

درک سازوکار ناهنجاری‌های جوی حاکم بر گردوغبار تابستانه شمال شرق ایران

تهمینه چهره آرا^۱: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، قزوین، ایران.
سمیه حاجیوندپایداری: دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

چکیده

شناسایی کانون‌های گردوغباری و به طبع آن رفتارشناسی این پدیده در مناطق مختلف سبب شده تا یکی از مسائل چند دهه اخیر به عنوان یک مخاطره مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از آمار ۱۵ ایستگاه هواشناسی در منطقه شمال شرق ایران مشتمل بر استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در یک دوره ۱۷ ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۰) استفاده شد. در ادامه برای تبیین سازوکار حاکم بر روزهای گردوغباری با مراجعه به مرکز ملی پیش بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) مقادیر مولفه‌های مداری و نصف النهاری باد و ارتفاع ژئوپتانسیل تهیه شد. در ادامه برای ردیابی و شناسایی کانون‌ها به ترتیب از مدل HYSPLIT و مقادیر AOD سنجنده MODIS بهره‌گیری شد. نتایج نشان داد که در دوره گرم سال به دلیل استقرار سامانه و اچرخندی شبه ساکن قوی در ترازهای زیرین جو سبب شده تا افزایش تاوایی منفی در منطقه بیشینه نزول هوا و در نهایت حاکمیت یک جریان شمالی را برای منطقه به همراه داشته باشد. بررسی ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی مشخص شد، ۳ الگوی غالب نابهنجار در بروز بیشینه گردوغبارها در منطقه فعالیت دارند. بطوریکه افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل به بیش از ۵ الی ۱۰ ژئوپتانسیل متر و افزایش چرخندگی منفی از شرایط عمده به حساب می‌آید. با بررسی مدل ردیابی و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای نیز ۵ کانون اصلی که بیش از ۹۰ درصد گردوغبارهای منطقه را متاثر می‌سازد، شناسایی گشت که در این میان سهم کشور ترکمنستان با دو کانون جدا و یک کانون مشترک با کشور ازبکستان نقش چشمگیری در رخداد گردوغبارهای تابستانه شمال شرق ایران را بر عهده دارد.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار تابستانه، ناهنجاری، مدل ردیابی، شمال شرق ایران

مقدمه

گرد و غبار یکی از پدیده‌های معمول و در گروه بزرگترین مشکلات جوی محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک است. در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گرد و غبار به یکی از مشکلات زیست محیطی مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه است. از طرفی این پدیده هر ساله آثار مخربی برای ساکنان این مناطق در پی دارد (برومندی و بختیارپور، ۱۳۹۵). گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه خشک سالانه چندین میلیون تن خاک را به اتمسفر وارد می‌کند که نقش مهمی در سیستم آب و هوایی، میزان تابش اتمسفری و چرخه هیدرولوژیکی دارد (Shao et al, ۲۰۱۴; Alizadeh Choobari et al, ۲۰۱۱). توفان گرد و غبار فرایند پیچیده‌ای است که تحت فعل و انفعالات سامانه‌های اتمسفری بوده و اساساً شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک برهنه و هوای خشک باعث به وجود آمدن آن می‌شود (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به این که ایران نیز در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد، مطالعه این پدیده ضرورت دارد. به طور کلی سامانه‌های جوی و وضعیت ساختار سطح زمین (ساختار واقعی زمین و ساختاری که بر اثر دستکاری بشر حاصل شده است) از عوامل موثر در رخداد پدیده گرد و غبار هستند. ایران و کشورهای همسایه واقع در غرب آن در مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته اند که از مناطق غبارخیز محسوب می‌شوند. همه ساله بخش‌های وسیعی از کشور از جمله مناطق غربی و جنوب غربی تحت تاثیر پدیده گردوغبار قرار دارند. با وجود این که مناطق مرکزی ایران مانند یزد و همچنین جنوب شرق کشور مانند زابل واقع در سیستان و بلوچستان نیز تحت تاثیر توفان شن و گردوغبار هستند، اما توفان‌های این مناطق با گرد و غبارهای مناطق غربی از نظر ذاتی و ساختاری متفاوت است. مناطق مرکزی و جنوب شرقی کشور عموماً دارای بافت کویری و خشک از منظر خاکشناسی بوده از نظر بارندگی نیز دارای میانگین سالانه به مراتب کمتر از میانگین کشور دارد و بیشتر تحت تاثیر بادهای موسمی یا به عبارتی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان قرار دارند. نوع توفان شن در این مناطق بیشتر است (سعادت آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). ابعاد توفان های ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که ماسه و گرد و غبارهای هامون صابری را در فصل خشک در مسیرهای طولانی تا صدها کیلومتر جابه‌جا می‌کنند تقریباً مشخص است. اما توفان‌های سال‌های اخیر در جنوب غرب ایران، از توفان‌های هستند که تبعات آن‌ها به تدریج نمود پیدا می‌کنند و نیاز به شناخت بیشتری دارند (جلالی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعاتی که در ارتباط با فراوانی روزهای گرد و غباری ایران انجام گرفته، نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی بیشترین تعداد روزهای گرد و غباری را دارند، به طوری که در مناطق وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فراوانی وقوع روزهای مذکور به بیش از ۱۵۰ روز در سال می‌رسد. در مناطق جنوب غربی و غرب کشور که در مجاورت بیابان‌های بزرگی همچون عراق، عربستان، سوریه و ... می‌باشند، میانگین روزهای گرد و غباری نیز قابل توجه است که فراوانی وقوع آن در تیر و خرداد بیش از ماه‌های دیگر است (رئیس پور و همکاران، ۱۳۸۷). در فلسطین اشغالی با استفاده از تحلیل همدیدی و طبقه‌بندی موقعیت هوای غالب در طول الگوهای وزش‌های گرد و غبار، اختلاف معناداری بین مسیرهای فصلی الگوها مشاهده گردید (Dayan, ۱۹۸۶). گرد و غبارهای قاره آسیا نیز با فرودهای سطح بالا و جبهه‌های سرد سیکلون زمینی همراه بوده و در صورت وجود شرایط مذکور، گرد و غبارها توانسته‌اند تا هزاران کیلومتر فراتر از این قاره در نیمکره‌ی جنوبی پخش شوند (Hamish, ۲۰۰۱). گرمایش زمین در مغولستان و سرمایش زمین در شمال کشور چین، عامل موثر در تشکیل گردوغبار بخش شمالی این کشور به خصوص در حوضه تاریم می‌باشد (WeiHong &

(Shaoyinshi, ۲۰۰۱). در ایجاد توفان‌های غبار دوره گرم سال خاورمیانه، کم‌فشارهای سطح زمین بسیار موثر می‌باشد (Goudie & Midelton, ۲۰۰۲). با مطالعه‌ی روابط بین شکل‌گیری توفان‌های گرد و غبار و تحول سینوپتیک آن‌ها در شمال شرق آسیا ثابت شده است که یک توفان گرد و غبار زمانی توسعه می‌یابد که یک سیستم به سمت ناحیه‌ای بیابانی حرکت نماید (Wang, ۲۰۰۵). Kutiel & Alpert (۲۰۰۵) در پژوهشی دریافته‌اند که در تحلیل وضعیت همدیدی موثر در انتقال گرد و غبار شمال آفریقا از روی دریای مدیترانه به جنوب و مرکز اروپا، ناوه‌ی منشأ گرفته از کم‌فشار ایسلند و پرفشار نیمه استوایی، دو عامل غبار آفریقا به اروپا و به خصوص ایتالیا می‌باشند. بروغنی و همکاران (۲۰۲۰) به شناسایی کانون‌های 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 مدل‌های داده کاوی و مدل اقلیمی RegCM۴ به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استان یزد به پدیده‌ی گردوغبار و تعیین میزان اهمیت معیارهای مرتبط انتخابی، پرداختند. نتایج حاصل نشان داد شاخص تفاضل نرمال شده‌ی پوشش گیاهی و ارتفاع به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر شناسایی شدند. از تحقیقات اخیر که در زمینه گردوغبار در خارج از ایران صورت گرفته می‌توان به گاروفالید و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود. آنها به بررسی توفان‌های گردوغبار صحرای شمال آفریقا پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که انتقال گردوغبار از این منطقه زندگی جوامع انسانی مخصوصاً در بخش‌های کشاورزی را متاثر 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 شکل گرفته طی دوره مطالعاتی متاثر از گردش عمومی جو در غالب تغییرات آب و هوایی قرار گرفته است.

