

واکاوی همدیدی توفان‌های گرد و خاک شمال غرب ایران

فرامرز خوش اخلاق^۱، فرشاد پژوه^{۲*}، فرزانه جعفری همبری^۳، صنم کوهی^۴

^۱ دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
^۲ دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
^۳ دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران
^۴ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۲۰، تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۸

چکیده

این پژوهش به منظور شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر در ایجاد توفان‌های گردوخاک با استفاده از داده‌های ساعتی میزان دید و با در نظر گرفتن کدهای هواشناسی مربوط به پدیده گردوخاک در ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آذربایجان‌های شرقی و غربی توفان‌های گردوخاک برای یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۶) استخراج شد. سپس با بهره گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز پیش‌بینی‌های جوی و اقیانوسی آمریکا ویژگی‌های پویایی-همدیدی هر یک از توفان‌های گردوخاکی مورد واکاوی قرار گرفت. تعیین منابع اصلی گردوخاک برای هر یک از توفان‌های منتخب با بهره‌گیری از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک و با استفاده از روش ردیابی پسگرد به انجام رسید. نتایج پژوهش نشان داد که بیشتر توفان‌های گردوخاک شمال غرب کشور در فصل بهار و ماه مه (اردیبهشت) رخ می‌دهند. همچنین سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بیشترین فراوانی روزهای گردوخاکی را داشته‌اند. از دیدگاه همدیدی مشخص شد فراگیری، تداوم و شدت توفان‌های گردوخاکی با موقعیت سامانه‌های کم‌فشار سطح زمین واقع بر روی غرب و جنوب غرب آسیا هماهنگ می‌باشد. در بررسی همدیدی توفان‌های گردوخاکی ۳ الگوی فشار تراز دریا با آرایش‌های متفاوت، به‌عنوان الگوهای اصلی در زمان وقوع توفان‌ها مشخص گردید. نتایج حاکی از ایجاد شیو فشاری قوی ناشی از گسترش کم فشارهای گرم از عرض‌های جنوبی و پرفشارهای سرد عرض‌های بالایی به سمت غرب و جنوب غرب آسیا و بلند شدن ذرات گردوخاک از سطح زمین و وزش جریانات گرد و خاکی به سمت منطقه مورد مطالعه با راستایی جنوب غربی به شمال شرقی توسط ناوه‌های کم عمق مستقر بر روی منابع گردوخاک در سوریه، عراق و عربستان در سطوح میانی وردسپهر است.

کلمات کلیدی: توفان گردوخاک، کم‌فشار، مدل لاگرانژی ردیابی ذرات، ناوه کم عمق، شمال غرب ایران

طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی هرگاه سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه (حدود ۳۰ نات) تجاوز کند و دید افقی به علت گردوخاک به کمتر از یک کیلومتر (۱۰۰۰ متر) برسد توفان گردوخاک رخ داده است. توفان‌ها معمولاً با هوای ناپایدار همراه هستند. اگر هوای ناپایدار رطوبت مناسب داشته باشد، توفان رعدوبرق یا تندری و اگر خشک باشد توفان گردوخاک نامیده می‌شود. (علیجانی، ۱۳۹۰). حدود یک‌سوم سطح کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک پوشانده است که منابع اصلی غبارهای معدنی در دنیا هستند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). بزرگ‌ترین پایدارترین منابع تولید گردوخاک در نیم‌کره شمالی زمین قرار دارند و این مناطق همچون کمربندی از گردوخاک از سواحل شمال غربی آفریقا آغاز شده و ضمن عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسد (اسماعیلی، ۱۳۸۵).

پدیده گردوخاک اثرات مهمی بر محیط‌زیست و سلامت انسان می‌گذارد. اثرات محیطی شامل فرسایش خاک، رسوب‌گذاری، پخش سموم گیاهی و کشاورزی در جوو دیگر مواد خطرناک است (ریویرا و همکاران، ۲۰۱۰). پدیده گردوخاک، مانع رسیدن نور خورشید به زمین شده و در نتیجه ۳۰ تا ۵۰ درصد میزان محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند (وی و همکاران، ۲۰۰۳). در مناطقی که گردوخاک وجود دارد، کاهش رشد گیاهان و عدم رشد برگ را می‌توان مشاهده کرد (لیلی و همکاران، ۲۰۰۹). ذرات گردوخاک معدنی به‌طور مستقیم بر شرایط آب‌وهوایی و به‌طور غیرمستقیم بر جذب و پخش پرتوهای نور خورشید تأثیر می‌گذارند. این ذرات بر تشکیل ابرها، خصوصیات ابرها و میزان بارش‌های جوی تأثیر دارند (کروگر و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعه شاهسونی و همکاران در سال ۲۰۱۱ بر روی اثرات توفان‌های گردوخاک بر سلامت و محیط‌زیست به این نتیجه رسیدند که ذرات گردوخاک منجر به شیوع بیماری‌ها از جمله مننژیت، تب دره و آسم و بیماری‌های ویروسی، صدمه به DNA سلول‌های پوست و ریه می‌گردد. نتایج تجربی گزارش شده در این مطالعه

نشان می‌دهد به ازای افزایش هر 10 mg/m^3 غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از $1.0 \mu\text{m}$ در زمان رخداد گردوخاک، میزان مرگ‌ومیر ۱ درصد افزایش می‌یابد (شاهسونی، ۲۰۱۱). در مطالعه‌ای که توسط توبیاس و همکاران بر روی اثرات کوتاه‌مدت ذرات گردوخاک بر روی مرگ‌ومیر در طی شیوع گردوخاک ساهاران در اسپانیا انجام شد، میزان مرگ‌ومیر را در روزهای با گردوخاک و بدون گردوخاک بررسی کردند. محققین به این نتیجه رسیدند که در طی روزهای همراه با گردوخاک ساهاران افزایش 10 mg/m^3 ذرات PM_{10-25} مرگ‌ومیر کل را $2/8$ درصد در مقایسه با $0/6$ درصد روزهای بدون گردوخاک افزایش می‌دهد (توبیاس و همکاران، ۲۰۱۱). از میان صنایع مختلفی که مورد آسیب قرار می‌گیرند مطالعات تخصصی روی صنعت آب‌وبرق استان خوزستان نشان داده است که گردوخاک‌ها پست‌های برق این استان را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. تعداد حوادث در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به ترتیب از ۷۸۳ به ۱۲۳۴ مورد رسیده است. همچنین این پدیده شبکه توزیع برق را دچار مات جدی کرده و سبب خاموشی‌های زیادی شده است که آمار آن از سال ۱۳۸۷ یعنی ۱۹۴ مورد به ۳۸۳ مورد در سال ۱۳۸۸ رسیده است (حبیبیان و جورابیان، ۱۳۹۰، ۱۱۵۹).

