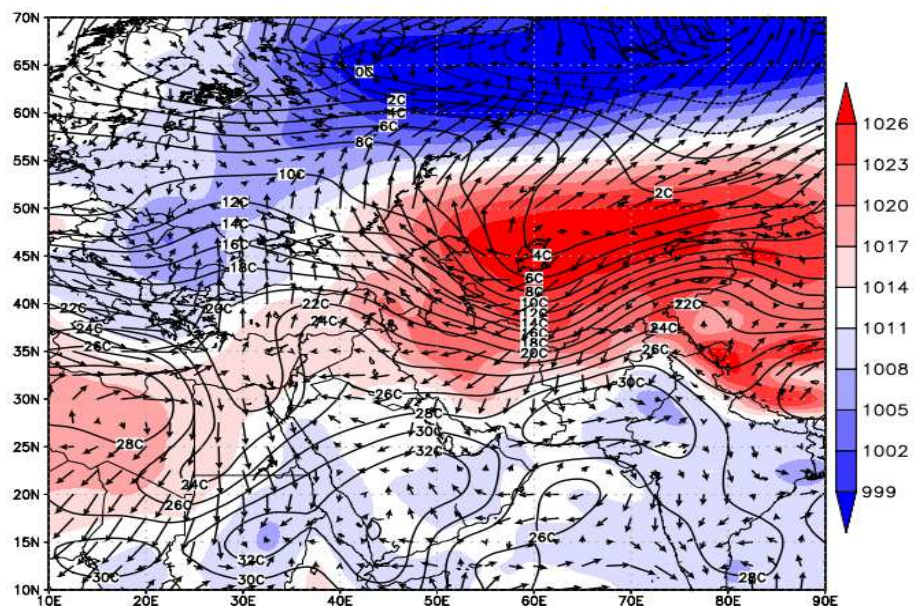
نام گرادس برای تحلیل، ترسیم، انجام محاسبات و ... برخوردار است. در ادامه به تحلیل نقشه‌های همدید تهیه شده با این روش پرداخته می‌شود.

#### وضعیت فشار تراز سطح دریا، بردار باد و دما

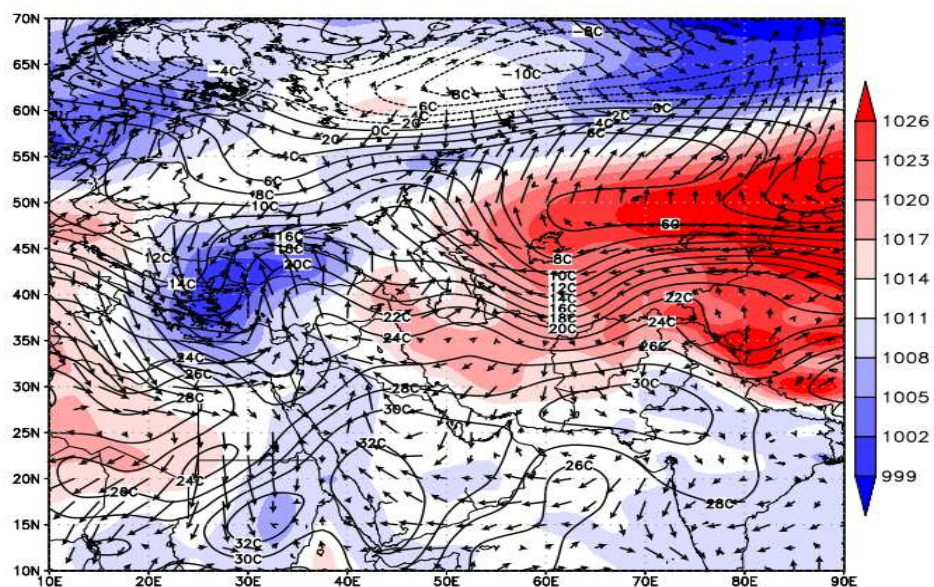
به‌منظور واکاوی شرایط همدید رخداد توفان گرد و خاک ۲۶ و ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۲ در منطقه شمال‌غرب کشور، این شرایط از روز ۲۴ مهر بررسی شده است. پدیده توفان گرد و خاک در این روزها در بسیاری از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه گزارش شده است. اشکال ۲ تا ۵، نقشه‌های ترکیبی فشار استاندارد سطح دریا، بردار باد و دما در سطح زمین را از روز ۲۴ تا ۲۷ مهر ۱۳۹۲ را نشان می‌دهند. در روز ۲۴ مهر، کشور ایران از جمله منطقه شمال‌غرب زیر نفوذ یک مرکز پرفشار قرار دارد که مرکز آن بر روی دریاچه خوارزم است. منحنی هم‌فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال آن از کرانه‌های جنوبی کشور تا شمال‌غرب را در بر گرفته است. دیگر مراکز فعالیت مؤثر بر منطقه، سه مرکز کم‌فشار بر روی روسیه، مرکز اروپا و شبه‌جزیره عربستان و یک مرکز پرفشار در شمال آفریقا است. سامانه پرفشار حاکم بر ایران با حرکت و اچرخندی در تقابل با سامانه‌های کم‌فشار واقع بر روی روسیه و اروپا سبب جریانات جنوب شرقی در شمال‌غرب ایران با سرعت ۵ تا ۱۰ متر بر ثانیه شده است. در روز ۲۵ مهر، بیشتر مراکز فعالیت به سمت شرق جابجا شده‌اند. مرکز کم‌فشار مستقر بر روی اروپا به عرض‌های پایین‌تر بر روی دریای مدیترانه جابجا شده و قوی‌تر شده است. بر روی ایران، زبانه‌ای از پرفشار قرار دارد. جهت باد در شمال‌غرب ایران، عمدتاً غربی و جنوب غربی است. در روز ۲۶ مهر، زبانه پرفشار روی ایران منحنی بسته‌ی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال در امتداد رشته کوه‌های زاگرس را تشکیل داده است. مرکز کم‌فشار روی دریای مدیترانه به روی دریای سیاه نقل مکان کرده که با نزدیک شدن این مرکز کم‌فشار به منطقه شمال‌غرب ایران، در تقابل با مراکز پرفشار فعال در منطقه، نیروی شیو فشار افزایش یافته و سبب وزش بادهای شدید شده است. همچنین این مرکز کم‌فشار با گردش سیکلونی خود، سبب شکل‌گیری جریانات غربی و جنوب‌غربی منطبق بر مناطق عمده تولید گرد و غبار در کشورهای غربی همسایه ایران شده است. از روز ۲۴ مهر ماه با نزدیک شدن به روز اوج توفان گرد و خاک، به تدریج همدمای ۲۵ درجه از روی عربستان و شمال آفریقا به