در ایران نیز، در دوره‌ی سرد سال، فرودهای حاصل از بادهای غربی و دوره‌ی گرم سال سیستم‌های فشار سطح زمین و به خصوص کم‌فشار خلیج فارس مهم‌ترین عامل ایجاد گرد و غبار در جنوب غرب ایران می‌باشند (رئیس پور و همکاران، ۱۳۸۹). حیدری (۱۳۸۶) با استفاده از تحلیل همدیدی، سیکلون‌های بسته روی عراق و شمال عربستان را عامل اصلی ایجاد گرد و غبار در استان کرمانشاه بیان می‌کند. خسروی و سلیقه (۱۳۸۴) علت شکل‌گیری توفان‌های سریع با سرعت حدود ۸۰ نات در ثانیه در منطقه‌ی سیستان را، مجاورت منطقه‌ی چرخندگی مثبت بادهای غربی با زبانه‌ی کم‌فشار فرعی موسمی بیان نمودند. بادهای ۱۲۰ روزه تا سطوح بالای اتمسفر را با ذرات میکرونی غبار آلوده نموده و در موارد استثنایی تمرکز گرد و غبار حتی تا ارتفاع ۲۰۰ هکتوپاسکالی مشاهده می‌شود (خسروی، ۱۳۸۹). رئیس پور و علیجانی (۱۳۹۰) با استفاده از تحلیل همدیدی دست یافتند که هنگام بروز توفان گرد و غبار در دوره‌ی گرم سال، بر روی نقشه‌ی فشار تزار دریا، با تقویت کم‌فشار موسمی هند، دو مرکز کم‌فشار فرعی‌تری در محدوده‌ی جنوب پاکستان و جنوب افغانستان با فشار مرکزی کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بسته می‌شوند. در مقابل مرکز پرفشاری بر روی دریای خزر که عموماً فشار مرکزی آن بیش از ۱۰۲۰ هکتوپاسکال است مستقر می‌شود. در همین زمان تفاوت دمای سطح زمین منطقه‌ی سیستان و دریای خزر حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. اختلاف فشار و دمای شدید بین دو منطقه، منجر به بادهای شدید و گرد و غبار می‌شود. آن‌ها همچنین براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای دریافته‌اند، مهم‌ترین منابع گردوغبار، بسترهای خشکیده‌ی هامون‌های پوز، صابری و شرق

هامون هیرمند هستند. از طرفی هم کارگر و همکاران (۱۳۹۵) نیز با استفاده از مدل WRF-Chem دریافتند که شکل گیری توفان های سیستان به شدت از ویژگی های جغرافیایی محلی، به ویژه توپوگرافی متأثر می گردد. از تحقیقات اخیر در ایران نیز می توان به مطالعات نامداری و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد. ایشان به تحلیل تغییرات کانون های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد علی رغم وضعیت اقلیمی نسبتاً یکسان، روند تغییرات در این کانون ها از الگوی مشابهی تبعیت نمی کند و روند تغییرات غبارخیزی در کانوهای داخلی کشور تحت تاثیر عوامل پیچیده انسانی و غیر انسانی متغیر می باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق این امکان فراهم می گردد اطلاعات نسبتاً جامعی از روند تغییرات کانون های داخلی فراهم آید و وضعیت غبارخیزی کانون ها در آینده قابل پیش بینی گردد. لطفی نسب و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه و تحلیل بادهای توأم با گردوغبار و فرساینده در استان کرمان با هدف ارائه تقویم پیش بینی 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 معین آبادی (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 جهت های 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. سلیمانی ساردو 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 می کند و تالاب جازموریان به عنوان مهمترین کانون گرد و غبار در حوزه مورد مطالعه شناسایی شد. بروغنی و همکاران (۱۴۰۱) به پهنه بندی آسیب پذیری گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره ای و مدل های یادگیری ماشین پرداختند. نتایج نشان داد کاربری اراضی و خاک شناسی به عنوان مؤثرترین عوامل بر آسیب پذیری گردوغبار شناسایی شد. (دوستان ۱۳۹۵) در تحقیقی بر روی گردوغبار در شمال شرق ایران از بعد شاخص فضایی با استفاده از شاخص های دید و کدهای هواشناسی به منظور مشخص کردن فراوانی و الگوهای زمانی و مکانی گردوغبار در ایستگاه های منتخب انجام دادند، به این نتیجه دست یافتند که سرخس بیشترین و قوچان و کاشمر کمترین میزان گردوغبار را داشته اند. (چکی فورک و همکارانشان در سال ۱۴۰۲) به دنبال منشأ گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و داده های NOAA از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۷ در بیرجند بودند، که مشخص شد بیشترین روزهای گردوغبار در سال های ۱۹۶۳ و ۲۰۰۸ رخ داده است. الگوهای جوی نشان دادند که وزش بادهای سیستان و توده های هوای سرد سیبری بخصوص در فصل سرد سال، نقش عمده ای در ایجاد گردوغبار در ایران دارند.

ظریف مقدم و همکارانشان در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی بر روی بررسی اثر احتمالی گرد و غبار بر بارش استان خراسان رضوی پرداخت که نتایج پژوهش آنان نشان داد که رخداد های گرد و غبار تأثیر قابل توجهی بر بارش استان خراسان رضوی داشته و با استفاده از روش رگرسیون تاریخی و آزمون های آماری، تغییرات در بارش مشاهده ای نسبت به پیش بینی ها مورد بررسی قرار گرفته دادند. آنان بر این باور بودند که واکنش بارش به گرد و غبار تحت تأثیر شرایط رطوبت نسبی بوده و نیازمند مطالعات بیشتری برای درک کامل این پدیده است. (شهبابی، ۲۰۲۳) در مطالعه ای به بررسی دو رویداد عمده گرد و

غبار در جنوب غربی ایران پرداخت و نشان داد که گرد و غبار با اندازه‌های مختلف در فصول گرم و سرد قابل تشخیص است. فشار پایین دریایی در شرق مدیترانه و آسیای مرکزی باعث ایجاد جریان‌های قوی شمال غربی و تشکیل نقطه گرم گسترده‌تری از آئروسول‌ها در جنوب غرب ایران می‌شود، در حالی که در روزهای سرد، رویدادهای گرد و غبار بالا در عربستان و جنوب ایران با فشار بالا و جت فرعی همراه است.