مجموعه تحقیقاتی که در زمینه مخاطره‌های توفان گردوخاک انجام شده است در دو دسته آماری و همیدی قابل تفکیک می‌باشند. تخمین زده می‌شود که هر ساله حدود 5×10^8 تن گردوخاک در جو پخش می‌شود. برآوردها نشان می‌دهد که از صحرای بزرگ آفریقا به تنهایی $3/3 \times 10^8$ تن گردوخاک در جو زمین رها می‌شود که ۶۶ درصد کل گردوخاک جوی است. پدیده گردوخاک می‌تواند تا ۴۰۰۰ کیلومتر دورتر از منشأ تشکیل نیز جابه‌جا شود (کوتیل و فورمن، ۲۰۰۳). مطالعه توفان‌های گردوخاک کشور مغولستان (ناتساگدوری و همکاران، ۲۰۰۲) نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی وقوع این توفان‌ها در غرب مغولستان قرار دارد که تحت تأثیر بیابان گبی و دریاچه‌های بزرگ غرب مغولستان می‌باشد. بیشتر این نوع توفان‌ها در بهار رخ می‌دهد که هوا و خاک

خشک هستند. همچنین مهم‌ترین منبع گردوخاک های وارده به ایران را صحراهای سوریه و عراق، صحرای النفوذ در شمال عربستان و شمال صحرای بزرگ آفریقا می دانند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). چاله های مرکزی ایران بیشترین روزهای همراه با پدیده گردوخاک را دارند. به طور مثال در منطقه وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان فراوانی وقوع روزهای گردوخاکی به بیش از ۱۵۰ روز می رسد. در مناطق غربی و جنوب غربی کشور که در مجاورت بیابان های بزرگ قرار دارند نیز روزهای گردوخاکی در مردادماه بیشتر از ماه های دیگر است. (هامیش، ۲۰۰۸) مسیره های حمل گردوخاک از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک^۱ واکاوی و بیان کردند که گردوخاک این دریاچه تحت تأثیر جریانات جوی در طی یک دوره کوتاه مدت قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد. (وانگ، ۲۰۱۱) با استفاده از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک توفان های شن و گردوخاک سال ۲۰۰۸ را بررسی کردند و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گردوخاک معرفی کردند. مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) برای تعیین منابع اصلی گردوخاک برای هر یک از توفان های گردوخاکی از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک و با استفاده از روش ردیابی پسگرد استفاده کردند. خروجی های مدل آن ها نشان داد که به طور کلی منابع اصلی گردوخاک برای توفان های گردوخاکی جنوب غرب ایران محدوده های در حدفاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان است. بررسی مسیره های انتقال ذرات در توفان های گردوخاک از وجود یک تراز زیرین خبر می دهد که موجب انتقال افقی ذرات گردوخاک در یک لایه کم عمق گردیده که از پخش عمودی آن در لایه های بالاتر جو جلوگیری می کند.

تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاک ایران رابطه معکوس با روزهای بارانی دارد (علیجانی، ۱۳۹۰). این بدان معناست که پدیده گردوخاک خاص مناطق گرم

و کم بارش ایران است. از سوی دیگر تعداد روزهای گردوخاک ایران هم نشان می دهد که در ماه های گرم و کم بارش بر تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاکی افزوده می شود (مسعودیان، ۱۳۹۰). هلالی (۱۳۹۲) در بررسی ایستگاه های همدیدی کشور طی سال های ۲۰۰۵-۱۹۵۱ بیان کرد حداکثر تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاک عمدتاً در مناطق جنوبی کشور متمرکز شده است، به طوری که در ماه آوریل (اردیبهشت) حداکثر آن در ایستگاه های یزد، دزفول و زابل است و بیشترین تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاک در مقیاس سالانه مربوط به استان های سیستان و بلوچستان، خوزستان، بوشهر، شیراز و یزد است.

چشمه های اصلی تولید گردوخاک در مناطق مرکزی و غربی، نواحی شرقی سوریه و شمال غربی عراق است که ذرات معلق با حرکت سامانه های توفانی ایران را تحت تأثیر قرار می دهد. ایجاد شیو فشاری زیاد بین سامانه های کم فشار و پرفشار، با گسترش زبانه سامانه کم فشار گرمایی از مرکز ایران تا شمال عراق و توسعه سامانه پرفشار از روی دریای سیاه تا روی دریای خزر، با افزایش سرعت باد شرایط برای تولید گردوخاک فراهم می شود. (رنجبر سعادت آبادی و عزیزی، ۱۳۹۱). گرمایش زمین، مرکز کم فشاری بر روی خلیج فارس را به وجود می آورد. این مرکز کم فشار هوای شبه جزیره عربستان را به داخل ایران می کشد. ورود هوای گرم و خشک عربستان به داخل ایران سبب بالا رفتن دمای شهرهای جلگه خوزستان می شود و هوای گرم و خشک بر این منطقه حاکم می شود. در سواحل ایرانی خلیج فارس به دلیل عبور هوای عربستان از روی دریای گرم شرایط شرعی حاکم می گردد. در دوره سرد سال هوای بیابان عربستان در پشت جبهه گرم چرخندهای مدیترانه وارد ایران می شود و اکثر اوقات به دلیل خشک بودن، توفان خاک و ماسه را به وجود می آورد (علیجانی، ۱۳۹۰، ۴۴). همتی (۱۳۷۴) نیز وقوع توفان های گردوخاک جنوب غرب ایران به ویژه جلگه خوزستان را با حضور سامانه های چرخندی که از نواحی شمال عراق و بخش های مرکزی شبه جزیره عربستان می گذرند مرتبط



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه پژوهش

گردوخاک و کاهش دید افقی شده‌اند.

در مقاله حاضر با توجه به اهمیت پدیده گردوخاک و ماتی که با حضور آن در مناطق مختلف ایجاد می‌شود و از طرف دیگر گسترش وسیع مکانی آن در منطقه شمال غرب کشور در سال‌های اخیر، سعی بر این است تا ابتدا واکاوی آماری پدیده گردوخاک انجام شود و سپس از دیدگاه همدیدی مناطق منشأ و شرایط جوی مناسب برای گیری و انتقال آن بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش شمال غرب کشور و استان‌های آذربایجان غربی و شرقی را در برمی‌گیرد. محدوده ی پژوهش از شمال با کشورهای آذربایجان و ارمنستان، از غرب با کشورهای ترکیه و عراق، از جنوب با استان‌های زنجان و کردستان و از سمت شرق با استان اردبیل هم‌مرز است. (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه پژوهش و ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد.