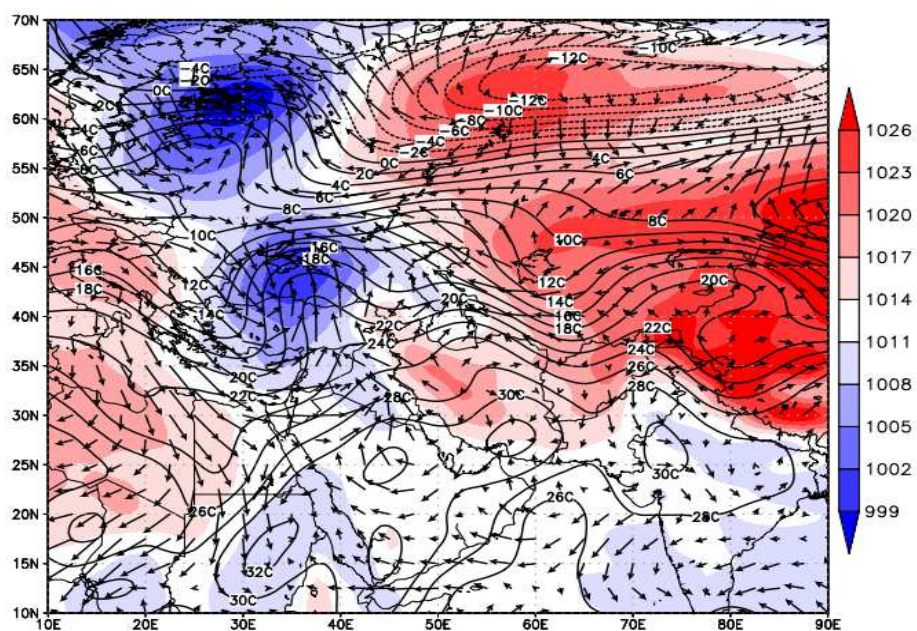
سمت عرض‌های شمالی و کشورهای عراق و سوریه گسترش می‌یابد. این شرایط می‌تواند سبب خشکی بیشتر هوا در این مناطق و به تبع آن تشدید گرد و غبار در منطقه شود. در روز ۲۷ مهر ۱۳۹۲، دو مرکز پرفشار بر روی چین و سیبری فعالیت دارند که زبانه‌ای از این دو بر روی ایران قرار گرفته و تشکیل دو منحنی بسته با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال روی ایران مرکزی داده است. مراکز کم‌فشار مستقر بر روی اروپا شمالی و دریای سیاه در روز ۲۶ مهر علاوه بر پیشروی شرق‌سوی خود نسبت به روز قبل، در منحنی ۱۰۰۲/۵ هکتوپاسکال با هم ادغام شده و یکی از هسته‌های کم‌فشار بر روی دریای خزر و آسیای مرکزی مستقر شده است. از طرفی پرفشار دیگری بر روی غرب و مرکز اروپا قرار گرفته است که زبانه‌ای از آن با جهت غربی-شرقی به موازات دریای مدیترانه به سمت شرق کشیده شده است. با وجود این الگوی فشاری بر روی منطقه مورد مطالعه هسته کم‌فشار مستقر بر روی دریای خزر باعث مکش شدید جریان هواهای برخاسته از پرفشارهای موجود در شمال غرب، غرب، شمال شرق و شرق خود شده و جریان باد شکل گرفته به دلیل مسیر عبوری خود باعث گردیده تا گردوغبار از غرب و شمال غرب سوریه، شمال و شمال غرب عراق مکیده شده وارد منطقه مورد مطالعه گردد. چنانچه جریان باد شکل گرفته در روز ۲۷ مهر ماه سال ۱۳۹۲ گواهی بر این مدعاست.