داده‌ها و روش کار

به منظور بررسی گرد و غبارهای شمال شرق ایران ابتدا از داده‌های گزارش وضع هوا ایستگاه‌های سینوتیک در سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی و ایستگاه‌های نیمه شرقی استان گلستان استفاده شد. برای این منظور از ۱۵ ایستگاه واقع در منطقه استفاده شد. در ابتدا برای تعیین روزهای گردو غبار داده‌های ساعتی پارامترهای دید افقی (۷۷) سرعت باد (ff) جهت باد (dd) و کد هواشناسی پدیده جوی (WW) (جدول (۱) در دوره ۶۳ ساله (۲۰۰۰) تا (۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی دریافت شد. روز گردو غبار با استفاده از کد جوی این پدیده (۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۰۸-۰۷-۰۶)، تعیین شد. به منظور توزیع زمانی گردو غبار فراوانی سالانه فصلی ماهانه و ساعتی در هر کد مشخص شد و بر اساس فراوانی تکرار کد وقوع گردو غبار کد ۶ و ۰۷ مبنای اقلیمی تکرار پذیری و احتمال وقوع بیشتر مطالعه این پدیده قرار گرفت؛ بنابراین روز گردو غبار روزی تعریف شد که حداقل میزان دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر تقسیم بندی شائو و دانگ (۲۰۰۶) و حداقل در دو نوبت برداشت روزانه در ایستگاه ثبت شده باشد. از آنجایی که بیشینه وقوع گرد و غبارها در منطقه مربوط به دوره گرم سال یعنی ماه‌های جون، جولای، اگوست و سپتامبر بود تمرکز اصلی تحقیق به این دوره معطوف شد.

در گام بعدی، برای تبیین ساز و کار جو در زمان در دوره گرم سال ابتدا داده‌های مولفه‌های مداری و نصف النهاری باد و مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل برای سطوح فشاری بصورت متوسط بلند مدت از مرکز NCEP/NCAR اخذ شد. در ادامه برای شناسایی الگوهای غالب الگوریتمی طرح گردید تا شرایط جوی را در زمان رخداد گرد و غبار در دوره گرم سال تبیین نماید. بدین صورت که پس از شناسایی الگوهای جو در تراز زیرین تروپوسفر (تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال)، ناهنجاری مقادیر جریان باد، تاوایی نسبی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز مذکور تهیه شد. در ادامه با استفاده از داده‌های AOD سنجنده MODIS به تحلیل روزهای غبارآلود و شناسایی کانون‌های احتمالی در منطقه پرداخته شد. پس از شناسایی کانون‌های اصلی با استفاده از مدل HYSPLIT اقدام به ردیابی و مسیریابی گرد غبارها در منطقه شد. در نهایت توزیع فضایی کانون‌های کنترل کننده در منطقه به تفکیک و بصورت درصد بیان شد تا سهم هر یک در رخداد گرد و غبارهای شمال شرق ایران مشخص گردد.

در مدل HYSPLIT حرکت فرارفت افقی ذرات با استفاده از بردار سه بعدی در مکان اولیه $P(t)$ و حدس اولیه $P'(t + \Delta t)$ به دست می‌آید. مکان حدس اولیه به صورت زیر می‌باشد: (Draxler et al., ۲۰۱۲a, Draxler et al.,

۲۰۱۲b)

:۱

$$P'(t + \Delta t) = p(t) + V(p, t)\Delta t$$

و مکان نهایی به صورت زیر می‌باشد:

:۲

$$p(t + \Delta t) = p(t) + \cdot \Delta[V(p, t) + V(p', t + \Delta t)]\Delta t$$

گام زمانی انتگرال گیری بر حسب بیشینه سرعت انتقال و طبق رابطه زیر می تواند بین ۱ دقیقه تا ۱ ساعت تغییر کند:

:۳

$$U_{max}(grid - unitmin^{-1})\Delta t(min) < \cdot 0.75(grid - units)$$

مسیرهای برگشتی با استفاده از مدل ردیابی از ۴۸ ساعت قبل پایش شد و لایه های ارتفاعی را متغییر در نظر گرفته شد تا مکان و تراز شکل گیری طوفانها بصورت خودکار بوسیله مدل شناسایی و ردیابی گردد. در مدل مکان همگرایی مسیرها دقیقا مکان چشمه را نشان نمی دهد بلکه مساحت پست نقطه همگرایی می تواند نشان دهنده وجود مناطق چشمه احتمالی در آن ناحیه باشد(درکسلر، ۱۹۹۵). سپس برای دقیق تر شدن روی منطقه چشمه مدل بصورت روبه رو جلو از مناطق چشمه احتمالی اجرا شده تا الگوی پخش از این مناطق به دست آید. این الگوهای پخش باید مطابق با الگوی مسیر برگشت به دست آمده باشد. در این صورت می توان ادعا کرد که چشمه اصلی طوفانهای منطقه بوده که الگوی پخش بدست آمده از آن مطابق الگوی مسیر برگشت می باشد. همانطور که اشاره شد برای تعیین مسیر و نحوه حرکت گردوغبار از شاخص PM ۱۰ استفاده شد که امکان بروز و چگونگی حرکت PM ۱۰ با استفاده از الگوریتم جرم بررسی گردیده است که در آن شار توده ای عمودی گردوغبار برابر است با:

:۴

$$F = K \frac{\rho}{g} u_* (u_*^z - u_{*t}^z)$$

(Draxler et al., ۲۰۱۲a, Draxler et al., ۲۰۱۲b) که در آن u_* سرعت اصطکاکی، u_{*t}^z سرعت اصطکاکی حد آستانه مورد نیاز برای شروع انتشار گردوغبار و ضریب K با واحد ثانیه بر مبر که به سطح بافت خاک منتشر کننده گردوغبار مربوط است. نمادهای ρ و g نشان دهنده چگالی هوا و شتاب گرانش می باشد. سرعت اصطکاکی در مکان و زمان متفاوت است، زیرا هر دو به شرایط محلی هواشناسی و کلاس زبری سطح بستگی دارد. در حالیکه، سرعت حد آستانه و ضریب بافت خاک فقط در مکان متفاوت است و می توان آن را با ویژگی های کلاس زبری سطح، خاک و خصوصیات کاربری زمین مرتبط ساخت. طبق الگوریتم منبع جرم، هنگامی که سرعت باد از سرعت اصطکاکی محل بالاتر رود، ذرات PM ۱۰ برخواید خواست و سرعت اصطکاک محل به صورت زیر تعریف می شود:

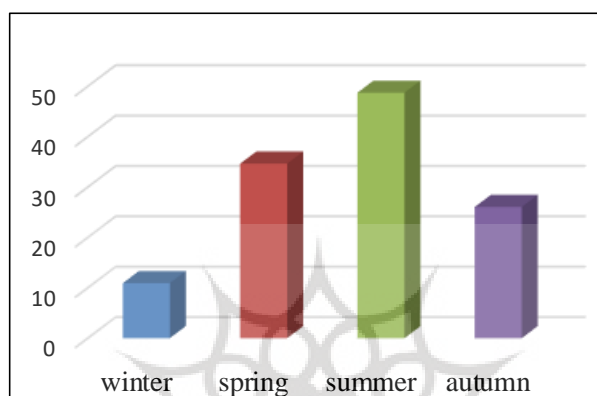
:۵

$$U_t = \frac{u_{*t}}{k} \ln\left(\frac{Z}{Z_{.NS}}\right)$$

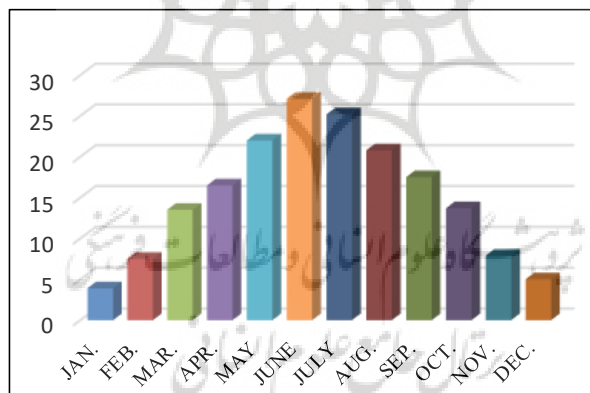
که در آن $Z_{.NS}$ طول زبری ایروپنایمیک خاک برای شرایطی است که خاک دچار فرسایش آبی نشده باشد، Z ارتفاع اندازه گیری باد است و k ثابت وون کارمن است که برابر ۰.۴ فرض می شود (دراکسلر، ۲۰۰۱).