در این مطالعه از دودسته داده جهت واکاوی الگوهای همدیدی توفان‌های گردوخاک شمال غرب کشور استفاده شده که عبارت از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی زمینی و داده‌های ترازهای سطوح یالایی جو است. داده‌های ایستگاه های هواشناسی زمینی مورد استفاده در پژوهش شامل داده‌های هوای حاضر (ww) که شامل کدهای ۰۵ تا ۰۹ و ۳۰ تا ۳۵ جهت شناسایی و نوع

می‌داند. ولی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی توفان‌های گردوخاک فراگیر در جنوب و مرکز ایران در ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ حاکمیت کم‌فشار قوی در شرق ایران و پرفشار در شمال آفریقا و ایجاد بادهای غربی قوی را عامل ورود گردوخاک حداکثری به منطقه دانستند. فرح‌بخشی و همکاران (۱۳۹۴) با واکاوی همدیدی توفان گردوخاک فراگیر ۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲ کشور، بیان کردند که گسترش مرکز کم‌فشار با مرکزیت کشور پاکستان بر روی نیمه جنوبی ایران و کشورهای عراق و سوریه با ایجاد حرکات چرخندی در جو، سبب انتقال ذرات گردوخاک از روی بیابان‌های خشک به ترازهای میانی جو شده و هسته اولیه توفان را ایجاد کرده و استقرار پرفشار بر روی شمال خزر و روسیه سبب افزایش شیب فشار در منطقه و رخداد پدیده‌گردوخاک شده است. همچنین خروجی مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک منابع اصلی گردوخاک را بیابان‌های غربی عراق و شرقی سوریه نشان داد. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در واکاوی همدیدی گردوخاک نیمه گرم سال در استان خراسان جنوبی دو الگوی همدیدی غالب را معرفی کردند که در الگوی تابستانه زبانه پر ارتفاع جنب حاره بر روی ایران و کم ارتفاع بر روی پاکستان در سطوح یالایی جو و اختلاف فشار بین آن‌ها و در الگوی بهاره، ناه بادهای غربی در مرکز و غرب ایران در سطوح یالایی جو و کم‌فشار در سطح زمین و جو ناپایدار در بیابان‌های مرکزی ایران و غرب استان موجب انتقال

جدول ۱: کدهای گردوخاک و توضیحات آن (منبع: سازمان هواشناسی کشور)

شماره شناسه	تعریف شناسه
۰۵	کدورت هوا
۰۶	گردوخاک معلق در هوا که در اثر توفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است
۰۷	گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است
۰۸	گردباد (گردبادهای تکامل یافته در ایستگاه و یا اطراف آن)
۰۹	توفان گردوخاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه
۳۰	توفان، ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است
۳۱	توفان، ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت توفان تغییر نکرده است
۳۲	توفان، ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است
۳۳	توفان شدید، گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است
۳۴	توفان شدید، گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت توفان تغییر نکرده است
۳۵	توفان شدید، گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است

توفان‌های گردوخاک برای منطقه شمال غرب ایران شناسایی گردید.

بازه فضایی در نظر گرفته شده برای ترسیم نقشه‌ها از استوا تا ۷۵ درجه عرض شمالی و نصف النهار گرینویچ تا ۹۰ درجه طول شرقی است که در آن تقریباً تمامی الگوهای جوی قابل ردیابی هستند.

داده‌های این تحقیق شامل کدهای روزانه گردوخاک بودند که بر پایه آن‌ها مقادیر افق دید برحسب متر استخراج شد. (۱) کدها و توضیحات آن‌ها را نشان می‌دهد؛ که از گزارش‌های هوای حاضر مرکز خدمات ماشینی سازمان هواشناسی برای ۸ ایستگاه واقع در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی طی بازه ی آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۰ به عنوان داده‌های آماری این تحقیق استخراج شد.

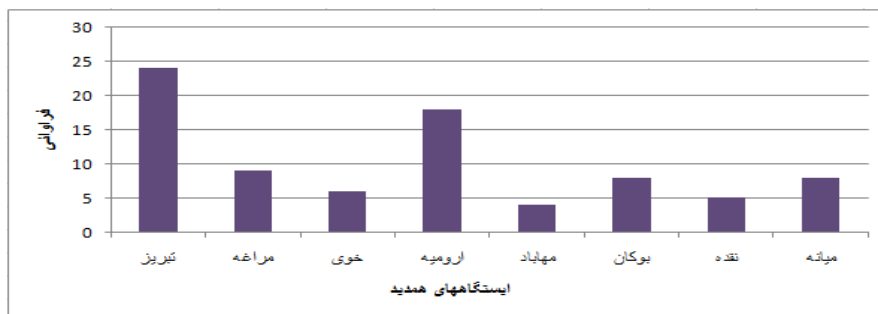
مدل مسیریابی لاگرانژی تک ذره‌ای هیبریدی برای اولین بار توسط آزمایشگاه منابع هوای سازمان جوی و اقیانوسی آمریکا^۲ در سال ۱۹۸۲ با کمک اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافته که کاربردهای آن شامل ردیابی و پیش بینی مسیر مواد آلوده کننده آزاد، مسیریابی ذرات هوا، خاکسترهای آتش فشان‌ی و دوده‌های ناشی از آتش سوزی‌ها جنگل‌ها است. مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک یک سامانه کامل برای محاسبه مسیرهای ساده ذرات هوا و پراکندگی‌های پیچیده و شبیه سازی آن‌ها است. روش محاسبات مدل، یک روش مختلط بین روش

غالب گردوخاک بوده و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر به عنوان کمینه دید در طول یک روز، روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌های منتخب در شمال غرب کشور طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ شناسایی گردید. داده‌های ترازهای یالایی جو شامل داده‌های باز کاوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، امگا، باد مداری و نصف النهاری است که از مرکز ملی پیش بینی محیطی در کلرادو^۲ اخذ شده است. در ادامه داده‌های موجود مورد واکاوی و مقایسه قرار گرفتند و در نهایت الگوهای همدیدی اصلی تعیین گردید. نقشه‌های مربوط به هر الگو توسط نرم افزار گرادس^۳ ترسیم شدند. روش مورد استفاده برای نگاشت و واکاوی همدیدی توفان گردوخاک محیطی به گردشی است. برای به دست آوردن مسیر حرکت ذرات با استفاده از مدل‌های عددی، از مدل پخش لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک برای به دست آوردن منشأ توفان و مسیر حرکت آن استفاده شد. مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک برای تمام موارد انتخاب شده اجرا گردید و خروجی مدل با نقشه‌های همدیدی مقایسه شد که در همه موارد خروجی مدل با دقت بسیار زیادی توانست منشأ گیری و نحوه انتشار توفان‌ها را شبیه سازی کند. با واکاوی نقشه‌های فشار تراز سطح دریای روزهای گردوخاک نیز ۳ الگوی همدیدی

2-National Centers for Atmospheric Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR)

3-Grid Analysis and Display System

4- National Oceanic and Atmospheric Administration



شکل ۲: روزهای گردوخاک ایستگاه‌های منتخب طی دوره پژوهش (۲۰۱۰-۱۹۹۶)

پدرازش قرار گرفته است. این داده‌ها با قدرت تفکیک افقی 1×1 درجه، برای ۲۶ تراز فشاری ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس است. داده‌های واکاوی شده عملیاتی مقیاس جهانی نهایی پیش‌بینی‌های جوی از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی^۵ برای تهیه داده‌های اولیه ورودی به سامانه استفاده می‌نماید. سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی نیز وظیفه جمع‌آوری داده‌های مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور^۶ و سایر منابع به صورت بی‌وقفه و پیوسته بر عهده دارد. در نهایت داده‌های نهایی پیش‌بینی‌های جوی با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی^۷ استفاده می‌کند تولید می‌گردد (استوندر، ۱۹۹۷).