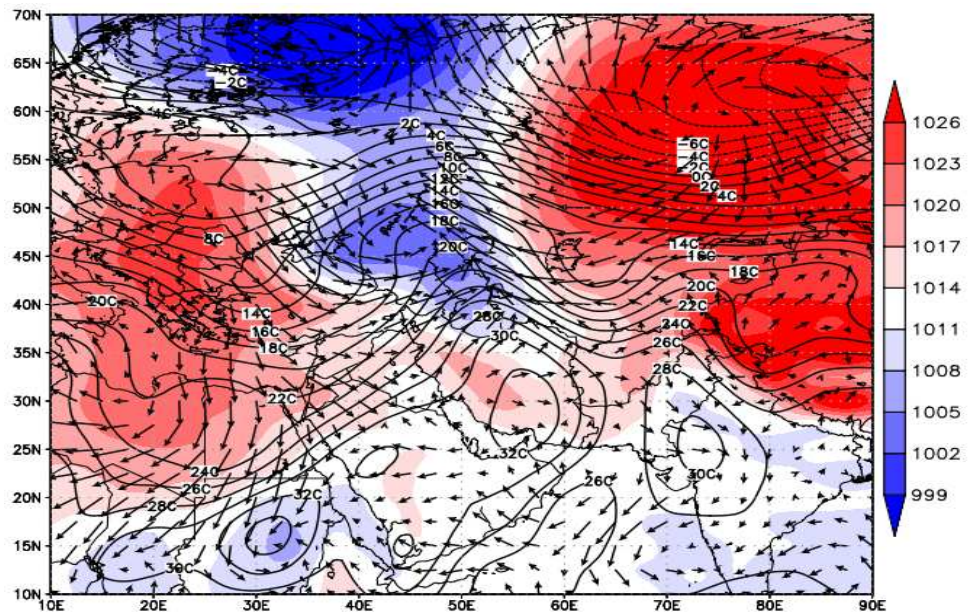
شکل ۲: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا، بردار باد و دما در روز ۲۴ مهر ۱۳۹۲



شکل ۳: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا، بردار باد و دما در روز ۲۵ مهر ۱۳۹۲



شکل ۴: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا، بردار باد و دما در روز ۲۶ مهر ۱۳۹۲



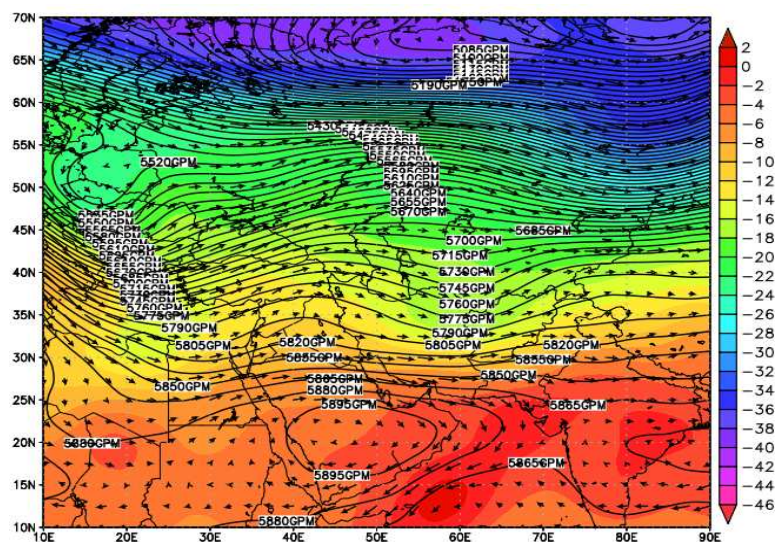
شکل ۵: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا، بردار باد و دما در روز ۲۷ مهر ۱۳۹۲

#### وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل

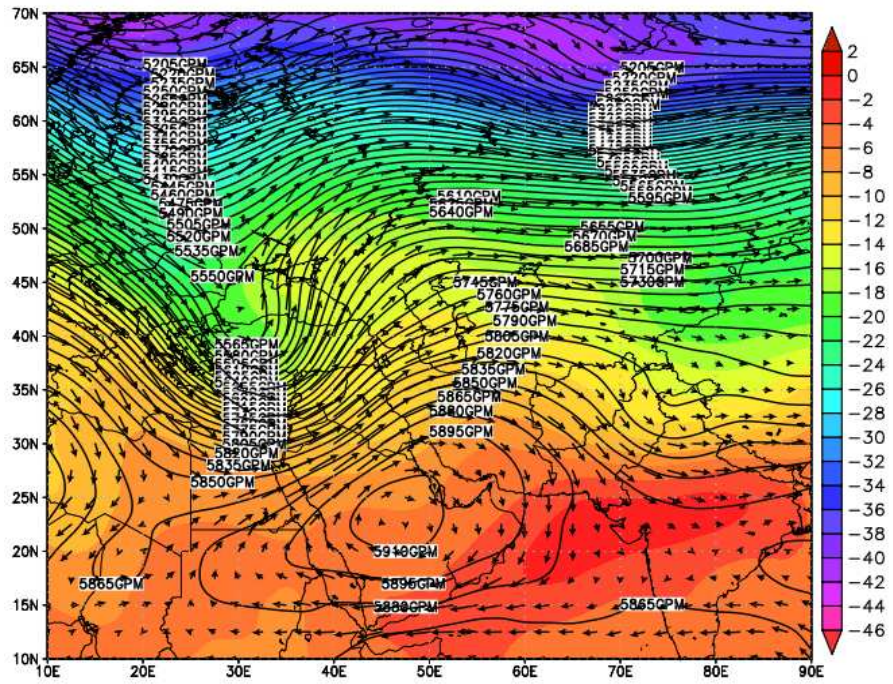
به منظور تحلیل سطوح میانی جو، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان نماینده شرایط جوی در سطوح بالای اتمسفر بررسی شده است. اشکال ۶ تا ۹، نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل، بردار باد و دما در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو از روز ۲۴ تا ۲۷ مهر ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد. در روز ۲۴ مهر ماه ۱۳۹۲، اولین پدیده ای که جلب توجه می‌کند شکل‌گیری بلوکینگ بریده کم فشار بر روی اروپای مرکزی و شکل‌گیری ناوه حاصل از آن تا دریای مدیترانه است. در این روز بر روی منطقه مورد مطالعه پشته کم ارتفاعی حاکم است. در روز ۲۵ مهر ماه بلوکینگ بریده کم فشار کاملاً شکل گرفته و ناوه موجود عمیق‌تر گشته است. به‌طوریکه ناوه شکل گرفته تا شمال شرق افریقا را هم تحت‌تأثیر خود قرار داده است. در این روز منطقه مورد مطالعه در شرق سوی ناوه که محل چرخندگی مثبت بادهای غربی می‌باشد قرار گرفته است. با نگاهی به جریان باد شکل گرفته در این روز مشاهده می‌گردد که جریان هوا بعد از عبور از روی شمال شرق افریقا، عربستان، سوریه و عراق وارد منطقه مورد مطالعه گشته است. در روز ۲۶ مهر ماه بلوکینگ شکل گرفته بر شدتش افزوده شده و ناپایدارتر گشته است. از طرفی این بلوکینگ

