

## تحلیل الگوهای همدیدی و نقش گردش منطقه‌ای جو در تولید گردو غبار محلی و منطقه‌ای بر روی استان قزوین

تهمینه چهره آرا ضیابری<sup>۱</sup>، یوسف شیخ الملوکی<sup>۲</sup>، سمیه حاجی‌وند پایداری<sup>۳\*</sup>

۱- استادیار دانشگاه پیام نور، قزوین

۲- استادیار اداره کل هواشناسی استان قزوین

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران

### چکیده

طی سال‌های اخیر پدیده گردوغبار در پی رخداد دوره‌های خشک و افزایش متوسط دمای جهانی در سراسر دنیا رشد چشمگیری داشته است. از این رو مناطق واقع در کمربند خشک دنیا تاثیر بیشتری نسبت به سایر مناطق از این پدیده حدی داشته‌اند به همین منظور برای بررسی رخداد دوره‌های گردوغباری در استان قزوین از داده‌های ۵ ایستگاه واقع در منطقه طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ و برای بررسی گردش جو نیز از داده‌های ERA5 با توان تفکیک ۰.۱۲۵ درجه جغرافیایی و برای پایش و ردیابی گردوغبار از مدل HYSPLIT و مقادیر AOD سنجنده MODIS استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که دوره‌های گردوغباری شدید در استان معطوف به فصل گرم سال و به خصوص تابستان منطقه بوده و از سویی کمترین درصد رخداد این پدیده نیز در دوره زمستانه منطقه می‌باشد. بررسی گردش جو منطقه‌ای نیز نشان داد ۴ الگوی جوی بصورت منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای در رخداد گردوغبارهای شدید و فراگیر منطقه نقش دارند که می‌توان به ترتیب به پرارتفاع جنب حاره و گسترش پایین سوی ناوه قطبی اشاره نمود. مسیریابی ذرات نشان داد که کانون‌های واقع بر روی عراق کنترل‌کننده دوره‌های گردوغباری منطقه می‌باشند و از سویی گردوغبارهای محلی متأثر از کانون‌های داخلی کشور بوده که عمده آن بر روی استان خوزستان شکل می‌گیرند. وجود کانون‌های خارجی از جمله ترکمنستان نیز به عنوان عامل تشدیدکننده گردوغبارهای استان قزوین شناسایی شد. از نظر شدت گردوغبار و حجم انتقالی گردش پرارتفاع جنب حاره دارای بیشترین تاثیر بر روی منطقه بوده که بر اساس تحقیق حاضر می‌توان با استفاده از داده‌های با توان تفکیک بالا مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسبی را شاخصی مناسب برای پیش‌بینی این پدیده در دوره گرم سال در نظر گرفت.

کلید واژه‌ها: گردوغبار، الگوهای جوی، پرارتفاع جنب حاره، استان قزوین.

## مقدمه

پدیده ی گردوغبار یکی از مشکلات مهم محیط زیستی است که بسیاری از مناطق خشک جهان را تحت تأثیر قرار داده است؛ به طوری که حدود یک سوم مناطق جهان تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند (غلامی و همکاران، ۲۰۲۱). در همین راستا، ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه خشک، در معرض سیستم های جوی متعدد گردوغبار فرا منطقه ای و محلی است (پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۸). گردوغبار ناشی از مناطق خشک و نیمه خشک در سراسر جهان، ترکیب شیمیایی و ثبات اتمسفر، مقدار تابش زمین، فرآیندهای آب و هوایی و چرخه های زیستی و شیمیایی را مختل می کند (گودی و میدلتون، ۲۰۰۶؛ شائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ آنتوان و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از چشمه های اصلی طوفان گرد و غبار بیابان ها می باشند (داکری و استون، ۲۰۰۷). علاوه بر بیابان ها، مناطق گرم و زمین های کشاورزی متروک و بستر دریاچه های خشک از جمله مهم ترین چشمه های گردوغبار هستند (لی و همکاران، ۲۰۰۹ و ژیلت، ۱۹۹۹). در میان چشمه های فعال گرد و غبار خاورمیانه، می توان از حوضه های آبرفتی دجله و فرات در عراق، مناطقی از سوریه در غرب، شبه جزیره عربستان در جنوب و جنوب غرب، نواحی از ترکمنستان در شمال و ایران (دشت های لوت و کویر و هامون جازموریان) در شرق نام برد. با این اوصاف بیش از ۶۵ درصد خشکی های منطقه از پتانسیل بالایی در انتشار غبار برخوردار است (پروسپر و همکاران، ۲۰۰۳). شبیه سازی دقیق طوفان گرد و غبار می تواند ابزاری توانمند برای تشخیص مناطق چشمه ، مطالعه نحوه شکل گیری، انتشار، انتقال و همچنین نشست و رسوب ذرات غبار باشد (رضا زاده و همکاران، ۲۰۱۳). همجواری با کانون های گردوغباری که در سوریه و عراق قرار گرفته اند سبب معضلات محیط زیستی مخربی شده که این مسئله باعث بروز بیماری های تنفسی، تخریب زمین های کشاورزی و ایجاد آسیب جدی در زیرساخت های مناطق تحت تأثیر این طوفان ها میشود که علاوه بر خسارتهای مالی باعث بروز خسارات جانی نیز میشود (میدلتون، ۲۰۱۹). در سال های اخیر، وقوع پدیده گردوغبار در منطقه خاورمیانه در حال افزایش بوده و کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، به طور مداوم در معرض سیستم های گردوغبار محلی و سینوپتیک متعدد می باشد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳).

شناسایی برهمکنش جوی رخداد گردوغبار از مهمترین بخش های مطالعاتی در حوزه مخاطرات آب و هوایی می باشد که طی سال های اخیر بنا به رخداد دوره های خشک فراوان و تغییر در کاربری های اراضی در کانون های محتمل در داخل ایران و کشور های همجوار سبب شده تا مناطق مختلف از متاثر از این پدیده باشند. از عواملی که در ایجاد گرد و غبار نقش دارند می توان تغییرات شدید فشار هوا، نیروی شتاب عرضی (کوریولیس) ناشی از حرکت وضعی زمین ، تأثیر خط ناپایدار در صحرای کشورهای همسایه، فقر پوشش گیاهی منطقه، خشکسالی شدید ، وقوع جنگ، بافت و ترکیب خاک، کانالیزه کردن جریانات هوا در اثر توپوگرافی، الگو های سینوپتیکی وزش بادهای شدید و ناگهانی، فرسایش بادی شدید اشاره نمود. ترکیب پدیده تغییر اقلیم با فعالیت های انسانی و الگوهای سکونت آن ها موجب افزایش تخریب خاک، فرسایش بادی، بیابان زایی ، تخریب خواص خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان می گردد که ادامه این روند موجب از بین رفتن زیتوده و کربن آلی خاک شده و موجب تشدید طوفان های گرد و غبار می گردد (رضازاده و همکاران، ۲۰۱۳). از این سو هدف اصلی این پژوهش شناسایی برهمکنش جوی حاکم بر وقوع روزهای گردوغباری در استان قزوین بوده که در این راستا الگوهای جوی و مسیریابی این گردوغبار در منطقه انجام خواهد شد تا نحوه انتقال آن به منطقه شناسایی گردد. از طرفی مطالعات در داخل و خارج از کشور با رویکردهای مختلف به بررسی این برهمکنش پرداخته است. بروغنی و همکاران (۲۰۲۰) به شناسایی کانون های گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که مدل جنگل تصادفی با دقت ۹۱ درصد، بهترین کارایی را داشته است. غلامی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل های داده کاوی و مدل اقلیمی RegCM4 به پهنه بندی آسیب پذیری استان یزد به پدیده ی گردوغبار و تعیین میزان اهمیت معیارهای مرتبط انتخابی، پرداختند. نتایج حاصل نشان داد شاخص تفاضل نرمال شده ی پوشش گیاهی و ارتفاع به عنوان مهم ترین عوامل مؤثر شناسایی شدند. از تحقیقات اخیر که در زمینه گردوغبار در خارج از ایران صورت گرفته می توان به گاروفالید و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود. آنها به بررسی طوفان های گردوغبار صحرای شمال آفریقا پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که انتقال گردوغبار از این منطقه زندگی جوامع انسانی