نتایج و بحث

با توجه به ۲ ایستگاه تبریز با ۲۴ و ارومیه با ۱۸ مورد توفان گردوخاک بیشترین روزهای گردوخاک و ایستگاه‌های نقده و مهاباد کمترین رخداد روزهای گردوخاک را در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ داشته‌اند. ۳ فراوانی سالانه روزهای گردوخاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است سال ۲۰۰۹ و ۲۰۰۸ بیشترین میزان روزهای همراه با پدیده گردوخاک را در طول دوره آماری مورد بررسی. وجود داشته است. ۴ فراوانی ماهانه گردوخاک را در دوره زمانی ۱۴ ساله نشان می‌دهد.

لاگرانژی (که چارچوب متحرکی را برای حرکات ذرات مورد استفاده قرار می‌دهد) و روش اویلری (که چارچوب ثابت سه‌بعدی را برای حرکت‌های ذرات مورد استفاده قرار می‌دهد) می‌باشد. در مدل فرارفت و پخش ذرات، محاسبات در یک چارچوب لاگرانژی ساخته می‌شوند و در ادامه برای محاسبه انتقال ذرات هوا و غلظت مواد آلاینده از یک چارچوب اویلری استفاده می‌شود (دراکسلر، ۲۰۰۷). در سطح جهان مطالعات گوناگونی با استفاده از این مدل انجام گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (سکودرو، ۲۰۰۶) به بررسی توفان‌های ورودی به اسپانیا با منشأ صحرای آفریقا با استفاده از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک پرداختند. دراکسلر (دراکسلر، ۲۰۰۱) به مسیریابی توفان‌های گردوخاک عراق و کویت با استفاده از مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک پرداختند. استوندر (استوندر، ۲۰۰۷) به پیش‌بینی مسیر پخش ذرات آتش‌فشانی با استفاده از مدل پخش هیبریدی پرداخت.

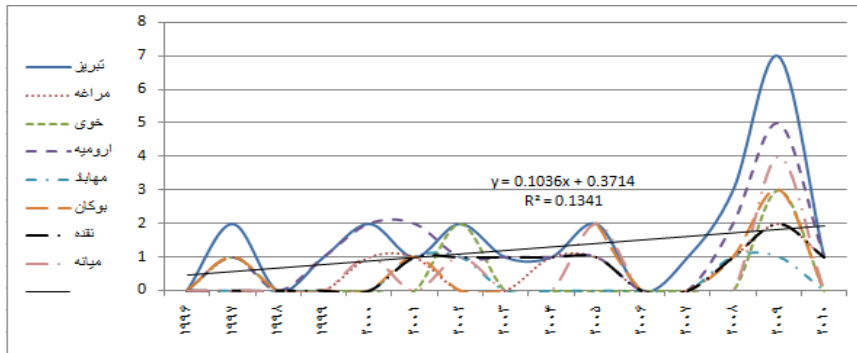
تنظیمات مدل

برای مسیریابی ذرات گردوخاک در ایستگاه‌های منتخب منطقه پژوهش از نسخه ۵ مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردوخاک استفاده شد و ذرات در سه تراز ارتفاعی ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح دریا و در حدفاصل زمانی ۴۸ ساعت قبل تا روز رخداد توفان ردیابی شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های مرکز پیش‌بینی‌های جوی آمریکا استفاده شد که توسط لابراتوار منابع هوا وابسته به سازمان جوی و اقیانوسی آمریکا مورد باز

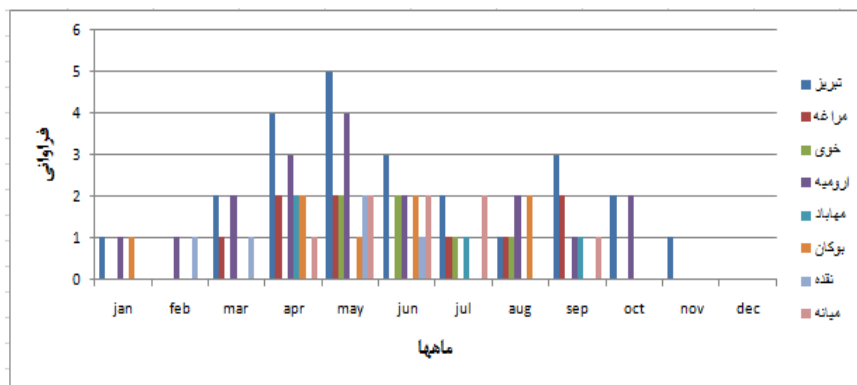
5- Global Data Assimilation System

6- Global Telecommunications System

8- Global Forecast System



شکل ۳: فراوانی سالانه گردوخاک در ایستگاه‌های منتخب طی دوره پژوهش (۱۹۹۶-۲۰۱۰)



شکل ۴: فراوانی ماهانه گردوخاک در ایستگاه‌های منتخب طی دوره پژوهش (۱۹۹۶-۲۰۱۰)

جدول ۲: توزیع فصلی روزهای گردوخاک برحسب درصد

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
تبریز	۵۴.۱	۲۰.۸	۸.۳	۴.۱
مراغه	۴۱	۳۳.۲	۱۵	۱۰.۸
خوی	۶۶	۲۴	۶	۴
مهاباد	۷۵	۲۵	۰	۰
ارومیه	۴۷	۳۶	۱۰	۷
بوکان	۶۲.۵	۲۵	۹	۳.۵
نقده	۴۰	۴۰	۲۰	۰
میانه	۴۰	۳۷.۵	۲۷.۵	۰

دید می‌شود. با استفاده از روش چشمی و مقایسه نقشه‌های فشار تراز دریا ۳ الگوی همدیدی در زمان رخداد توفان‌های گردوخاک فراگیر شمال غرب کشور شناسایی شد. الگوی اول با ۵۲ درصد و در فصل بهار بیشترین میزان روزهای گردوخاک را داشته است. ویژگی‌های مهم این الگو فراگیری، تداوم و شدت (میزان دید و شماره کد

بیشترین روزهای گردوخاک در ماه مه (خردادماه) دیده می‌شود. در ماه دسامبر (آذر ماه) نیز روزهای گردوخاک وجود نداشت.