شکل گرفته به سمت شرق جابه جا شده و بر روی دریای مدیترانه و ترکیه مستقر شده است. فشردگی خطوط منحنی های میزان در این روز نشان از شدت ناپایداری و جریان شدید باد در این منطقه دارد. که با شدت یافتن جریان باد و از طرفی با انتخاب مسیر عبوری خود از روی مناطق کاملاً خشک و بیابانی (افریقا، عربستان، سوریه و عراق)، و به خود گرفتن خصوصیات آب و هوایی مناطق گذری خود که به دلیل خشک و بیابانی بودن حاوی مقادیر عظیمی از گردوغبار هستند به سمت منطقه مورد مطالعه حرکت کرده و روزهای گردوغباری را بر روی منطقه به دنبال داشته است.

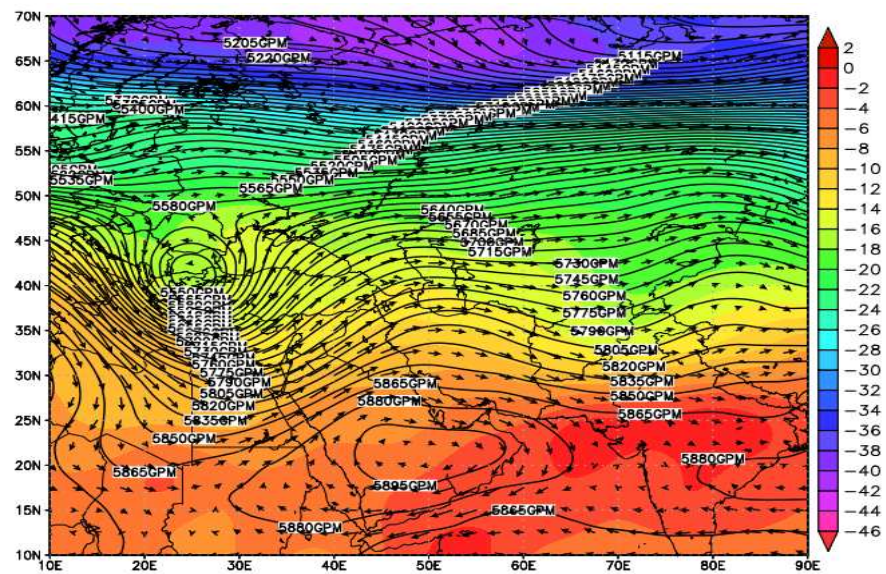
در روز ۲۷ مهر ماه محور ناوه شکل گرفته توسط بلوکینگ بریده کم فشار به سمت شرق جابه جا شده و بر روی شرق ترکیه، مدیترانه، سوریه تا شمال دریای سرخ کشیده شده است. با توجه به قرارگیری ایران و شمال غرب کشور در شرق ناوه که محل حداکثر حرکات صعودی و چرخندگی مثبت می‌باشد شرایط کاملاً ناپایداری بر جو منطقه مورد مطالعه حکمفرما بوده است. با توجه به عبور سامانه غربی از روی سرزمین‌های گرم و خشک و بیابانی و همچنین با توجه به سرعت شدید باد که بیش از ۳۰ متر بر ثانیه در این روز است گردوغبارها از مسیر عبوری توسط توده هوای مهاجم جذب و حمل شده و به دلیل سرعت شدید باد و حرکات پادساعتگرد و سیکلونیک وارد منطقه شده و روزی توام با گردوخاک را بر شمال غرب کشور مسلط کرده است.