ماشین پرداختند. نتایج نشان داد کاربری اراضی و خاک‌شناسی به عنوان مؤثرترین عوامل بر آسیب‌پذیری گردوغبار شناسایی شد.

هدف اصلی این پژوهش بررسی الگوهای همدیدی و نقش گردش منطقه‌ای جو در تولید گردوغبار محلی و منطقه‌ای بر روی استان قزوین بوده که طی سال‌های اخیر به دلیل افزایش این مخاطره در سطح کشور، استان قزوین نیز متأثر از هجوم گردوغبارهای داخلی و خارجی بوده و سعی شده در این تحقیق ابعاد مختلف گردوغبارهای منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای با استفاده از روش‌ها و داده‌های با توان تفکیک بالا مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

جهت تحلیل همدید روزهای گرد و غبار استان قزوین، از دو پایگاه داده‌های محیطی و گردشی استفاده شد. بدین صورت که ابتدا با توجه به داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های سطح زمین، تعداد روزهای گرد و غبار تعیین و سپس الگوهای گردشی موجد آنها شناسایی شد. تشکیل پایگاه داده‌های محیطی بدین طریق انجام شد که تعداد روزهای گرد و غبار استان در بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱) برای ۵ ایستگاه همدید با استفاده از کد پدیده‌های هوای حاضر (WW) سازمان هواشناسی کشور (کدهای ۶ و ۳۰ تا ۳۵ که مربوط به روزهای گرد و غبار است) در نرم‌افزار مت‌لب تعیین گردید. پایگاه گردشی شامل داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد است که جهت تعیین الگوی گردشی روزهای گرد و غباری از آنها استفاده شد. دوره آماری پایگاه گردشی مطابق با پایگاه داده‌های محیطی بوده و استخراج داده‌ها از طریق برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار (GrADS) صورت گرفت. قلمرو جغرافیایی داده‌های گردشی ۰ تا ۶۰ درجه عرض جغرافیایی و ۱۰ تا ۹۰ درجه طول جغرافیایی است. داده‌های جو بالا از پایگاه داده پیش‌بینی میان‌مدت اروپا (ECMWF) از سری داده‌های ERA5 با توان تفکیک ۰.۲۵ درجه جغرافیایی اخذ گردید.

برای استخراج الگوهای بوجود آورنده گردوغبار از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی عوامل و دسته‌بندی الگوهای جوی بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال صورت گرفت. در نهایت برای هر الگو

مخصوصاً در بخش‌های کشاورزی را متأثر ساخته است. تان و همکاران (۲۰۲۲) طی یک بررسی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ به بررسی خصوصیات گردوغبارهای آسیای شرقی پرداختند. نتایج نشان داد که خصوصیات گردوغبار شکل‌گرفته طی دوره مطالعاتی متأثر از گردش عمومی جو در غالب تغییرات آب و هوایی قرار گرفته است.

در ایران نیز می‌توان به مطالعات نامداری و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد. ایشان به تحلیل تغییرات کانونهای گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد علی‌رغم وضعیت اقلیمی نسبتاً یکسان، روند تغییرات در این کانونها از الگوی مشابهی تبعیت نمی‌کند و روند تغییرات غبارخیزی در کانونهای داخلی کشور تحت تأثیر عوامل پیچیده انسانی و غیر انسانی متغیر می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق این امکان فراهم میگردد اطلاعات نسبتاً جامعی از روند تغییرات کانونهای داخلی فراهم آید و وضعیت غبارخیزی کانونها در آینده قابل پیشبینی گردد.

لطفی‌نسب و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه و تحلیل بادهای توأم با گردوغبار و فرساینده در استان کرمان با هدف ارائه تقویم پیشبینی و مدیریت کنترل گردوغبار پرداختند. نتایج نشان داد منشأ احتمالی گردوغبار فرامحلی همراه با بادهای با سرعت شش متر بر ثانیه و بیشتر در داخل استان و فرامحلی کمتر از شش متر بر ثانیه در خارج از استان (محل برداشت) شناسایی شد.

باقرآبادی و معین‌آبادی (۱۴۰۰) به منشأیابی جهتی طوفانهای گرد و غبار شهر کرج پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که جهت عمده ورود گرد و غبار به شهر کرج از جهت‌های شمال غرب غربی، شمال غرب و غرب است و کشورهای عراق، سوریه و عربستان مبداهای اصلی تشکیل گرد و غبار ورودی به شهر کرج هستند.

سلیمانی‌ساردو و همکاران (۱۴۰۰) گسیل و انتقال ذرات گردوغبار در منطقه جازموریان را مورد بررسی قرار دادند. گردید نتایج نشان داد که گسیل گرد و غبار حوزه جازموریان تحت تأثیر جریانات غربی به سمت مرز پاکستان و استانهای سیستان و بلوچستان حرکت میکند و تالاب جازموریان به عنوان مهمترین کانون گرد و غبار در حوزه مورد مطالعه شناسایی شد.

بروغنی و همکاران (۱۴۰۱) به پهنه بندی آسیب‌پذیری گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های یادگیری

تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (استاندر، ۱۹۹۷).

در نهایت از مقادیر AOD سنجنده مودیس جهت شناسایی کانون‌ها و حجم ریزگرد انتقالی در منطقه با استفاده از شاخص مدنظر استفاده شد.