شرح و تفسیر نتایج

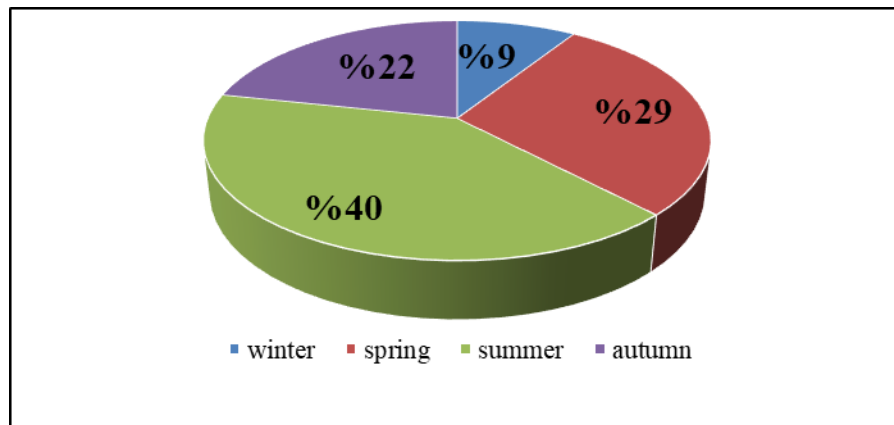
از آنجایی که کدهای گزارش شده بصورت ۸ بار در روز بود پس از متوسط‌گیری روزانه، متوسط‌های ماهانه و فصلی نیز تهیه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشینه وقوع گرد و غبارها در شمال شرق ایران مربوط به ماه جون و پس از آن ماه جولای می‌باشد (شکل ۱). به گونه‌ای که متوسط ۲۵ روز را به خود اختصاص داده‌اند. در بررسی فصل نیز مشخص شد که حداکثر رخداد گرد و غبار در فصل تابستان با متوسط ۴۷ روز بوده که ۴۰ درصد گردوغبارهای منطقه را شامل می‌شود. پس از آن فصل بهار با متوسط ۳۲ روز ۲۹ درصد روزهای غبارآلود را به خود اختصاص داده‌است (شکل های ۲ و ۳).



شکل ۱. متوسط فراوانی ماهانه گردوغباری شمال شرق ایران

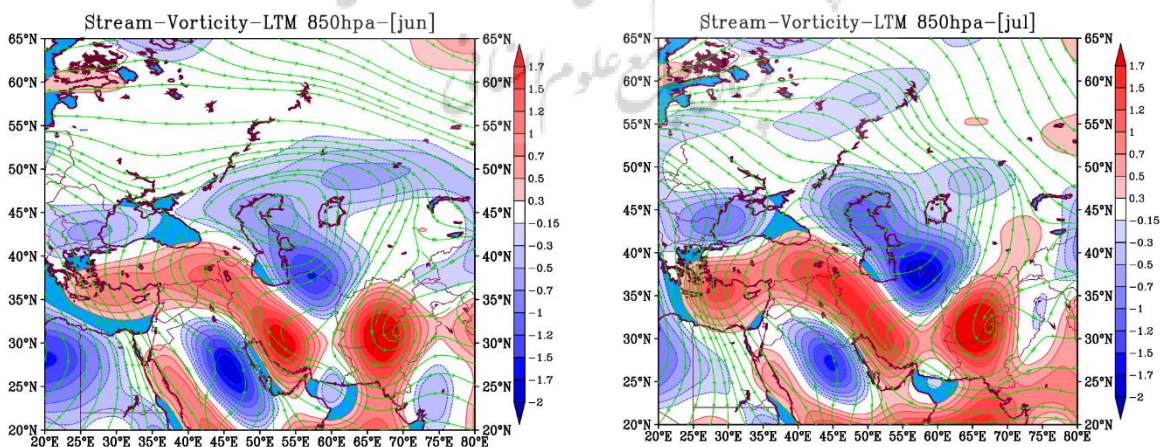


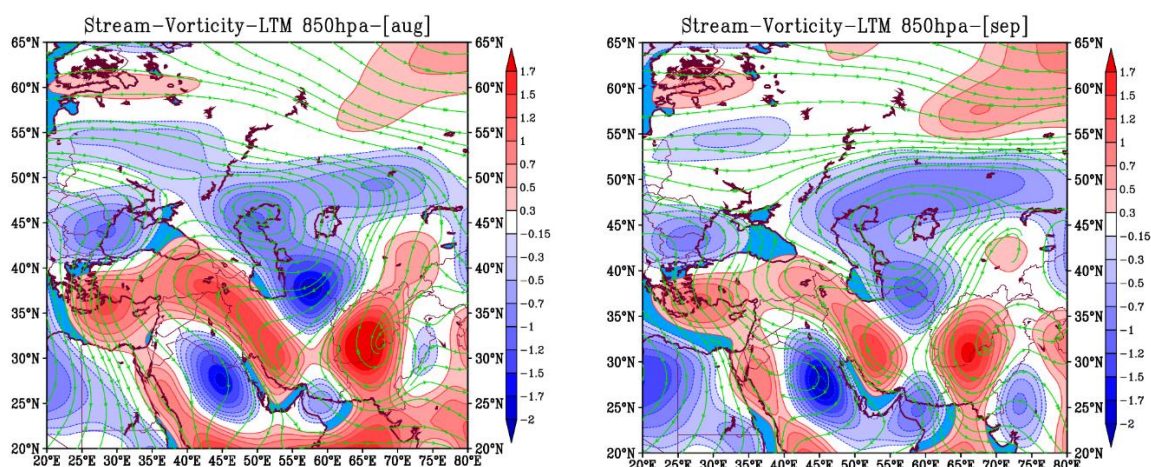
شکل ۲. متوسط فراوانی فصلی گردوغباری شمال شرق ایران