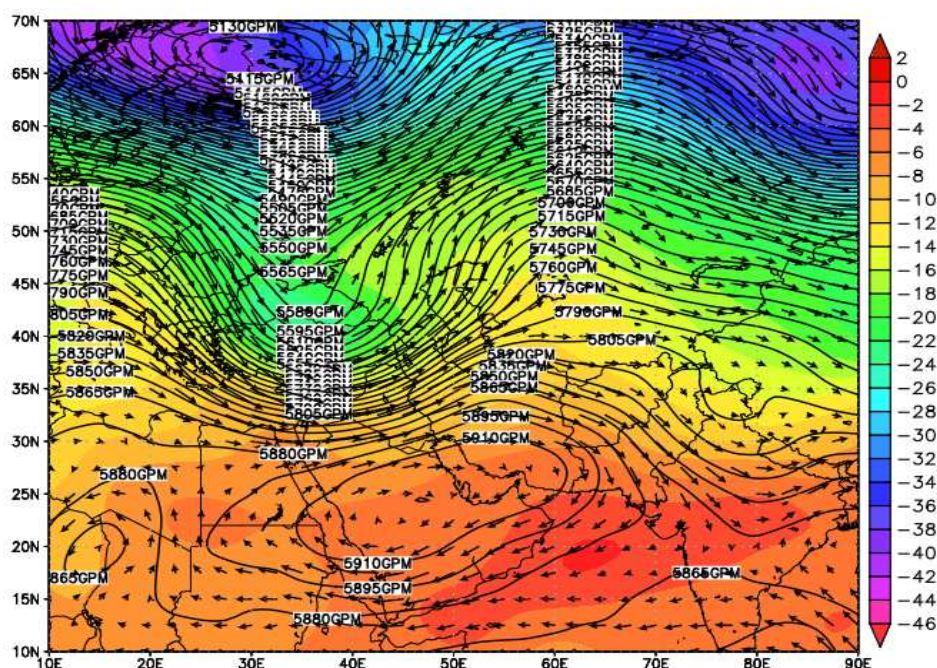
شکل ۶: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد در روز ۲۴ مهر ۱۳۹۲



شکل ۷: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد در روز ۲۵ مهر ۱۳۹۲



شکل ۸: ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد در روز ۲۶ مهر ۱۳۹۲

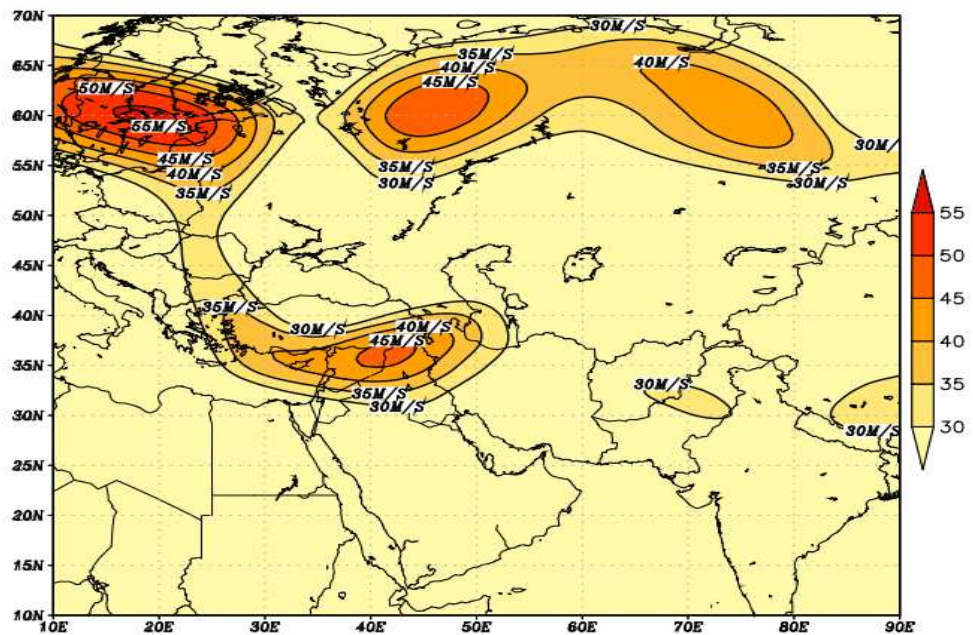


شکل ۹: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و بردار باد در روز ۲۷ مهر ۱۳۹۲

#### بررسی رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال

همچنان که در شکل شماره ۱۰ مشاهده می‌شود، در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال، هسته‌های سرعت باد فعالیت دارند. آرایش مکانی و تغییرات زمانی این هسته‌های سرعت در روزهای متوالی، ارتباط رودباد و امواج بادهای غربی در سطوح میانی جو را به خوبی نشان می‌دهند. در روز ۲۵ مهرماه، یک هسته سرعت باد بر روی شمال شبه‌جزیره عربستان و عراق شکل گرفته است. رودباد قوی‌تری بر روی اقیانوس اطلس و غرب اروپا قرار دارد که با حرکت شرق‌سوی خود در روز ۲۶ مهرماه، بر روی دریای مدیترانه کشیده شده است. سرعت باد در مرکز این رودباد به ۵۰ متر بر ثانیه رسیده است. رودباد واقع بر روی شمال شبه‌جزیره و عراق نیز وسیع‌تر شده و به سمت شمال بر روی عراق، سوریه و جنوب ترکیه گسترش یافته است. این شرایط منجر به تقویت جریانات افقی و عمودی اتمسفری در محدوده فعالیت رودباد می‌شود که در صورت فعالیت در مناطق مستعد تولید گردوغبار یا همان چشمه‌های گردوغبار، شرایط را برای انتقال آن در مسافت‌های طولانی مهیا می‌سازد. در روز ۲۷ مهرماه، رودباد شکل گرفته به سمت شرق

جابه جا شده و بر روی شمال غرب کشور قرار گرفته است. با توجه به خصوصیات رودبادهای که در ربع اول و چهارم آن ها حرکات صعودی و واگرایانه مشاهده می گردد و در دو ربع دیگر جریان چرخندگی کاملاً برعکس می باشد؛ از این رو به دلیل قرار گرفتن این رودباد بر روی سرزمین های گرم و خشک عراق و سوریه همچنین به علت واقع شدن ربع اول رودباد بر روی این مناطق که جریانات سیکلونی و صعودی در آن حاکم می باشد منجر به صعود هوای زیرین که به دلیل خشک و بیابانی بودن مسلمانا حاوی مقدار عظیمی گردو خاک خواهند بود شده و در نهایت با حرکت شرق سوی خود با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه و بیشتر وارد منطقه شمال غرب کشور گشته و بر شدت پدیده گردوغبار در این منطقه افزوده است.