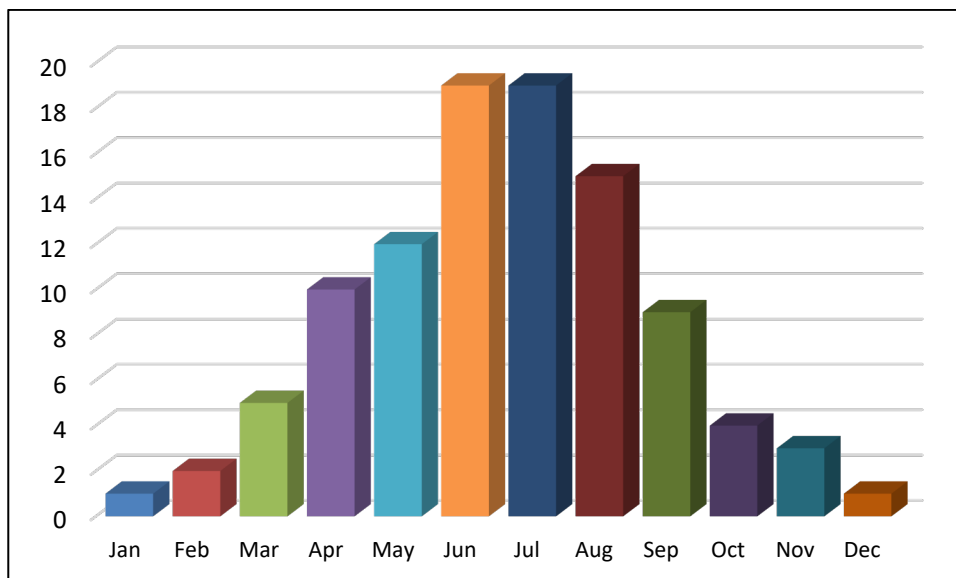
### بحث و نتایج

نتایج حاصل بررسی وضعیت گردوغبار در ۵ ایستگاه همدید در سطح استان نشان داد که بیشینه درصد رخداد گردوغبار در استان در ماه‌های جون و جولای بوده که بیش از ۳۶ درصد رخداد روزهای توام با گردوغبار در در استان مربوط به این دو ماه می‌باشد. پس از آن جولای با نزدیک به ۱۵ درصد از کل گردوغبارهای استان را به خود اختصاص داده است. کمترین مقدار درصد رخداد روزهای توام با گردوغبار در دوره زمستانه منطقه و در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه بوده که کمتر از ۲ درصد می‌باشد (شکل ۱).

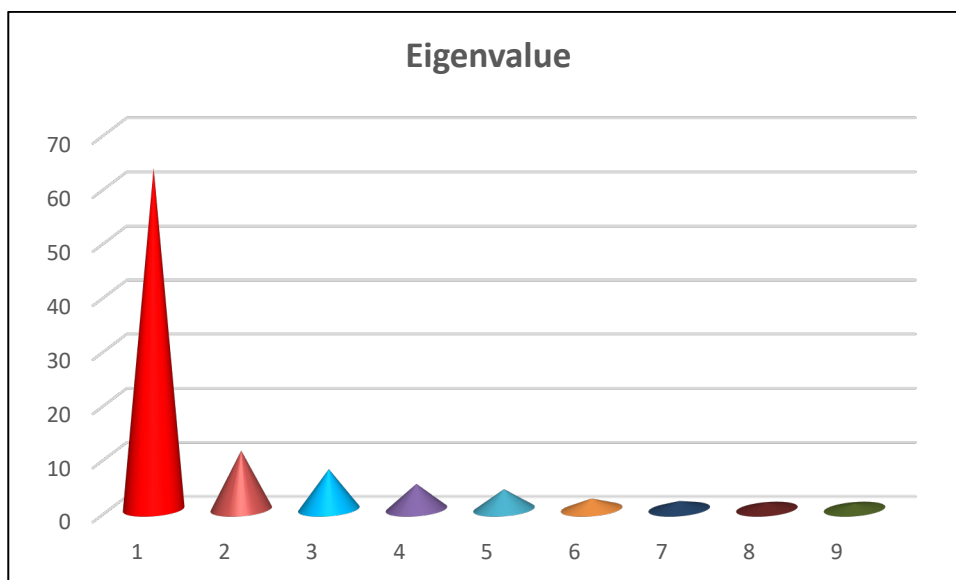
پس از بررسی‌های به عمل آمده بر روی داده‌های ایستگاهی، اقدام به شناسایی دوره‌های گردوغبار فراگیر در منطقه شد. بررسی‌ها نشان داد که طی بازه آماری ۵۶ دوره گردوغباری فراگیر در سطح استان به وقوع پیوسته است که در همه ایستگاه‌های همدید واقع در منطقه گزارش گردوغبار ثبت شده است. در ادامه برای بررسی گردش جو و شناسایی الگوهای جوی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره‌های گردوغباری استخراج و اقدام به تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای شد. نتایج نشان داد که ۹ عامل گردش جو سبب رخداد این پدیده در منطقه شده که عامل اول به تنهایی ۶۰ درصد از مقدار واریانس کل و از طرفی مجموع ۹ عامل ۹۵.۵ درصد از واریانس کل را تبیین می‌نماید (شکل ۲). بر اساس شکل ۳ مشاهده شد که رخداد گردوغبارهای فراگیر در سطح استان در ۴ دسته الگوی جوی قرار می‌گیرند. به گونه‌ای که ۴ الگوی متفاوت جوی در دوره‌های مختلف سال با استقرار در منطقه سبب وقوع گردوغبار در سطح استان شده که در ادامه برای بررسی هر یک از الگوها نقشه‌های همدید تهیه شده است.

نقشه‌های ترکیبی از ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی، گردش تراز زیرین جو و تاوایی تهیه شد.

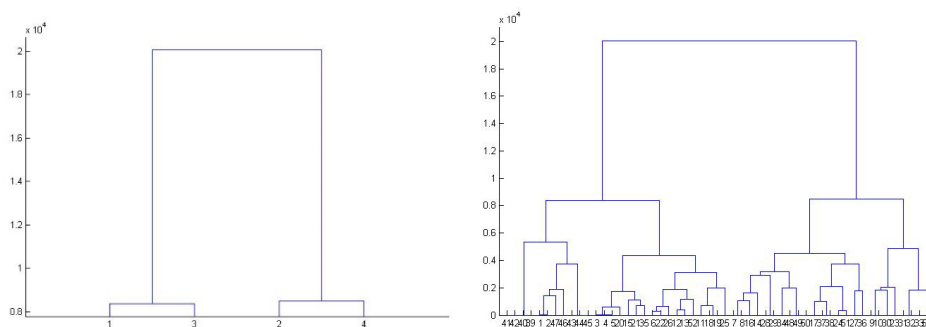
جهت تعیین منابع اصلی گردوغبار برای توفان گردوغبار موردمطالعه از مدل لاگرائزینی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد (دراکسلر و رالف، ۲۰۱۱). در هواشناسی دینامیک و به‌طریق اولی در مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی در مطالعه سیالات وجود دارد: رهیافت اویلری و رهیافت لاگرائزی (لاگرائزینی). در چارچوب لاگرائزی بسته‌ها به‌مثابه یک حباب فرضی است که آن را در هنگام حرکت در اتمسفر دنبال می‌کنیم (فلاح قاهری، ۱۳۹۳). مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه برای محاسبات حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی تهنشینی آن با استفاده از رویکردهای پف و ذرات است (دراکسلر و هس، ۱۹۹۸؛ دراکسلر و همکاران، ۲۰۰۹). از آنجایی رهیافت لاگرائزینی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرائزینی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرائزی 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 قزوین، الگوهای ردیابی از ۲۴ ساعت قبل از وقوع گرد و غبار در نظر گرفته شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) درواقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده‌ها با قدرت تفکیک  $1 \times 1$  درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰ - ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند. داده‌های تحلیل‌شده عملیاتی با مقیاس نهایی انسپ، یا به‌طور مختصر FNL (Final) از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی (GDAS) 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) و سایر منابع به‌صورت بی‌وقفه و پیوسته بر عهده دارد. درنهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای



شکل ۱: رنگ‌های اختصاص یافته به هر شاخص در دونات آلتتریک



شکل ۲: مقادیر درصد عامل‌ها حاصل از تحلیل خوشه‌ای



شکل ۳: نمودار غربالی حاصل از تحلیل خوشه‌ای

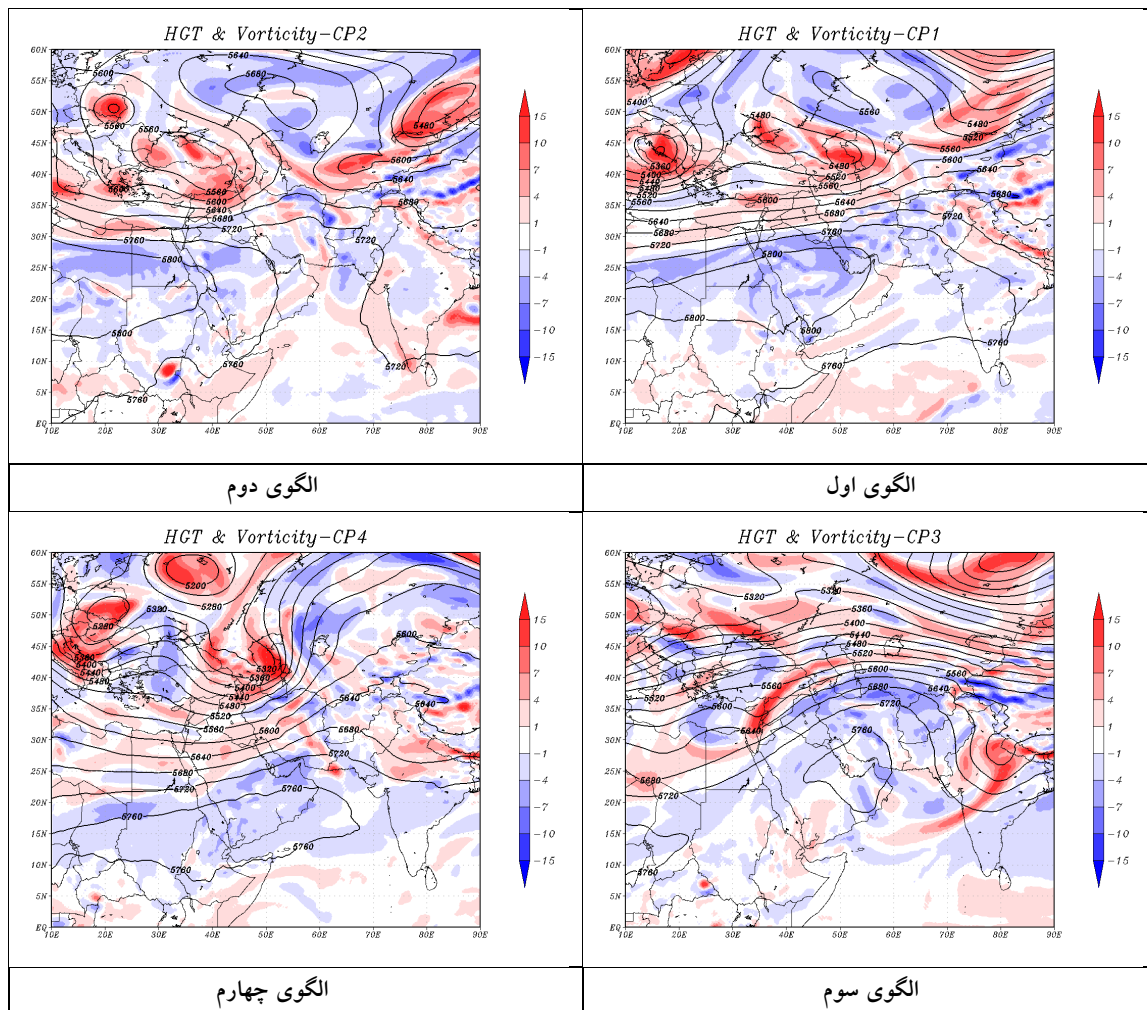
استقرار این الگو جریانی جنوب غربی برای منطقه مورد مطالعه شکل گرفته و موجبات انتقال ذرات را به منطقه فراهم ساخته است (شکل ۴).

جریان و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال:

سرعت و جریان باد برای الگوی نخست در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان داد که جریان غربی از شرق مدیترانه شروع شده و با وارد شدن به داخل مرزهای ایران به شدت به سرعت آن افزوده شده است. این افزایش سرعت که به بیش از ۱۶ متر بر ثانیه می رسد سبب تولید توفان های گردوغبار و گسترش مداری آن شده است. چراکه با عبور از مناطق منبع همچون سوریه و عراق که در آنها سرعت باد بیش از ۹ الی ۱۰ متر بر ثانیه بوده شرایط برای برداشت گردوغبار فراهم شده است. در الگوی دوم جریان همگرایی بر روی منطقه بوجود آمده است. بدین صورت که جریان شمالی بسیار قوی بر روی ترکمنستان و قزاقستان شکل گرفته و شاخه از آن وارد نیمه شمالی کشور شده است. از طرفی هسته بیشینه سرعت باد بر روی سوریه و شمال شبه جزیره عربستان که دارای جریان زمینه غربی بوده با سرعتی بیش از ۱۵ متر بر ثانیه تشکیل شده است. در الگوی سوم با تشکیل جریان واچرخندی بر روی شرق عربستان جریان جنوبی از قطاع غربی این پرفشار به عرض های بالاتر حرکت کرده که بر روی مناطق جنوبی عراق با جریان شکل گرفته در شرق مدیترانه همگرا شده و با افزایش سرعت باد نزدیک به ۹ متر بر ثانیه وارد ایران شده که پس از ورود به ایران جریان به تغییر جهت داده و دارای جهتی غربی شده است. در الگوی چهارم به دلیل تشکیل چرخند بر روی دریای خزر و واچرخند بر روی مناطق شمال غربی دریای عرب گردش عمومی تراز زیرین از این دو سیستم متاثر شده است. بطوریکه سبب شده اند تا جریانات از روی دریای مدیترانه به سمت ایران سرازیر شود. از سویی در دل این گردش مقیاس منطقه ای هسته واچرخند دیگری بصورت محدود بر روی شمال عربستان نیز شکل گرفته که سبب افزایش سرعت باد بر روی عراق شده است. با افزایش سرعت باد بر روی مناطق مرزی غرب ایران و تقویت آن در داخل کشور شرایط برای انتقال گردوغبار فراهم شده است (شکل ۵).

تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال:

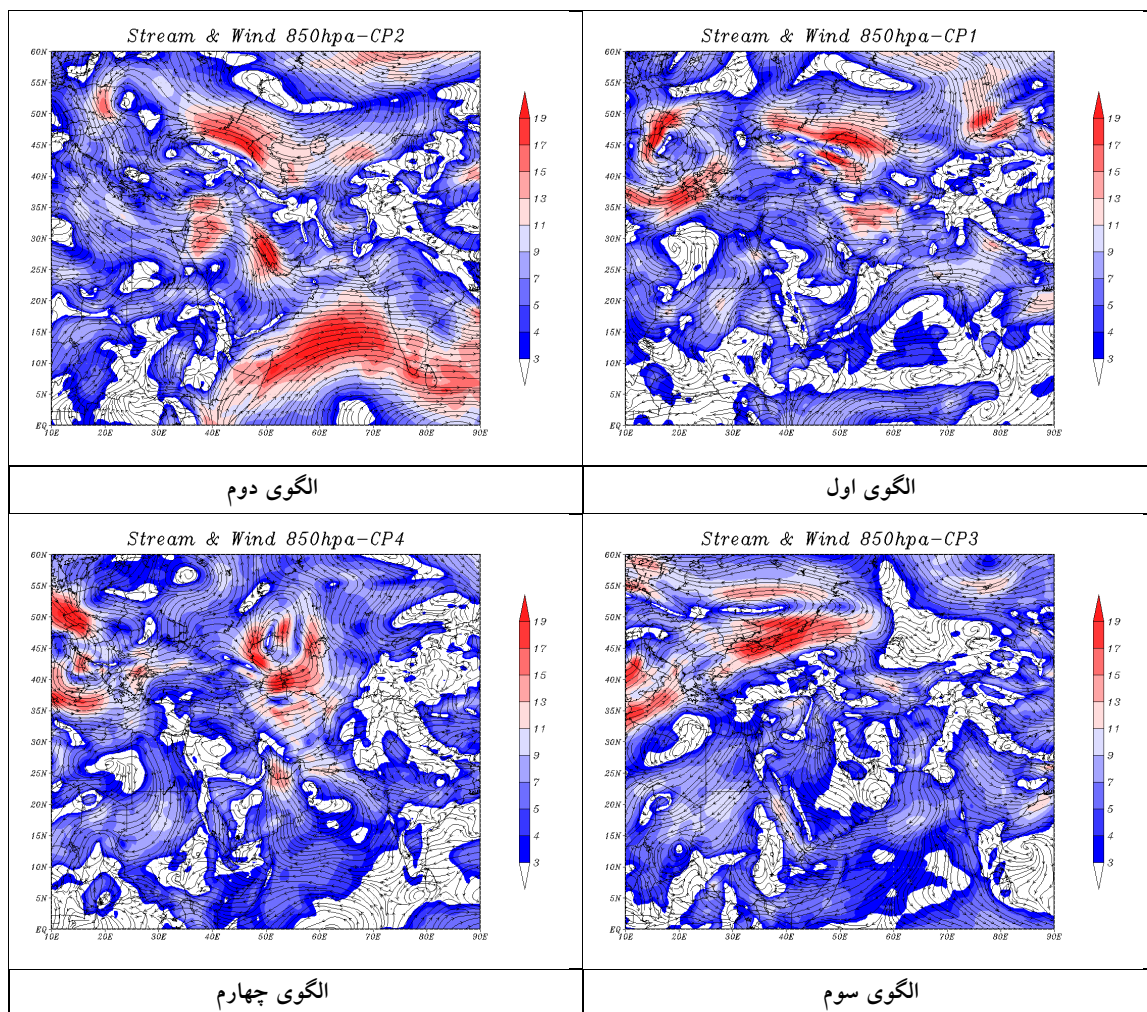
در بررسی گردش جو در تراز میانی وردسپهر برای الگوی نخست مشاهده شد که وقوع ناوه مورب همراه با سردچال با ارتفاع ۵۴۸۰ ژئوپتانسیل متر سبب شده تا دو هسته بیشینه تاوایی نسبی مثبت بر روی غرب دریای خزر تشکیل گردد. از طرفی بین سردچال مذکور و سردچال واقع در شمال غرب دریای مدیترانه گردش جو یک مسیر جنوب غرب به شمال شرق را شکل داده که حاصل آن افزایش مقادیر تاوایی نسبی بر روی سوریه و عراق بوده است. وجود سیستم مانع در شرق دریای خزر نیز سبب شده تا با ماندگاری بالای ناوه همراه با سردچال در منطقه گرادیان ارتفاع ژئوپتانسیل به بیشترین مقدار خود در دوره مورد نظر برسد. در الگوی دوم که از نظر گردش جو و سیستم های تشکیل دهنده شباهت بیشتری به الگوی نخست داشته مشاهده می شود با این تفاوت که سیستم بندالی واقع بر روی بر روی روسیه مانع از گسترش شرق سوی موج ناپایدار در منطقه شده و با فرارفت جریانات شمالی در محدوده بین ۱۰ تا ۴۰ درجه شرقی و ۳۵ تا ۵۵ درجه شمالی سردچال بسیار قوی با تاوایی نسبی مثبت بالا همراه شود. قرارگیری بیشینه تاوایی نسبی این سامانه بر روی نواحی شمالی عراق و جنوب ترکیه سبب شده تا جوی ناپایدار همراه با وزش باد بر روی نواحی یاد شده همراه گردد از این رو این الگو سبب شده تا بطور همزمان در منطقه جریاناتی جنوبی و شمالی شکل گیرد. ماهیت ساختاری گردش جو در الگوی سوم حاکی از آن بود که تشکیل پراارتفاع جنب حاره ای بر روی قسمت هایی از جنوب ایران و شمال شبه جزیره عربستان جوی نزولی با افزایش تاوایی منفی را در پی داشته و همین امر سبب شده تا رگه ای از تاوایی مثبت بر روی سوریه شکل گرفته و بر روی عراق و عمده قسمت های ایران نزول شدید هوا به دلیل حضور پراارتفاع مذکور که با ارتفاعی معادل ۵۷۶۰ ژئوپتانسیل بوده را به همراه داشته باشد. الگوی چهارم ماهیتی فرامنطقه ای داشته به گونه ای که با گسترش جریانات شمالگان و توسعه جنوب سوی تاوه قطبی که تا شمال غرب ایران را متاثر ساخته، سبب شکل گیری موج گسترده و نسبتا عمیقی بر روی خاورمیانه شود که نتیجه آن افزایش تاوایی نسبی مثبت و افزایش جریانات بالاسو بر روی قسمت های عمده ای از عراق، سوریه، اردن و شمال عربستان باشد.