شکل ۳. درصد فراوانی روزهای گردوغباری برای فصول مختلف در شمال شرق ایران

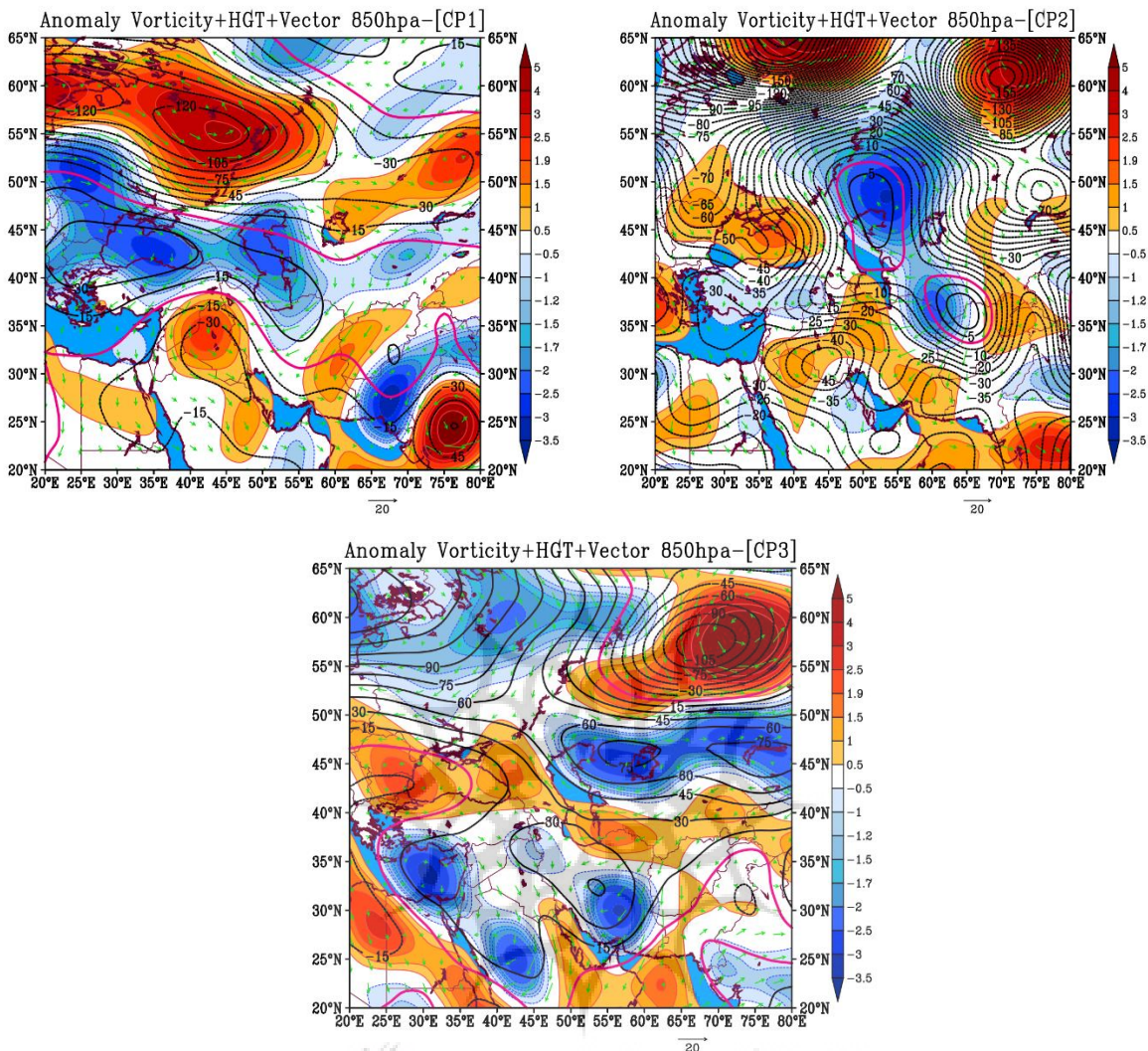
در مرحله بعد سعی بر آن شد تا به بررسی ساختار جو تابستانه در ترازهای زیرین جو در منطقه پرداخته شود. بدین منظور از پارامتر تاوایی نسبی و جریان باد در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال استفاده و برای ۴ ماه جون، جولای، آگوست و سپتامبر نقشه‌های ترکیبی تهیه شد. نتایج نشان داد با استقرار فصل گرم در منطقه یک جریان چرخندگی منفی بر روی نواحی شمال شرق ایران که قسمتی از ترکمنستان و دریای خزر را نیز در بر گرفته تشکیل می‌گردد. از طرفی در دو سوی این جریان آنتی سیکلونی یک جریان تاوایی مثبت به موازات رشته زاگرس و دیگری هسته چرخندگی مثبت قوی بر روی افغانستان و پاکستان تشکیل می‌شود. با تقویت هسته تاوایی منفی در منطقه که اوج آن در ماه جولای بوده، حاکمیت جریان شمال را برای منطقه شمال شرق ایران به همراه دارد. با حاکمیت چنین الگویی دو جریان جدا یکی به سمت جنوب غرب و دیگری به سمت جنوب شرق سرازیر شده در دو منطقه با هسته‌های تاوایی مثبت همگرا می‌شوند. این شارش جرم از مناطق شمال شرقی سبب شده تا با عبور از مناطق بایری که در کشورهایی همچون ازبکستان و ترکمنستان بوده، شرایط را برای انتقال گرد و غبار برای منطقه فراهم نماید. لازم به توضیح است که این جریان ساعتگرد واقع در شمال شرق ایران بیشینه فعالیت خود را در فصل تابستان تجربه می‌نماید (شکل ۴).





شکل ۴. وضعیت گردش جو تابستانه برای چهار ماه به ترتیب از بالا سمت چپ چون تا سپتامبر-مقادیر رنگی تاوایی نسبی و خطوط، جریان هوا برای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای بازه ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱)

در ادامه سعی شد تا به الگوی غالب در زمان رخداد گرد و غبارهای فراگیر منطقه پرداخته شود. بدین منظور از ناهنجاری‌های مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و جریان باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال استفاده شد. روزهایی که بیشترین همبستگی را با میانگین الگوی دوره (۲۰۰۰-۲۰۱۶) داشته به عنوان روزهای نماینده انتخاب شد. بررسی‌ها نشان داد سه الگو در رخداد گرد و غبارهای تابستانه منطقه فعالیت دارند. الگوی اول با ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل واقع بروی دریای خزر که از غرب دریای سیاه کشیده شده همراه است که این وضعیت با ناهنجاری منفی تاوایی همراه شده و یک جریان شمالی از شرق ازبکستان تا غرب ترکمنستان را به همراه دارد. در الگوی دوم یک ناهنجاری بسیار قوی در سلولی یکی بروی شمال دریای خزر و دیگری بر قسمت‌های شمال شرق ایران مستقر می‌باشد. وجود ناهنجاری منفی با کمتر از $3/5$ واحد و افزایش ۵ الی ۱۰ ژئوپتانسیل متری در منطقه و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل در جنوب غرب آسیا سبب شده واگرایی لازم بروی نواحی شمال شرق بوجود آمده و در جنوب غرب همگرا شود. در الگوی سوم یک رشته ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل به علاوه وجود تاوایی منفی در شرق ازبکستان تا شرق دریای خزر را نشان می‌دهد که در مناطق شمال شرق ایران با ناهنجاری تاوایی مثبت همراه گشته و سبب شده تا شارش جرم از هسته پر ارتفاع در منطقه بصورت محلی به شمال شرق ایران باشد که تمرکز بیشینه گرد و غبار را در منطقه به همراه داشته باشد (شکل ۵).