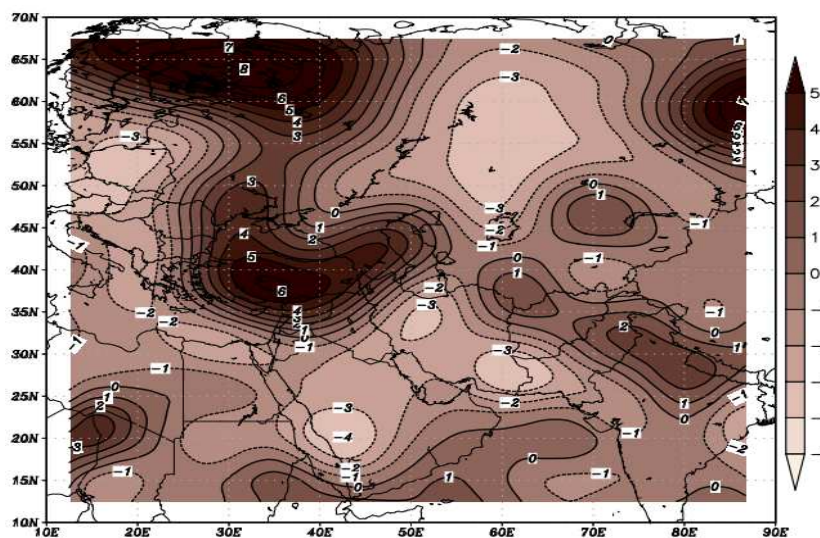


شکل ۱۰: نقشه فعالیت رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۷ مهر (مقادیر همچند بر حسب متر بر ثانیه)

### بررسی وضعیت چرخندگی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

تاوایی یا چرخندگی، دوران هوا یا باد به حول محوری مرکزی است که موجب تولید نیرویی در امتداد محور دوران می شود. این نیرو، نیروی تاوایی نامیده می شود (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹، ۱۵۹). در واقع، تاوایی کمیتی برداری است که نماینده تاو (ضرب چلیپایی) بردار سرعت است.

ما با قطعات بزرگی از شارهای دوآر سر و کار داریم که در صفحه افقی می‌چرخند و چرخندهای عرض‌های میانه، توفندها و تندبادها از این دست هستند (مسعودیان، ۱۳۸۸: ۱۶۱). شرایط همگرایی و واگرایی در سطوح بالای اتمسفر در ارتباط با حرکات عمودی اتمسفر و تأثیر آن در انتقال ذرات گرد و غبار اهمیت دارد. مکان‌گزینی چرخندگی مثبت (منفی) در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال همزمان با رخداد توفان گرد و خاک در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در طی این سه روز، منطقه شمال‌غرب ایران در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال عمدتاً زیر نفوذ چرخندگی منفی بوده است اما فعالیت چرخندگی مثبت سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال که در ارتباط با موج بادهای غربی است به تدریج از روی دریای مدیترانه به سمت عرض‌های پایین‌تر در شمال آفریقا و منطقه خاورمیانه جابجا شده است. در روزهای ۲۵ و ۲۶ مهر ماه، منطقه وزش چرخندگی منفی روی شرق شبه‌جزیره عربستان گسترش قابل توجهی در نیمه غربی ایران به سمت عرض‌های بالا داشته است که در نهایت با منطقه وزش چرخندگی منفی واقع در شمال دریای خزر متصل شده است. در روز ۲۷ مهر ماه، منطقه وزش چرخندگی مثبت در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال که مرکزی از آن بر روی دریای مدیترانه قرار دارد به سمت شرق کشیده شده و آرایش مکانی آن مشابه با هسته سرعت رودباد سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال است. این شرایط ارتباط قوی عمودی بین سطوح مختلف جو را نشان می‌دهد.