شکل ۴. نقشه‌های ترکیبی تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر الگوی مولد گردوغبار

از مناطق بیابانی ترکمنستان و جریان غربی عبوری از روی عراق مشخص شد که دو کانون در رخداد گردوغبارهای منطقه تاثیرگذار می‌باشند. در الگوی سوم مناطق مرزی شرق عراق با ایران سرچشمه گردوغبار بوده و یک جریان پادساعتگرد خیزش گردوغبار در منطقه به وقوع پیوسته و با جریانات جنوبی وارد استان قزوین شده است. الگوی چهارم نیز کانون‌های داخلی گردوغبار را نشان می‌دهد. در این الگو عمده سرچشمه گردوغبار در داخل کشور و در استان خوزستان و مرزهای مشترک این استان با کشور عراق و کویت شناسایی شد که با جریان باد زمینه جنوبی این ذرات به منطقه شارش یافته است (شکل ۶).

ردیابی ذرات با استفاده از مدل HYSPLIT: برای ردیابی ذرات از بخش ماتریکس مدل ردیابی استفاده شد. هدف از انجام این کار مسیریابی ذرات هوا برای تمامی بخش‌های استان در هر الگو بوده که منشا گردوغبارهای فراگیر در سطح استان را شناسایی کند. سطح انتخابی برای ردیابی ۵۰۰ متر از سطح زمین در نظر گرفته شد. بررسی‌های نشان داد در الگوی نخست وجود جریان همگرا بر روی عراق از ۲۴ الی ۴۸ ساعت قبل با جریانی جنوب غربی وارد استان قزوین شده است. در الگوی دوم عمده مسیر جریانات شمال شرقی بوده و از شمال دریاچه آرال نشأت گرفته است. در عین حال جریانی از روی مناطق شمالی عراق نیز وارد استان قزوین شده است. با تشکیل این الگوی ضمن عبور جریانات شمال شرقی

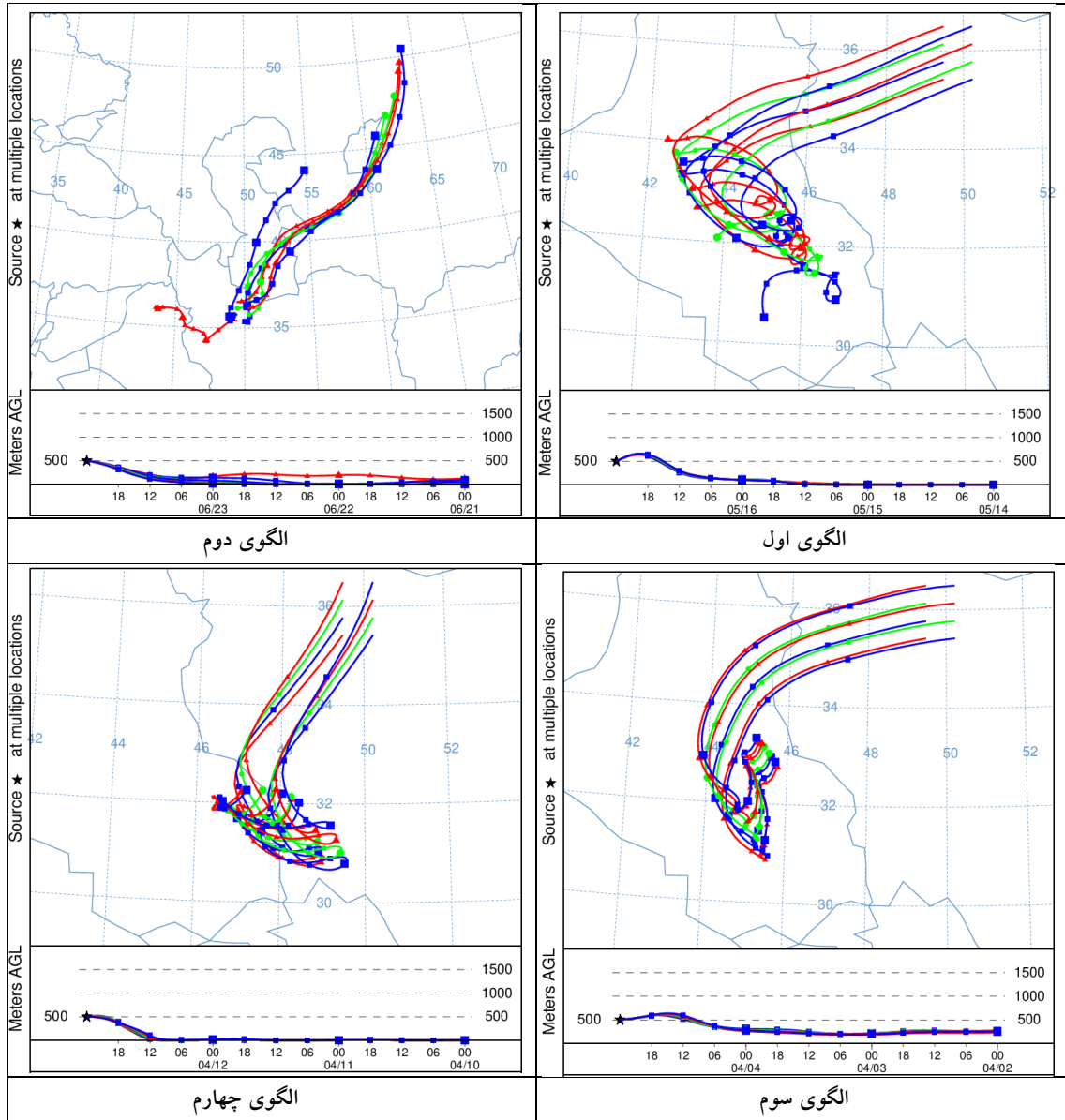


شکل ۵. نقشه های ترکیبی جریان و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای هر الگوی مولد گردو غبار