بررسی توزیع فصلی روزهای گردوخاک برای منطقه شمال غرب کشور (۲) نشان می‌دهد که بیشترین میزان وقوع گردوخاک مربوط به فصل بهار و تابستان است و کمترین میزان رخداد نیز در فصل‌های زمستان و پاییز

جدول ۳: مشخصات الگوهای همیدی توفان‌های گردو خاک فراگیر

شماره الگو	درصد	تعداد	فصل رخداد
۱	۵۲/۲۷	۲۳	بهار- پاییز
۲	۳۶/۳۷	۱۶	تابستان- بهار- پاییز
۳	۱۱/۳۶	۵	بهار

نسبت به دو الگوی دیگر می‌باشد؛ اما الگوی دوم با ۳۶ درصد بیشتر برحسب شدت حائز اهمیت می‌باشد و نسبت به الگوی اول فراگیری و تداوم کمتری در روزهای گردو خاک آن دیده می‌شود. الگوی سوم نیز به‌ندرت اما با آرایش خاص سامانه‌های همیدی رخ می‌دهد؛ و در زمان وقوع بیشتر ایستگاه‌های شمال غرب با پدیده گردو خاک روبه‌رو می‌شوند. ۳ ویژگی‌های آماری الگوهای همیدی شناسایی شده را نشان می‌دهد.

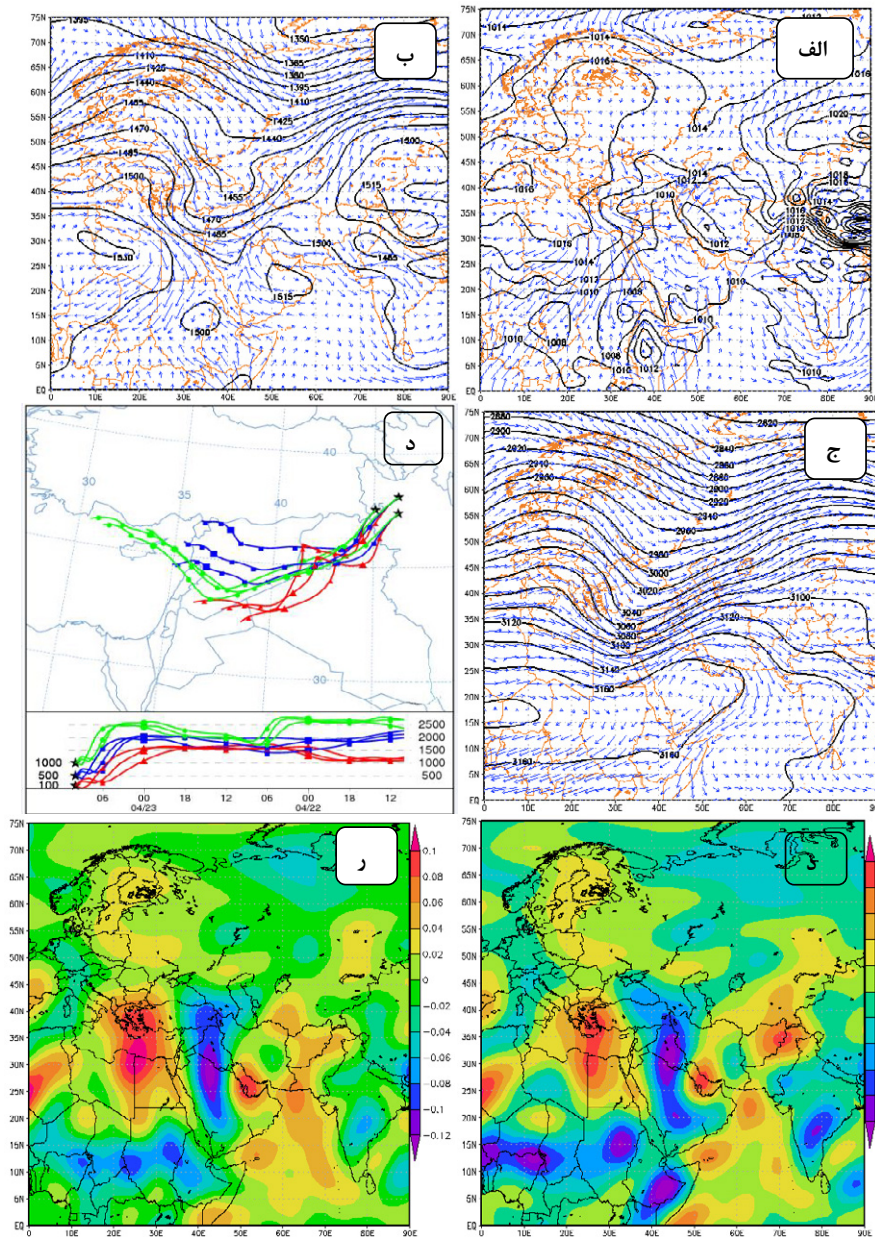
واکاوی همیدی

جهت واکاوی همیدی نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل با بردار باد در تراز دریا و همچنین نقشه تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه نقشه امگا در ترازهای یادشده برای همه روزهای گردو خاک فراگیر در هر یک از الگوهای سه‌گانه ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت.

الگوی اول

در این الگو زبانه سامانه کم‌فشار با منشأ سودانی و با راستایی جنوب به شمال تا نواحی شمالی دریای سیاه گسترش یافته است (۵-الف). هم‌راستا با این کم‌فشار حرارتی، پرفشار سرد قدرتمند تبت با ورود از نیمه شرقی ایران ضمن ایجاد شیو فشاری شدید در نیمه شمال غربی موجب همسویی شدید در بادهای نواحی خشک و بیابانی عراق و سوریه به سمت منطقه مورد مطالعه پژوهش گردیده است. وزش باد نیز با جهتی پادساعت‌گرد با جهتی جنوب غربی و غربی از روی عراق و سوریه ذرات گردو خاک را از زمین بلند کرده است. منطبق بر نقشه فشار تراز دریا در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ (۵-ب) هکتوپاسکال

نیز ناوه حاصل از کم ارتفاع شمال روسیه بر روی شمال عراق کشیده شده است که استقرار نیمه شرقی و جلوی ناوه بر روی بیابان‌های سوریه، عراق و شمال عربستان شرایط را برای برداشت ذرات گردو خاک و انتقال آن بر روی شمال غرب کشور فراهم می‌آورد؛ اما در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیق تر گشته که سبب تشدید جریان باد جنوب غربی از روی بیابان‌های عراق و سوریه گردیده است. استقرار بر ارتفاع بر روی عربستان و گسترش آن تا نیمه غربی ایران و در جانب غربی و پشت کم ارتفاع درروی دریای مدیترانه که با مانع شدن از ارسال رطوبت به درون ناوه و قرارگیری ناوه کم‌عمق بر روی مناطق بیابانی شرایط را برای بلند کردن ذرات از مرکز کم‌فشار سطح زمین و انتقال آن بر روی منطقه مورد مطالعه این پژوهش فراهم کرده است. با انطباق نقشه‌های همیدی و خروجی مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردو خاک (۵-د) منابع اصلی گردو خاک در محدود ای در حدفاصل شرق مدیترانه، بیابان‌های جنوب سوریه و شرق اردن می‌باشد. نکته این که جریان‌های گردو خاک از روی مناطق خشک عراق عبور کرده است که موجب افزایش در حجم ذرات انتقالی گردیده است. گسترش وزش‌های جنوب به شمال توسط کم‌فشارهای حرارتی و ناوه تراز میانی جو از سمت سرزمین عربستان و با عبور از مناطق خشک داخلی، چشمه‌های گردو خاک داخلی مانند نواحی جنوب شرق خوزستان را نیز فعال و بر حجم و فراگیری ذرات گردو خاک در منطقه شمال غرب ایران می‌افزاید. رخداد این الگو بیشتر در فصل بهار و به‌صورت اندک در فصل پاییز نیز دیده می‌شود. بیشتر توفان‌های فراگیر و بادوام گردو خاک نیز در این الگو می‌گیرد. نقشه‌های میانگین امگا (۵-ذ-ر) در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای