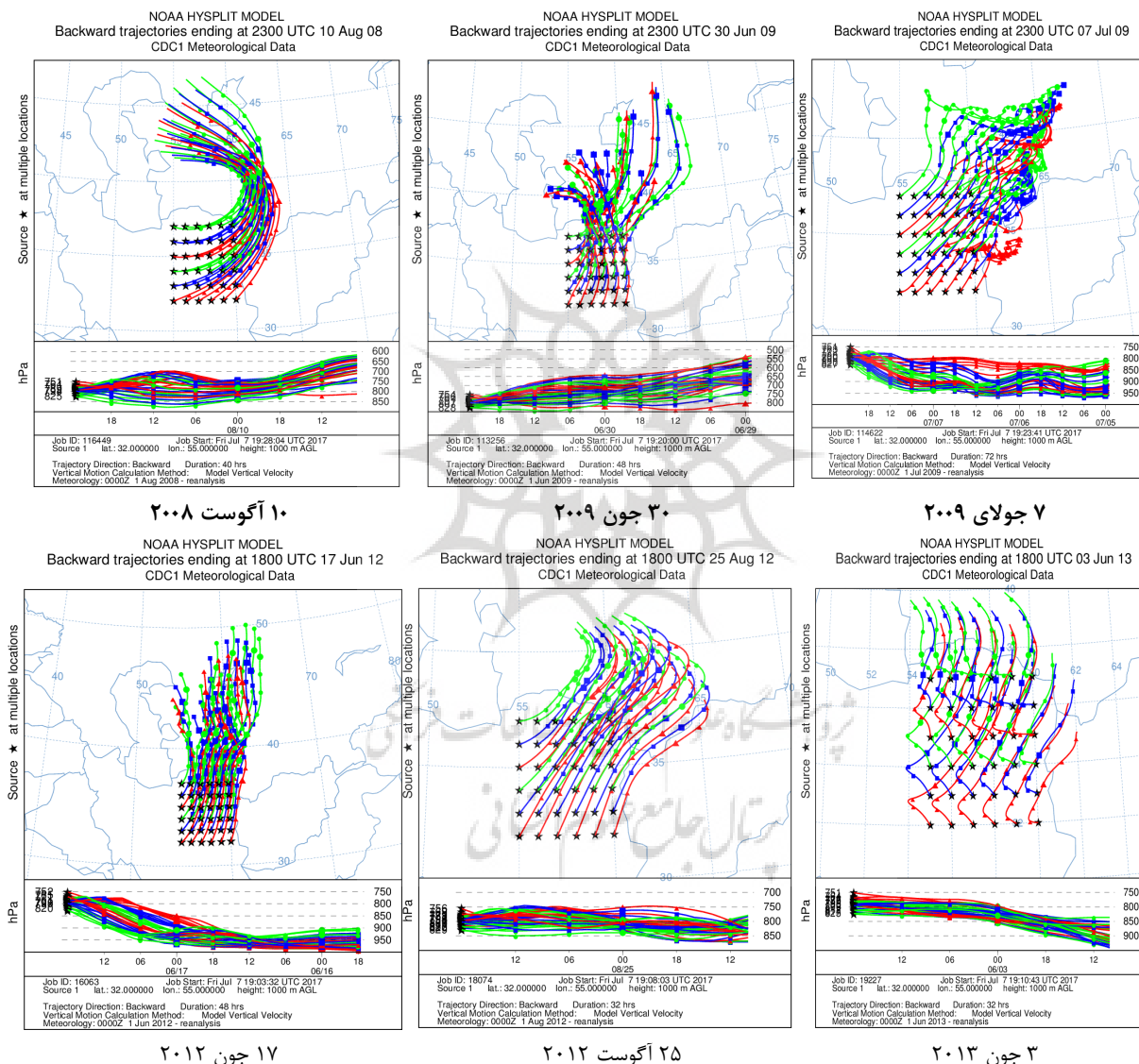


شکل ۵. بررسی ناهنجاری تاوایی، ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد برای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ۳ الگوی گردشی در زمان رخداد گردوغبارهای شمال شرق ایران در فصل گرم سال.

برای شناسایی کانون‌های گرد و غبار و مسیریابی آن با استفاده از مدل لاگرانژی HYPFIT اقدام به این امر شد. پس از بررسی ۲۰۰ روز گرد و غباری در دوره گرم سال کانون‌های محتمل شناسایی و برای هر یک از آنها یک دوره نماینده انتخاب شد. بدین صورت که در روز ۱۰ آگوست ۲۰۰۸ مسیر ورودی ذرات به منطقه از شرق و شمال شرق دریای خزر با جهتی اریبی شکل بوده که با عبور از شرق ترکمنستان وارد منطقه شده است. در روز ۳۰ جون ۲۰۰۹ یک الگوی ترکیبی که از چند منشا شروع به حرکت کرده‌اند، مشخص شد. در این روز جنوب شرق دریای خزر، شمال غرب ترکمنستان، شرق دریاچه آرال و جنوب شرق قزاقستان به عنوان کانون‌های اصلی انتقال ذرات به منطقه می‌باشند.

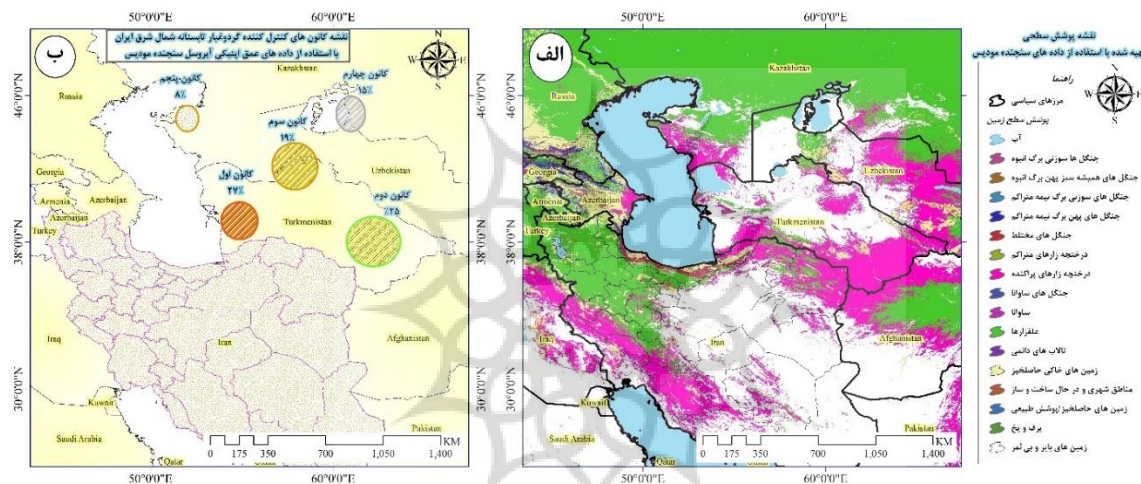
در روز ۷ جولای ۲۰۰۹ مسیرهای ورودی ذرات نشان از آن دارد که تمامی گرد و غبار منطقه و توده هوای کنترل کننده مربوط به مناطق غربی قزاقستان می‌باشد پس از عبور آن از شرق ترکمنستان مناطق شمالی شرقی ایران را

درنوردیده است. در روز ۱۷ جون ۲۰۱۲ اصلی ترین کانون گرد و غبار قزاقستان می باشد اما در مسیر خود مشاهده می شود که از شمال شرق دریای خزر نیز با تشکیل یک جریان شمالی شرایط برای انتقال گرد و غبار فراهم شده است. در روز ۲۰ آگوست ۲۰۱۲ بیشینه گرد و غبارها از کانون واقع در شرق ترکمنستان بوده که با ورود به مناطق شمال غربی افغانستان با جهت شمال شرقی به استان های موردنظر شارش یافته است. در روز ۳ جون ۲۰۱۳ کانون محلی - منطقه ای واقع در غرب ترکمنستان شناسایی شد. به گونه ای که حداکثر ذرات منتقل شده به منطقه از این ناحیه بوده و قسمتی نیز از شرق و جنوب شرق ترکمنستان با یک جریان شمال به جنوب استان های خراسان را متاثر ساخته است (شکل ۶).