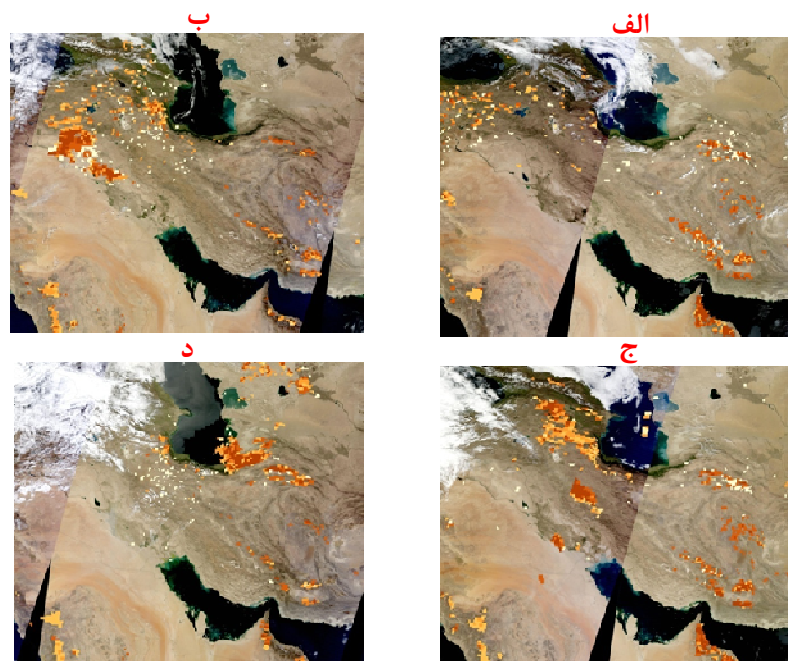


شکل ۱۱: نقشه چرخندگی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۷ مهر ۱۳۹۲



## یافته‌های سنجش از دور

به منظور آشکارسازی رخداد گردوغبار در منطقه مورد مطالعه طی روزهای ۲۴ تا ۲۷ مهرماه، تصاویر ماهواره‌ی مودیس از سایت مربوطه اخذ گردید. این تصاویر به ترتیب زمانی، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. پدیده‌ی گرد و غبار در منطقه با درجه‌بندی از کمترین مقدار با رنگ سفید تا بیشترین مقادیر به رنگ قهوه‌ای در تصاویر مشخص شده است. طی دوره مورد بررسی در ۲۴ مهرماه منشأ گرد و غبار منطقه بین کشور عراق و سوریه است. آشکارسازی هسته گرد و غبار در روزهای متوالی نشان می‌دهد که هسته گرد و غبار با جهت جنوب غربی به سمت شمال غرب ایران جابجا شده است. در روز ۲۴ مهرماه هسته کوچکی از گرد و غبار در مرز عراق و سوریه مشاهده می‌شود که در روز بعد با گسترده‌گی مکانی و شدت بیشتر در نزدیکی مرز ایران قرار گرفته است. در روز ۲۶ مهرماه، فعالیت گرد و غبار به صورت دو هسته مجزا وارد کشور شده است که هرکدام، مناطق غرب و شمال غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. مسیر حرکت گرد و غبار بر روی تصاویر، تأثیر جریانات جوی به ویژه انطباق آن با بردار باد در نقشه‌های همدید را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: تصاویر ماهواره مودیس از تغییرات مکانی گرد و غبار در روزهای ۲۴ تا ۲۷ مهر (شکل الف تا د)

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، منشأ و مسیر ورود گرد و غبار به منطقه شمال‌غرب ایران و شرایط سینوپتیک منجر به توفان گرد و خاک در خلال یک رخداد توفان گرد و خاک مورد شناسایی قرار گرفته است. در این مورد مطالعاتی، تأثیر جریانات سطوح میانی جو در این رخداد به خوبی نمایان شد. انطباق محل فعالیت موج‌های بادهای غربی با مناطق مستعد تولید گرد و خاک در خاورمیانه می‌تواند به جای تأمین رطوبت و بارش برای ایران و منطقه شمال‌غرب کشور، سبب رخداد گردوغبار در این مناطق شود. شیو فشار زیاد بین مراکز کم‌فشار و پرفشار سبب وزش بادهای شدید در منطقه می‌شود که در تشدید وقوع گرد و غبار اثر مثبت دارد و چه بسا همانند رخداد مورد بررسی، منجر به توفان گردوخاک در منطقه شود. فعالیت رودباد در سطوح بالایی اتمسفر و ارتباط آن با سطوح پایین سبب تداوم شرایط موجود و همچنین تقویت آن و کنترل مسیر فعالیت جریانات جوی شده است. بررسی تصاویر سنجش از دور مربوط به فعالیت گردوغبار در منطقه نشان می‌دهد که تشکیل و انتقال گردوغبار تحت تأثیر جریانات جوی و متأثر از الگوی فشار در منطقه است. منابع گردوغباری که منطقه شمال‌غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد عمدتاً از مناطقی در مرز سوریه و عراق تشکیل می‌شوند و در مسیر حرکت خود به سمت شمال‌شرق بر وسعت و شدت آن افزوده می‌شود.