شکل ۵: الف: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و باد برداری، ب و ج: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای توفان گردوخاک فراگیر الگوی اول، د: خروجی مدل HYSPLIT برای منابع و مسیر گردوخاک، ذ و ر: نقشه امگا در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای گردوخاک الگوی اول

با واگرایی ضعیف گسترش می‌یابد. در واقع می‌توان با مقایسه نقشه‌های امگا و ردیابی ذرات گردوخاک چنین نتیجه گرفت که امگای منفی قوی (صعود شدید) ذرات گردوخاک را از سطح زمین و منابع گردوخاک واگرا کرده و توسط جریان شرق ناوه با امگای منفی ضعیف (صعود ضعیف) با کاهش ارتفاع ذرات فرارفتی بر روی منطقه

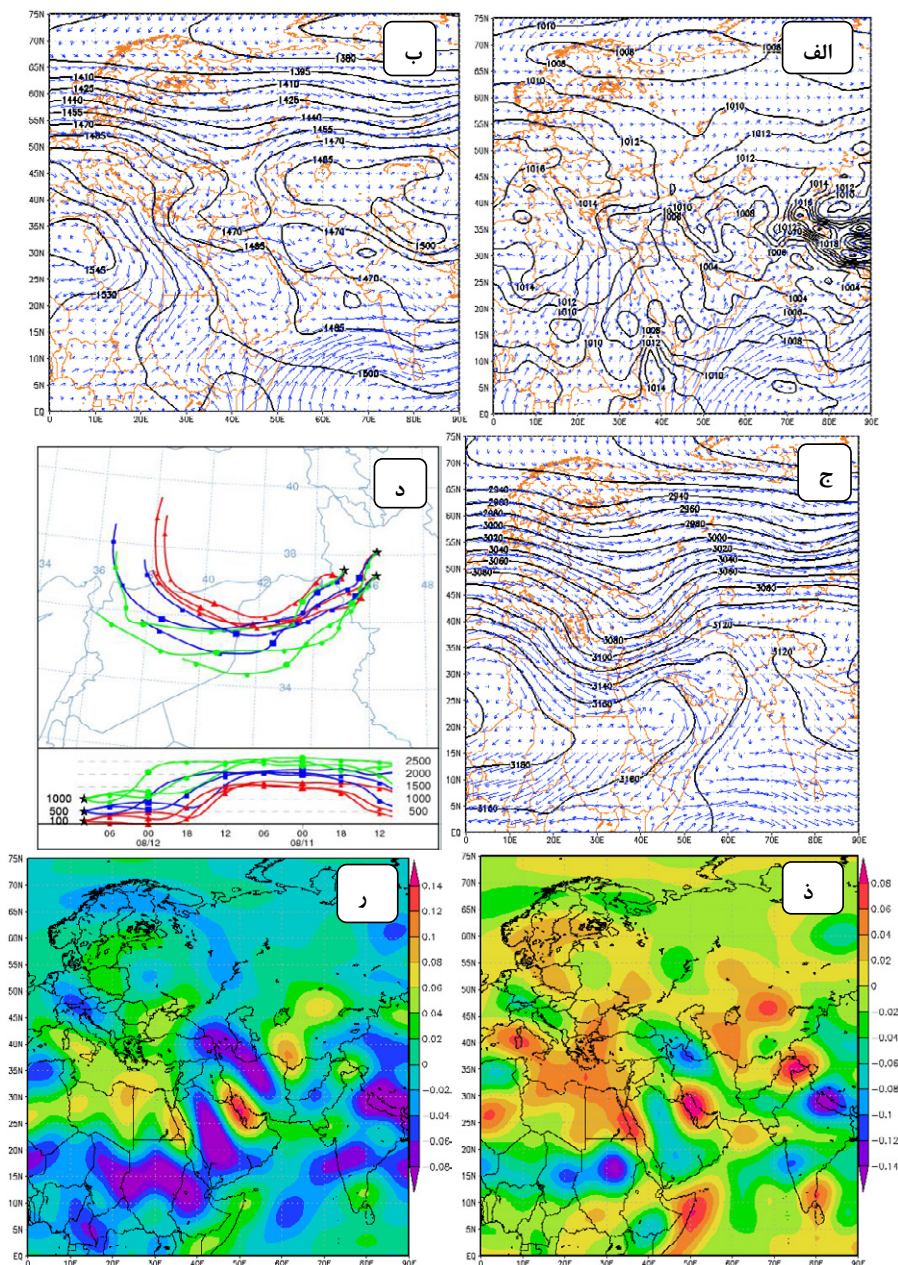
روزهای فراگیر گردوخاک در الگوی اول نشان می‌دهد که در زمان رخداد توفان‌های گردوخاک منطقه شمال غرب ایران، هسته‌های بیشینه امگای منفی با شدت ۰٫۱- تا ۰٫۱۲- پاسکال بر ثانیه بر روی منابع اصلی گردوخاک شمال عربستان، عراق و شرق سوریه قرار می‌گیرد که با راستایی همسو با شرق ناوه به سمت منطقه پژوهش

مورد مطالعه این پژوهش همگرا و نزول یافته است.