شکل ۶. ردیابی گردوغبارهای شمال شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT برای دوره های نماینده برای هر یک از کانون های احتمالی

در بررسی‌های به عمل آمده با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در ابتدا سعی بر آن شد تا نقشه‌ای از پوشش سطحی منطقه طی یک دوره ۱۷ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۶) تهیه گردد تا هم در شناسایی کانون‌های احتمالی ریزگردهای منطقه کمک نماید و اینکه چند درصد از منطقه دچار دگرگونی شده که سبب شده تا چنین پدیده‌ای در منطقه تشکیل و تشدید گردد. بررسی‌ها نشان داد وجود قسمت‌های اعظمی از ترکمنستان، بخش‌های جنوبی و غربی ازبکستان و قسمت‌های جنوب‌شرق و جنوب‌غرب قزاقستان با از دست دادن حداکثر پوشش سطحی خود چه بصورت فصلی و چه بصورت دائمی به زمین‌های بایر و عریان تبدیل شده‌اند (شکل ۷ الف). پس از آن با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده مودیس و شاخص AOD و مدل ردیابی، هریک از کانون‌های کنترل‌کننده گرد و غبار منطقه شناسایی گردید. در این بررسی ۵ کانون اصلی با ۹۴ درصد از سهم کل گرد و غبارهای انتقالی منطقه شناسایی شد. اصلی‌ترین کانون‌ها واقع در ترکمنستان که هریک با بیش از ۲۵ درصد دارای بیشترین و کانون واقع در غرب قزاقستان با ۸ درصد کمترین معرفی گردید.



نتیجه‌گیری

در بررسی‌های به عمل آمده به منظور درک سازوکار حاکم بر رخداد گردوغبارهای تابستانه شمال شرق ایران و شناسایی کانون‌های محتمل در منطقه نتایج بدین مضمون به دست آمد:

ابتدا اگر بخواهیم نگاهی فضایی داشته باشیم: در منطقه شمال شرقی و جنوب شرقی ایران بیشترین میزان گردوغبار در شمال شرقی و کمترین میزان آن در جنوب‌غربی و شمال منطقه مشاهده می‌شود. این روند فضایی نشان‌دهنده مسیر ورود گردوغبارها به منطقه است. این گردوغبارها از بیابان‌ها و دشت‌های خشک پست شرقی وارد می‌شوند. همچنین جهت قرارگیری ایستگاه‌های ارتفاع‌سنجی نیز ممکن است به تاثیر نباشد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شمال یا جنوب و ارتفاع آن‌ها در کانالیزه کردن باد و سرعت آن‌ها نیز تأثیرگذار است و گردوغبار را از زمین‌های بایر و خشک به همراه دارند. در ادامه بررسی‌ها نشان داد سازوکاری که در دوره گرم سال است منفک از دوره سردسال در محدوده غرب آسیا است. بدین صورت که الگوهایی شبه ساکن از گردش جو در این دوره از سال مشاهده می‌شود که می‌توان آنرا در الگوهای غالب

بلندمدت سی ساله نیز مشاهده نمود. به گونه‌ای که مفیدی و همکاران (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) در دو تحقیقی که به منظور شناسایی سازوکار حاکم بر رخداد گردوغبارهای جنوب غرب آسیا و ماهیت ساختاری تابستانه جو در منطقه جنوب غرب آسیا بدان به تفصیل اشاره نموده‌اند. وجود جریان واچرخندی واقع در شمال شرق ایران که قسمت‌هایی از دریای خزر و شورهای همچون ترکمنستان و قسمت‌هایی از قزاقستان ازبکستان را نیز در بر گرفته، سبب شده تا حاکمیت جریان شمالی در منطقه در این دوره از سال بصورت امری جدا ناپذیر از شرایط جوی منطقه باشد.

وجود گردوغبار و هجوم ریزگردها به منطقه با ناهنجاری‌های قوی در گردش جو و افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در منطقه همراه می‌باشد. بدین صورت که به افزایش ناهنجاری تاوایی منفی بر روی منطقه و گسترش فضایی بالا در منطقه سبب شده تا بیشینه تاوایی منفی سبب خیزش گردوغبار از کانون‌های احتمالی در منطقه می‌شود.

در بررسی مسیرهای ورودی گردوغبار به منطقه به دو نوع جریان منهی شد. جریان نخست یک جریان ساعتگرد که با انحنای و با جهتی شمال شرقی-جنوب غرب وارد منطقه می‌شود و جریان دوم یک جریان نسبتاً شمالی که بصورت شمال به جنوب گاه‌ها از مناطق دور دست همچون غرب قزاقستان نشأت گرفته و وارد منطقه می‌شود. گاهی نیز این دو جریان بصورت الگوی ترکیبی ظاهر می‌شوند.

در بررسی کانون‌های کنترل کننده گردوغبار تابستانه نیز دو کانون در ترکمنستان و یک کانون مشترک بین این کشور با ازبکستان شناسایی شدند. بطوریکه ۷۱ درصد گردوغبارها طی بازه زمانی بررسی شده، از این سه کانون به منطقه شمال شرق کشور سرازیر می‌شود. کانون بعدی شرق دریاچه آرال می‌باشد که پس از خشک شدن آن به یک کانون اصلی ریزگرد تبدیل شده که نزدیک به ۱۵ درصد گردوغبارهای منطقه را متاثر می‌سازد. کانون پنجم واقع در شرق دریای خزر و در کشور قزاقستان بوده که ۸ درصد سهم تولید گردوغبارها را به خود اختصاص داده است. مجموع این کانون‌ها ۹۴ درصد کل گردوغبارهای منطقه را شامل می‌شوند. مابقی نیز از سایر کانون‌های یا بصورت ترکیبی یا در مقیاس محلی بود که از آن‌ها در این تحقیق چشم پوشی شد.

منابع

- باقرآبادی، رسول؛ مظاهر معین الدینی. ۱۴۰۰. منشأیابی جهتی طوفان‌های گردوغبار شهر کرج. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۴۵: ۱۴۳-۱۵۷.
- بروغنی، مهدی؛ سیما پورهاشمی، محمدعلی اسدی زنگنه و حمیدرضا مرادی. ۱۳۹۶. آشکارسازی مناطق برداشت گردوغبار در شرق خاورمیانه با استفاده از شاخص‌های آشکارسازی گرد و غبار. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱: ۱۰۱-۱۱۸.
- بروغنی، مهدی؛ فهیمه میرچولی و مازیار محمدی. ۱۴۰۱. پهنه‌بندی آسیب پذیری گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های یادگیری ماشین. *نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۴۷: ۱-۱۳.
- برومندی، پریا و اسماء بختیارپور. ۱۳۹۵. منشاء یابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها و مدل‌سازی عددی در شهرستان مسجد سلیمان. *مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*، ۴: ۵۱۷-۵۲۶.

- جلالی، نادر؛ فاضل ایرانمنش و محمدهادی داودی. ۱۳۹۶. شناسایی منشأ و مناطق تحت تاثیر طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۳: ۳۱۸-۳۳۱.
- چکی فورک، محمد؛ رضا دوستان و مسعود مینایی. ۱۴۰۲. شناسایی کانون‌های گردوغبار شهر بیرجند. *جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای*، ۴۶: ۶۱-۸۴.
- حیدری نسب، مهدی. ۱۳۸۶. نقش باد در ایجاد لندفرم‌های بادی در منطقه سیستان، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی*، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی، محمود. ۱۳۸۴. اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. *پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا*، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی، محمود. ۱۳۸۹. بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS در منطقه سیستان ایران. *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام*، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- دوستان، رضا. ۱۳۹۵. تحلیل فضایی گرد و غبار در شمال شرق ایران. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۷: ۶۷-۹۰.
- رئیس پور، کوهزاد؛ محمود خسروی و تقی طاوسی. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر طوفان‌های شن به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده توسعه در منطقه سیستان. *مجموعه مقالات همایش ملی جغرافیا، امنیت و توسعه در جنوب شرق ایران*، تهران، دانشگاه امام حسین (ع).
- سلیمانی ساردو، فرشاد؛ نسیم حسین حمزه؛ سارا کرمی؛ سعیده ناطقی و محمد هاشمی‌نژاد. ۱۴۰۰. گسیل و انتقال ذرات گردوغبار در منطقه جازموریان (مطالعه موردی: طوفان گرد و غبار ۲۴ الی ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶). *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴۸: ۴۱-۵۴.
- علیجانی، بهلول و کوهزاد رئیس پور. ۱۳۹۰. تحلیل آماری همبندی طوفان‌های گرد و خاک در جنوب شرق ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۵: ۱۰۷-۱۳۲.
- کارگر، الهام؛ جواد بذاق‌جمالی؛ عباس رنجیر سعادت‌آبادی، و حمید گشتاسب. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گردوغبار شدید شرق ایران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴: ۱۰۱-۱۱۹.
- لطفی نسب اصل، سکینه؛ آزاده گوهر دوست؛ فاطمه درگاهیان و محمد خسروشاهی. ۱۴۰۰. تحلیل بادهای توأم با گردوغبار و فرساینده در استان کرمان با هدف ارائه تقویم پیش‌بینی و مدیریت کنترل گردوغبار. *نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۳۸: ۱۷۹-۲۱۱.
- مفیدی عباس و آذر زرین. ۱۳۹۱. بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۱: ۱۵-۴۰.