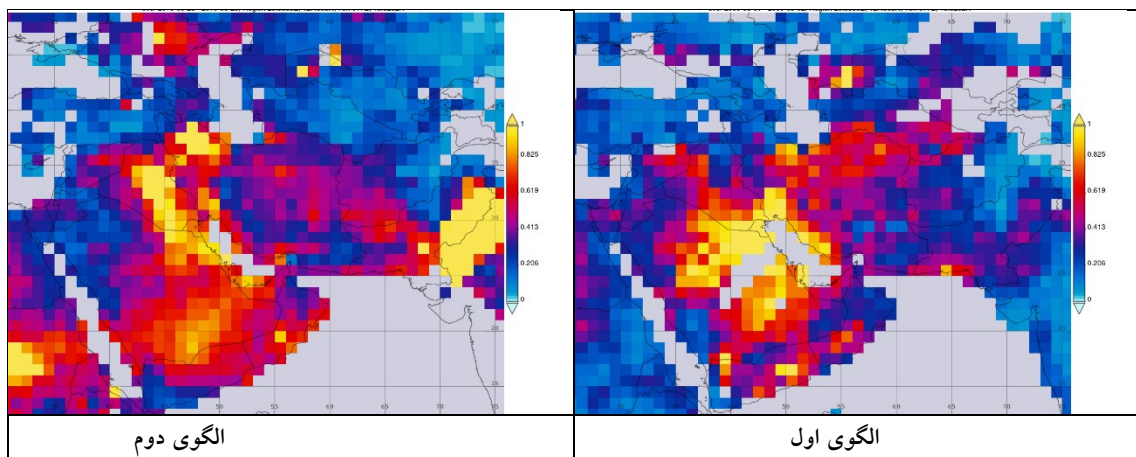
بوده اند به استان قزوین نیز با تشکیل هسته همگرا بر روی استان، با حاکمیت باد شمالی منتقل شده است. در الگوی سوم که شدیدترین الگو از نظر حجم انتقالی است مشاهده می شود که عمده گردو غبار از روی عراق و پس از آن مناطق شرقی شبه جزیره عربستان بوده که با جریانی جنوبی با غلظتی بالا نیمه غربی کشور را تحت الشعاع قرار داده است. این الگو بیانگر دوره های گردو غباری شدید و فراگیر در استان بوده که دید افقی را به شدت در منطقه کاهش داده است. در الگوی چهارم شدت گردو غبار در استان قزوین بالا نبوده بلکه با شارش گردو غبار به نواحی شمال غربی و انباشت آن بصورت غیرمستقیم استان قزوین را نیز متاثر ساخته است. لازم به توضیح است که تاثیرگذاری این الگو ضمن غیرمستقیم بودن آن می توان به انتقال گردو غبار بصورت مستقیم از کانون های داخلی هم مرز با عراق نیز اشاره کرد (شکل ۷).

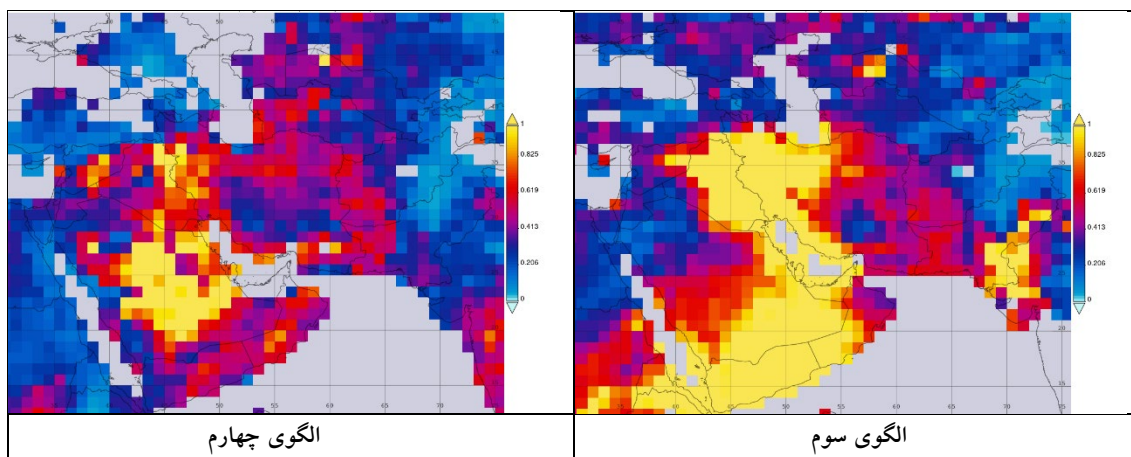
#### مقادیر AOD

با بررسی مقادیر AOD برای هر الگو مشخص شد که حجم انتقالی گردو غبار در دوره های فعالیت هر یک از الگوهای جوی دارای چه مقداری است. در الگوی اول تمرکز گردو غبار در مناطق شمال شرق عربستان و جنوب عراق بوده که با انتقال آن از منابع گردو غباری به استان قزوین غلظت ذرات معلق در هوا را بیش از پیش تشدید کرده است. در الگوی دوم که جریانی ترکیبی از شمال شرق و جنوب غرب به استان گردو غبار گسیل شده بود نشان داد تجمع گردو غبار در بخش هایی از عراق، شمال غرب ایران و قسمت هایی از دریاچه آرال بوده که طی یک جریان همگرا به منطقه مورد مطالعه شارش یافته است. این الگو بیانگر آن می باشد که منابع گردو غباری استان در این دوره از منابع اصلی خیزش یافته و از منابع معلق چون مناطق شمال غرب که دارای گردو غبار



شکل ۶. نقشه‌های مسیریابی ذرات برای هر الگوی مولد گردوغبار





شکل ۷. نقشه های مقادیر AOD برای هر الگوی مولد گردو غبار

### نتیجه گیری

به منظور تحلیل الگوهای همدیدی و نقش گردش منطقه ای جو در تولید گردو غبار محلی و منطقه ای بر روی استان قزوین در یک دوره ۲۰ ساله نتایج زیر حاصل شد.

بررسی های ایستگاه طی دوره آماری نشان داد عمده درصد رخداد گردو غبارهای محلی و منطقه ای در استان مربوط به دوره گرم سال و به خصوص فصل تابستان است که بیشترین مقدار انتقال گردو غبار در منطقه را به خود اختصاص داده است. از طرفی دوره سرد سال و بخصوص زمستان منطقه دارای کمترین مقدار درصد رخداد روزهای گردو غباری در استان می باشد.

نتایج حاصل از بررسی گردش جو در منطقه برای دوره های گردو غباری شدید و فراگیر نشان داد ۴ الگوی گردشی عامل اصلی رخداد این پدیده در استان قزوین می باشند. الگوهای مذکور دارای ماهیتی منطقه ای و فرا منطقه می باشند که در این دسته بندی می توان به تشکیل پراتفاح جنب حاره ای با نزول شدید هوا و افزایش تاوایی نسبی منفی به عنوان یک عامل منطقه ای اشاره کرد. از عوامل فرامنطقه ای نیز می توان به گسترش پایین سوی تاوه قطبی و تشکیل ناوه های عمیق بر روی منابع اصلی گردو غباری در خاورمیانه اشاره کرد که دوره های گردو غباری شدید و فراگیر را در منطقه بوجود آورده اند.

گردش تراز زیرین نیز نشان داد برای شکل گیری گردو غبار در منطقه عمده جریانات جنوبی بوده که البته در برخی الگوها جریانات شمالی نیز حامل ذرات گردو غبار بودند. افزایش

سرعت باد بر روی منابع اصلی گردو غبار و از سویی افزایش سرعت باد بر روی استان قزوین نیز برهمکنش شبه جت های تراز زیرین را در شکل گیری و انتقال ذرات گردو غباری نشان داد.

نتایج حاصل از ردیابی ذرات گردو غبار حاکی از آن بود که منبع اصلی گردو غبارهای منطقه کشور عراق بوده و سایر منابع تولید کننده گردو غبار در منطقه حکم تقویت کننده را دارند. به گونه ای که انتقال ذرات با پایش بیش از ۴۸ ساعت در منطقه نشان داد وجود جریانات محلی که در دل گردش مقیاس منطقه بوده سبب خیزش گردو غبار از کشور عراق شده است. لازم به توضیح است که منابع همچون کشور ترکمنستان نیز در رخداد دوره های گردو غباری شدید و فراگیر منطقه نقش داشته اند که طی فرآیند ترکیبی با شارش به منطقه شرایط را تشدید می کنند. از سایر منابع گردو غباری می توان به مناطق مرزی جنوب غرب ایران اشاره کرد که روند بیابانی شدن در این منطقه سبب شده تا کانونی برای گردو غبارهای مناطق همجوار گردد.