**کتابشناسی**

۱. ای مارتین، جاناتان (۲۰۰۶)، دینامیک جو در عرض میانه، ترجمه سیدابوالفضل مسعودیان، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات سمت و دانشگاه اصفهان؛
۲. خسروی، محمود (۱۳۸۹)، "بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مورد: سیستان ایران، ۲۰۱۰"، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ایران؛
۳. خسروی، محمود؛ کاوسی، تقی؛ رئیس پور، کوهزاد (۱۳۸۹)، "تحلیل همدید سامانه های گرد و غباری در استان خوزستان"، مجله جغرافیا و توسعه، سال هشتم، شماره ۲۰، صص ۹۷-۱۱۸؛
۴. خوشحال دستجردی، جواد؛ موسوی، سیدحجت؛ کاشکی، عبدالرضا (۱۳۹۱)، "تحلیل همدید طوفانهای گرد و غبار ایلام (۲۰۰۵-۱۹۸۷)"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، جلد ۶، سال ۲۳ شماره ۴۶، صص ۳۴-۱۵؛
۵. ذوالفقاری، حسن؛ عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴)، "تحلیل سینوپتیک سیستم های گرد و غبار در غرب ایران"، مجله جغرافیا و توسعه، سال سوم، شماره ۶، صص ۱۷۳-۱۸۸؛
۶. ذوالفقاری، حسن؛ معصوم پور، جعفر سماکوش؛ شایگان مهر، شاپور؛ احمدی، محمد (۱۳۹۰)، "بررسی همدید توفانهای گردوغبار در مناطق غربی ایران طی سالهای (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸) مطالعه موردی موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، جلد ۴۳، سال ۲۲ شماره ۳، صص ۱۷-۳۴؛
۷. رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ صدیقه درویش زاده (۱۳۹۲)، "مطالعه الگوهای جوی و تعیین کانونهای گردوغبار مؤثر در شرایط بسیار ناسالم کیفیت هوای تهران"، پژوهشهای محیط زیست، سال ۴، شماره ۷، صص ۱۴۷ تا ۱۶۰؛
۸. عزیززی، قاسم؛ علی اکبر، شمس پور؛ مرتضی، میری؛ طاهر، صفرراد (۱۳۹۱)، "تحلیل آماری - همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران"، محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۳۴؛
۹. عزیززی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی، سیدامید (۱۳۹۱)، "ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران"، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره هفتم، صص ۶۳-۸۱؛

۱۰. علیجانی، بهلول؛ رئیس پور، کوهزاد (۱۳۹۰)، "تحلیل آماری، همدیدی طوفانهای گرد و خاک در جنوب شرق ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان)"، مجله مطالعات جغرافیای مناطق خشک، سال دوم، شماره ۵، صص ۱۰۷-۱۳۲؛
۱۱. قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹)، نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار گردس، چاپ اول، انتشارات سها دانش؛
۱۲. کرمی، خدیجه؛ طاهری شهرآیینی، حمید؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ حافظی مقدس، ناصر (۱۳۹۰) "شناسایی خاستگاه تولید توفان‌های گرد و غبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش از دور"، دوفصلنامه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال دوم، شماره هفتم و هشتم، صص ۵۷-۷۲؛
۱۳. لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۸۷)، "تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)"، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ش ۶۵، صص ۱۷-۳۳؛
۱۴. مهرشاهی، داریوش؛ نکونام، زری (۱۳۸۸)، "بررسی آماری پدیده گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزوار"، نشریه انجمن جغرافیای ایران، سال هفتم، شماره ۲۲، صص ۸۴-۱۰۴؛
15. Bursik, M.I., Kobs, S.E., Burns, A., Braitseva, O.A., Bazanova, L.I., Melekestsev, I.V., Kurbatov, Pieri, A., (2009), "Volcanic plumes and wind: Jetstream interaction examples and implications for air traffic", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, VOL.186, PP 60-67;
16. Dagsson, Pavla -Waldhauserova, Olafur Arnalds, Haraldur Olafsson, (2013), "Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949e2011)", *Atmospheric Environment*, VOL.77, PP 117-127;
17. Gong, S.L., Zhang, X.Y., Zhao, T.L., McKendry, I.G., Jaffe, D.A., Lu, N.M., (2003). "Characterization;
18. Hahnenberger, Maura, Kathleen Nicoll, (2012), "Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A.", *Atmospheric Environment*, VOL.60, PP 601- 612;
19. Han, Z., Ueda, H., Matsuda, K., Zhang, R., Arao, K., Kanai, Y., Hasome, H., (2004), "Model study on particle size segregation and deposition during Asian dust events in March 2002", *Journal of Geophysical Research* VOL.109, PP 1-22;
20. Indoitu, R., L. Orlovsky, N. Orlovsky, (2012), "Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations", *Journal of Arid Environments*, VOL.85, PP 62-70;
21. Levy, Robert C., Gregory G. Leptoukh, Ralph Kahn, Victor Zubko, Arun Gopalan, and Lorraine A. Remer, (2009), "A Critical Look at Deriving Monthly Aerosol Optical Depth From Satellite Data", *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, VOL. 47, NO. 8, PP 2942-2956;

22. Li, Jiawei, Zhiwei Han, Renjian Zhang, (2011), "Model study of atmospheric particulates during dust storm period in March 2010 over East Asia", *Atmospheric Environment*, VOL.45, PP 3954 -3964;
23. Liu, Chung-Ming, Zheng-An Qian, Ming-Chin Wu, (2004) , "A Composite Study of the Synoptic Differences between Major and Minor Dust Storm Springs over the China-Mongolia Areas", *TAO*, Vol. 15, No. 5, PP 999-1018;
24. Natsagdorj, L., D. Jugder, Y.S. Chung, (2003), "Analysis of dust storms observed in Mongolia during;
25. Nickovic, S., Dobricic, S., (1996), "A model for long-range transport of desert dust", *Mon. Wea. Rev.*, VOL.124, PP 2537-2544;
26. of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 2. Model simulation and validation", *Journal of Geophysical Research*, VOL.108, PP 4-1 4-19;
27. Tao, Minghui, Liangfu Chen, Zifeng Wang, Pengfei Ma, , Jinhua Tao, Songlin Jia, (2014), "A study of urban pollution and haze clouds over northern China during the dusty season based on satellite and surface observations", *Atmospheric Environment*, VOL.82, PP 183-192;
28. Xu, J., (2006), "Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification", *Catena*, VOL.65, PP 279-284; 29.1937-1999", *Atmospheric Environment*, VOL. 37, PP 1401-1411.