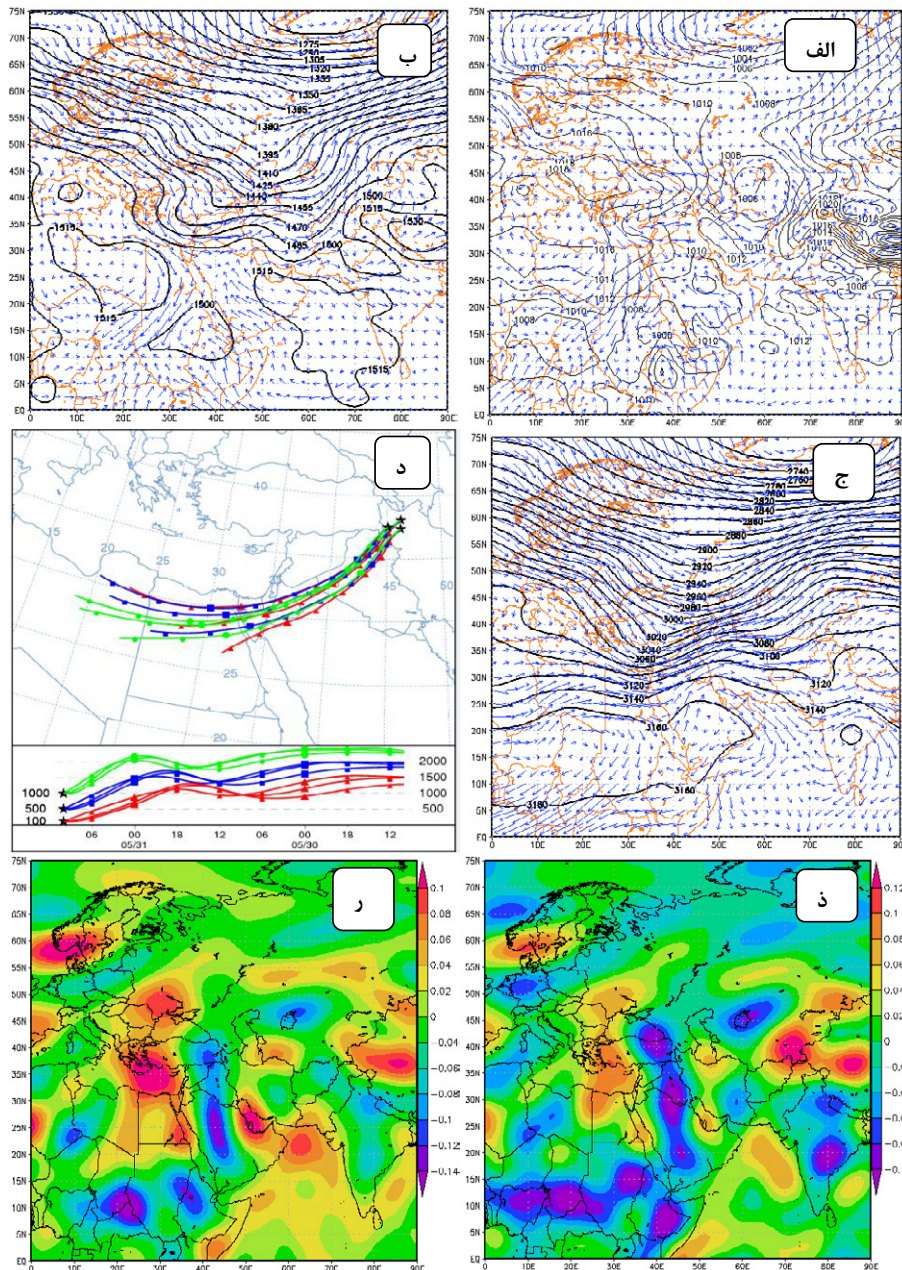
سرزمین‌های شرقی ایران یعنی پاکستان، هند و افغانستان است و با روندی جنوب شرقی به شمال غربی و بسیار گسترده‌تر از کم‌فشارهای جنوبی در الگوی اول است و به‌جای نفوذ پرفشار سبیری، بانفوذ کم‌فشار حرارتی بیشتر کشور تحت تأثیر کم‌فشار چنددهسته‌ای

الگوی دوم

الگوی دوم در فشار تراز دریا تا حدودی به الگوی اول شباهت دارد با این تفاوت که منشأ کم‌فشار از



شکل ۶: الف: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و باد برداری، ب و ج: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای توفان گردوخاک فراگیر الگوی دوم، د: خروجی مدل ردیابی ذرات گردوخاک برای منابع و مسیر گردوخاک، ذ و ر: نقشه امگا در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای گردوخاک الگوی دوم



شکل ۷: الف: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا و باد برداری، ب - ج: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتاسیل و باد برداری در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای گردوخاک فراگیر الگوی سوم، د: خروجی مدل HYSPLIT برای منابع و مسیر گردوخاک، ذ - ز: نقشه امگا در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای گردوخاک الگوی سوم

گردوخاک در شمال غرب ایران می‌شوند. این سامانه‌ها از منطقه فعالیت جریان‌های مونسون که در تابستان ظاهر می‌گردند، منشأ می‌گیرند. اغلب نیز به صورت کم‌فشارهای چندمرکزی بر روی پاکستان، خلیج فارس و عراق بر روی منطقه نفوذ می‌کنند (۶-الف). در این

پاکستان- خلیج فارس قرار دارد. همچنین میزان فشار مرکزی سامانه در این الگو کمتر از الگوی اول و عموماً از ۹۹۴ تا ۱۰۰۲ هکتوپاسکال است. در زمان رخداد الگوی دوم سامانه‌های کم‌فشاری که از شرق و جنوب شرق کشور ایران حرکت می‌کنند، موجب رخداد توفان‌های

سامانه کم‌فشار با مرکز بسته ۱۰۰۲ هکتوپاسکال با عبور از روی خلیج فارس و با روندی جنوب‌شرقی-شمال‌غربی بیشتر کشور تا شمال غرب منطقه را فراگرفته است. قرارگیری پرفشاری با گردش ساعت‌گرد در شمال کم‌فشار در شمال ترکیه نیز موجب تشدید جریان‌ات پادساعت‌گرد کم‌فشار از روی بیابان‌های سوریه، عراق و شمال عربستان به سمت منطقه پژوهش گردیده است. در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز منطبق بر ساختار نفوذی کم‌فشار تراز دریا، کم ارتفاعی با مرکز بسته ۱۴۴۰ ژئوپتانسیل‌متر بر روی کشور پاکستان بسته شده و با گردش پادساعت‌گرد در تقابل با پر ارتفاع بسته شمال شرقی، شیو فشاری شدیدی را ایجاد کرده است که گردو خاک را از سطح زمین بلند کرده و سمت و سرعت باد موجب انتقال آن به سمت پهنه شمال غرب کشور شده است (۶-ب). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال موقعیت سامانه‌های ارتفاعی تغییر یافته، به گونه‌ای که در سراسر کشور به جزء گوشه شمال غرب زبانه‌های حاصل از پر ارتفاع جنب حاره به صورت پشته‌ای عمیق از سمت قاره آفریقا و با عبور از روی سرزمین عربستان حاکم گردیده است و در شمال غرب کشور نیز بانفوذ ناوه حاصل از کم ارتفاع شمال روسیه از نیمه شرقی اروپا با موقعیتی مداری و غربی- شرقی در روی عراق و سوریه روبه‌رو شده است. مشاهده می‌شود که پشته عظیم هسته گرم حاکم بر روی کشور با شیو فشاری قوی که با کم ارتفاع هسته سرد شمال غربی ایجاد کرده موجب تقویت جریان‌ات پادساعت‌گرد عبوری از روی بیابان‌های خاورمیانه و هورهای خشک عراق در فصل گرم شده است. در این تراز نیز قرارگیری سامانه‌های پر ارتفاع بر روی عربستان و دریای مدیترانه موجب قطع جریان‌های فرارفت رطوبتی و تقویت پایداری بر روی بخش عظیمی از کشور شده است. نقشه‌های ردیابی ذرات گردو خاک نیز نشان می‌دهد که منشأ گردو خاک شمال غرب بیابان‌های شرقی و شمالی سوریه می‌باشد که با عبور از روی سرزمین خشک عراق با انباشتگی بیشتر در حجم ذرات مواجه شده است. جریان‌ات گردو خاک بلند شده از

سطح زمین در ارتفاع کمتر از ۲۵۰۰ متر حرکت خود را آغاز کرده‌اند که در مقصد در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متری هوا سپهر نزول یافته‌اند. نحوه انتقال ذرات نیز منطبق بر جریان چرخندی واقع در شمال غرب کشور و بیابان‌های شرق سوریه و عراق است (۶-د). بررسی نقشه‌های امگا (۶-ذ-ر) در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز همانند الگوی اول حاکی از استقرار هسته‌های امگای منفی بر روی منابع تولید گردو خاک می‌باشد اما امگای منفی بیشینه نیز در شمال غرب دیده می‌شود ولی شدت آن در ترازهای مورد بررسی ضعیف و به کمتر از ۰٫۶- پاسکال بر ثانیه رسیده است.