نتایج حاصل از حجم انتقال گردو غبار نشان داد که بیشترین مقدار AOD در الگوی سوم مشاهده می شود که طی آن در محدوده گردش منطقه ای جو سامانه پراتفاح جنب حاره ای حاکم بوده و برهمکنش بین پراتفاح جنب حاره ای و شدت تاوایی نسبی می تواند در پیش بینی گردو غبارهای بسیار شدید منطقه ابزاری کارآمد باشد. سامانه جوی که کمترین مقدار غلظت ذرات را در دوره های گردو غباری به خود اختصاص داده است، گسترش جنوب سوی تاوه قطبی و تشکیل ناوه های عمیق بر روی کانون های گردو غباری

- 7- Fallah Qalhari, Gholam Abbas (2013). Principles and basics of meteorology, Sabzevar, Hakim Sabzevari University Publications.
- 8- Gholami, H, Mohamadifar, A, Rahimi, S, Kaskaoutis, D. G, & Collins, A. L. (2021). Predicting land susceptibility to atmospheric dust emissions in central Iran by combining integrated data mining and a regional climate model. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (4), 172-187.
- 9- Antón, M., Valenzuela, A., Cazorla, A., Gil, J.E., Fernández-Gálvez, J., Lyamani, H., 2012. Global and diffuse shortwave irradiance during a strong desert dust episode at Granada (Spain). *Atmos. Res.* 118, 232.
- 10- Goudie, A.S., Middleton, N.J., (2006). *Desert dust in the global system*. Spring 2006.
- 11- Shao, Y., Wyrwoll, K.-H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., Mc-Tainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T. Y., Wang, X., Yoon, S., (2012). Dust cycle: an emerging core theme in earth system science. *Aeolian Res.* 2, 181-204.
- 12- Boroughani, M, Pourhashemi, S, Hashemi, H, Salehi, M, Amirahmadi, A, Asadi, M. A. Z, & Berndtsson, R. (2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, 56, 101059.
- 13- Gholami, H, Mohamadifar, A, Sorooshian, A, & Jansen, J. D. (2020) a. Machine-learning algorithms for predicting land susceptibility to dust emissions: The case of the Jazmurian Basin, Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 11(8), 1303-1315.
- 14- Garofalide, S., Postolachi, C., Cocean, A., Cocean, G., Motrescu, I., Cocean, I., ... & Leontie, L. (2022). Saharan Dust Storm Aerosol Characterization of the Event (9 to 13 May 2020) over European AERONET Sites. *Atmosphere*, 13(3), 493.
- 15- Tan, S., Chen, B., Wang, H., Che, H., Yu, H., & Shi, G. (2022). Variations in Aerosol Optical Properties over East Asian Dust Storm Source Regions and Their Climatic Factors during 2000 2021. *Atmosphere*, 13(6), 992.
- 16- Draxler RR. And Rolph GD., (2011), HYSPLIT (HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- 17- Draxler, R. and Hess, G. D. (1998), an overview of the HYSPLIT\_4 modeling system for trajectories, dispersion and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*. Vol. 47. Pp: 295-308.
- خاورمیانه است که نسبت به سایر الگوهای جوی از شدت کمتری برخوردار بود.
- بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که کانون های داخلی نیز در تشکیل دوره های گردوغباری نقش مهمی را ایفا می کنند که نامداری و همکاران (۱۳۹۹) بدان اشاره داشته اند. لطفی نسب و همکاران (۱۴۰۰) نیز نشان دادند که تشکیل جت های تراز زیرین نقش مهمی در انتقال گردوغبار در منطقه داشته که در این تحقیق نیز مشاهده شد که وجود جریانات تند باد تراز زیرین از عوامل مهم در شکل گیری دوره های گردوغباری در منطقه می باشد.

## منابع

- 1- Porfashmi, Sima, Broghni, Mehdi, Amir Ahmadi, Abolqasem, Zanganeh Asadi, Mohammad Ali, Salehi, Mehdi (2018). Prioritization of dust collection areas using statistical models (case study: Razavi Khorasan). *Pasture and Watershed Journal*, No. 72.
- 2- Namdari, Sudabah; Hajibglou, Ali; Abazari, Gholamreza (2019). Analysis of changes in Iran's domestic dust centers in the last twenty years. *Scientific journal of geography and planning*, year 52, number 87, winter season.
- 3- Bagharabadi, Rasul; Moin al-Dini, Mazher (2021). Directional origin of dust storms in Karaj city. *Climatology Research Journal*. The twelfth year The forty-seventh number.
- 4- Soleimani Sardo, Farshad; Hossein Hamzah, Nasim; Kerami, Sara; Hashminejad, Mohammad; Natghi, Saeeda (2021). Emission and transfer of dust particles in Jazmurian region (case study: dust storm November 24-26, 2016). *Climatology Research Journal*. The twelfth year Number forty-eight.
- 5- Lotfi Nasab Asl, Sakineh; Gohar Dost, Azadeh; Dargahian, Fatima; Khosrowshahi, Muhammad (2021). Analyzing dusty and erosive winds in Kerman province with the aim of providing a prediction calendar and dust control management. *Scientific journal of research on protection and protection of forests and pastures of Iran*. Volume 19, Number 2.
- 6- Broghni, Mehdi; Mircholi, Fahima; Mohammadi, Maziar (2022). Zoning of dust vulnerability using satellite images and machine learning models. *Journal of Geographical Studies of Dry Areas*. The twelfth period, number forty-seven.

- 22- Gillette, D.A., 1999. A qualitative geophysical explanation for "hot spot" dust emitting source regions: Contributions to Atmospheric Physics 72, 67-77.
- 23- Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Dust emission simulation with the WRFChem model using new surface data in the Middle East region. Journal of Earth and Space Physics 39(1), 191-212.
- 24- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S. Kahn., 2013, Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran, Science of the total environment. 552.564.
- 18- Draxler, R. Stunder, B. Rolph, G. Stein, A. Taylor, A. (2009), Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories 4 user's guides. NOAA Tech. Memo, ERL-ARL.
- 19- Stunder B.J.B., (1997), NCEP Model Output FNL ARCHIVE DATA, TD-6141, Prepared for National Climatic Data Center (NCDC).
- 20- Dockery, D. W., and Stone, P. H., 2007. Cardiovascular risks from fine particulate air pollution. New England Journal of Medicine 356(5), 511-513.
- 21- Lee, J.A., Gill, T.E., Mulligan, K.R., Domínguez Acosta, M., Perez, A.E., 2009, Land use/land cover and point sources of the 15 December 2003 dust storm in southwestern North America. Journal.geomorphology 105, 18-27.