مفیدی، عباس؛ سمیه کمالی و آذر زرین. ۱۳۹۲. ارزیابی توان مدل RegCM^۴ پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار توفان‌های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان. *فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۳: ۶۹-۵۱.

مفیدی، عباس و سجاد جعفری. ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. *نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۵: ۱۷-۴۵.

نامداری، سودابه؛ علی حاجی‌بگلو و غلامرضا ابادری. ۱۳۹۹. تحلیل تغییرات کانون‌های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۷۸: ۳۴۵-۳۶۱.

AlizadehChoobari, O.; P. Zawar-Reza and A Sturman. ۲۰۱۴. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Atmospheric Research* ۱۳۸. ۱۵۲-۱۶۵. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.atmosres.۲۰۱۳.۱۱.۰۰۷.

Boroughani, M.; S. Pourhashemi.; H. Hashemi.; M. Salehi.; A. Amirahmadi.; M. A. Z. Asadi & R. Berndtsson. ۲۰۲۰. Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, ۵۶, ۱۰۱۰۵۹. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.ecoinf.۲۰۲۰.۱۰۱۰۵۹.

Koch, J, and U. Dayan. ۱۹۹۲. A Synoptic analysis of the meteorological conditions affecting dispersion of pollutants emitted from tallstacks in the coastal plain of Israel, *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, ۲۶: ۲۵۳۷-۲۵۴۳. doi.org/۱۰.۱۰۱۶/۰۹۶۰-۱۶۸۶(۹۲)۹۰۱۰۵-T

Draxler, R.; A. Gillette.; S. Kirkpatrick and J. Heller. ۲۰۰۱. Estimating PM_{۱۰} air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*. ۳۵: ۴۳۱۵-۴۳۳۰. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/S۱۳۵۲-۲۳۱۰(۰۱)۰۰۱۵۹-۵.

Draxler, R.; G.D. Hess. ۱۹۹۸. An overview of the HYSPLIT_۴ modeling system for trajectories, dispersion and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, ۴۷: ۲۹۵-۳۰۸. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/S۱۳۵۲-۲۳۱۰(۰۱)۰۰۱۵۹-۵.

Draxler, R.; B. Stunder.; G. Rolph.; A. Stein and A. Taylor. ۲۰۱۵. Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories & user's guide. *NOAA Tech. Memo, ERL-ARL*, ۹۶: ۲۰۵۹-۲۰۷۷. <https://doi.org/۱۰.۱۱۷۵/BAMS-D-۰۰۱۱۰.۱-۱۴>.

Draxler, R.R and G.D.Hess. ۱۹۹۷. An overview of the HYSPLIT_۴ modelling system for trajectories, dispersion and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, ۴۷: ۲۹۵-۳۰۸. The HYSPLIT model can be downloaded at the web site, <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.

Draxler, R.R. *HYSPLIT_4 User's Guide*. ۲۰۱۲. <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.

Draxler, R.R. *HYSPLIT Tutorial*. ۲۰۱۲. <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.

Garofalide, S.; C. Postolachi.; A. Cocean.; G. Cocean.; I. Motrescu.; I. Cocean & L. Leontie. ۲۰۲۲. Saharan Dust Storm Aerosol Characterization of the Event (۹ to ۱۳ May ۲۰۲۰) over European AERONET Sites. *Atmosphere*, ۱۳(۳), ۴۹۳. <https://doi.org/10.3390/atmos13030493>.

Gholami, H.; A. Mohamadifar.; S. Rahimi.; D.G. Kaskaoutis & A.L. Collins. ۲۰۲۱. Predicting land susceptibility to atmospheric dust emissions in central Iran by combining integrated data mining

- and a regional climate model. *Atmospheric Pollution Research*, ۱۲ (۴), ۱۷۲-۱۸۷. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.03.005>.
- Gholami, H. A. Mohamadifar.; A. Sorooshian & J.D. Jansen. ۲۰۲۰. Machine-learning algorithms for predicting land susceptibility to dust emissions: The case of the Jazmurian Basin, Iran. *Atmospheric Pollution Research*, ۱۱(۸), ۱۳۰۳-۱۳۱۵. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.05.009>.
- Goudie, A.S and Middleton, A. ۲۰۰۲. Saharan dust storms, nature and consequences, *Earth-Science Reviews*, ۵۶: ۱۷۹-۲۰۴. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8).
- Hamish, A. M. Grant and A. Tanish. ۲۰۰۱. Inter-regional transport of Australian dust storms Soil erosion reSearch for the ۲۱th century, *In Proceeding of int. symp., Honolulu. HI. USA*, ۲۸.
- Kaskaoutis, D.G.; P. Kosmopoulos.; H.D. Kambezidis and P.T. Nastos. ۲۰۰۷. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmos. Environ.* ۴۱, ۷۳۱۵-۷۳۲۹. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.017>.
- Kutiel, H.; J. Barkan.; P. Alpert and P. Kishcha. ۲۰۰۵. Synoptics of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* ۱۱۰, no. D۷. ۱-۱.۴. <https://doi.org/10.1029/2004JD005222>.
- Shahabi, H.; T. Safarrad.; M. Hashim & N. Al-Ansari. ۲۰۲۳. Satellite-Synoptic Monitoring of Dominant Dust Entering Western Iran. *Journal of Sensors*, DOI:۱۰.۱۱۵۵/۲۰۲۳/۳۰۶۹۹۲۱.
- Shao, Y.; K.H. Wyrwoll.; A. Chappell.; J. Huang.; Z. Lin and G.H. McTainsh. ۲۰۱۱. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* ۲(۴), ۱۸۱-۲۰۴. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>.
- Tan, S.; B. Chen.; H. Wang.; H. Che.; H. Yu & G. Shi. ۲۰۲۲. Variations in Aerosol Optical Properties over East Asian Dust Storm Source Regions and Their Climatic Factors during ۲۰۰۰-۲۰۲۱. *Atmosphere* ۲۰۲۲, ۱۳(۶), ۹۹۲. <https://doi.org/10.3390/atmos13060992>.
- Wang, W. ۲۰۰۵. A synoptic model on East Asian dust emission and Transport. In *Atmospheric science and air quality conference, Beijing, China* ۲۰۰۵ Apr ۲۷. https://ams.confex.com/ams/ASAAQ2005/techprogram/paper_90264.htm.
- Weihong, Q, and Shaoyin shi. ۲۰۰۱. Variations of the dust storm in china and its climate control, *journal of climate*, ۱۵,۱۰: ۱۲۱۶-۱۲۲۹. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1216:VOTDSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1216:VOTDSI>2.0.CO;2).