الگوی سوم

روزهای توفان گردو خاک در این الگو به سبب گسترش هم‌زمان یک کم‌فشار بسته از مناطق شرقی و شمالی خزر با راستایی شمال شرقی- جنوب غربی بر روی نیمه غربی ایران، عراق، سوریه و عربستان و سامانه کم فشاری از روی سرزمین عربستان و عراق رخ می‌دهد. همانند الگوی اول نفوذ هم‌زمان پرفشار تبت از سمت شرق تا مناطق غربی کشور و پرفشار شرق اروپا تا روی ترکیه موجب گیری شیو فشاری و باد شدید جنوب غربی به سمت منطقه پژوهش گردیده است. در این الگو از سمت مناطق جنوبی و شرقی سامانه کم‌فشاری نفوذ نمی‌کند. بلکه گسترش سامانه‌های فشار عرض‌های شمالی نقش مهمی در ایجاد و تقویت جریان‌ات گردو خاک بر روی شمال غرب کشور دارد (۷-الف). نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و بردار باد نیز منطبق بر موقعیت شمال شرقی- جنوب غربی خود بر روی ترکیه و عراق با محور ناوه گسترده از شمال روسیه تا شمال شرقی آفریقا است. تفاوت آرایش مکانی سامانه‌های در این الگو نسبت به دو الگوی دیگر این است که محور ناوه شمال شرقی به جنوب غربی و انتهای ناوه نیز تا عرض‌های جنوبی‌تر وسعت یافته و مناطق بیابانی بیشتری را در بر گرفته است. سمت وزش باد برداری نیز نصف‌النهاری‌تر شده که منطبق بر نیمه شرقی ناوه است (۷-ب)؛ اما در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ناوه عمیق‌تر شده و انتهای ناوه نیز تا

۲۲ درجه جنوبی کشیده شده است (۷-ج). الگوی رفتاری سامانه‌های پر ارتفاع شبیه الگوهای دیگر است. تغییر موقعیت پر ارتفاع عربستان از جنوب شرق (دریای عرب) به سمت شمال غرب (سرزمین عربستان) ضمن تقویت وزش بادهای جنوب غربی موجب فرارفت جریانات گردوخاک به جلوی ناوه و از آنجا به سمت منطقه مورد مطالعه شده است. نقش دیگر سامانه پر ارتفاع بر روی عربستان موجب قطع جریان‌های رطوبتی و افزایش پایداری جو است و نفوذ محور پشته بر روی دریای مدیترانه باعث اختلال در چرخندزایی مدیترانه و بروز خشک‌سالی و مخاطرات گردوخاک بر روی خاورمیانه می‌گردد. بررسی مسیرهای انتقال ذرات در توفان‌های مربوط به الگوی کم‌فشار شمالی بیانگر آن است که در تمامی توفان‌های گزارش‌شده، ذرات گردوخاک مسیر مشابهی را از جنوب غرب به شمال شرق تا ایستگاه‌های شمال غرب پیموده‌اند. به عبارتی دیگر با در نظر گرفتن بررسی‌های همدیدی انجام‌شده و خروجی مدل لاگراژی ریایی ذرات گردوخاک (۷-د) باد جنوب غربی منطبق بر نیمه شرقی ناوه شمالی بوده که انتقال ذرات در محدوده‌ای در حدفاصل شمال شرق آفریقا از سمت مصر و لیبی و منطقه عراق، اردن و سوریه به سمت منطقه پژوهش را سبب شده است. نکته‌ای دیگر از بررسی خروجی‌های مدل اینکه انتقال ذرات گردوخاک در ارتفاعات پایین جو زیر ۲۰۰۰ متر گرفته که در ساعات نزدیک رخداد گردوخاک ارتفاعی زیر ۲۰۰ متر را تا مقصد طی کرده‌اند. الگوی سوم کم‌فشار شمالی عموماً در اواخر زمستان و بهار می‌گیرد. فراوانی این الگو گردوخاک از دو الگوی دیگر کمتر و ۱۱/۵ درصد توفان‌های گردوخاک را به خود اختصاص داده است. در این الگو منابع تأمین گردوخاک در عرض‌های جنوبی‌تر یعنی شمال شرقی آفریقا قرار دارد، اما مشابه دو الگوی قبلی مسیر تقریباً یکسانی با عبور از عراق، سوریه و شمال عربستان را به سمت شمال غرب ایران طی کرده است. واکاوی نقشه‌های امگا (۷-ذ-ر) در الگوی سوم نیز نشان از گیری هسته‌های قوی امگای منفی (واگرایی قوی) از ۰/۱- در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تا ۰/۱۴- پاسکال بر ثانیه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بر روی عراق،

عربستان، سوریه و بخشی از شمال قاره آفریقا است که به سمت منطقه پژوهش میزان امگا به حدود صفر (واگرایی و همگرایی ضعیف) کاهش یافته است. این تغییرات شدت امگا نشان از افزایش سرعت باد بر روی سرزمین‌های مجاور خشک جنوب و غربی ایران بوده که موجب بلند شدن ذرات گردوخاک و هدایت آن به سمت منطقه شمال غرب کشور با سرعت کمتر باد گردیده است.

جمع بندی

تحقیق حاضر واکاوی آماری-همدیدی از وقوع پدیده گردوخاک در حالت فراگیر و غیر فراگیر در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی ارائه داده است. به‌طور کلی بررسی آماری توفان‌های گردوخاک حاکی از فراگیری، رخداد و تداوم بیشتر آن‌ها در فصل بهار و تابستان است. در این بین ماه مه (اردیبهشت) بیشترین روزهای گردوخاک را به خود اختصاص داده است. ایستگاه‌های تبریز و ارومیه نیز بیشترین رخداد توفان‌های گردوخاک را داشته‌اند. نتایج پژوهش بیا نگر آن است که مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین نقش اصلی در رخداد توفان‌های گردوخاک شمال غرب ایران دارند. در این میان استقرار کم‌فشار بر روی نیمه غربی کشور و سرزمین‌های گرم و خشک عراق، سوریه و عربستان بیش از هر مؤلفه‌ی دیگری در گیری توفان‌های منطقه نقش دارند. نتایج همدیدی نشان داد که ۳ الگوی فشار تراز دریا با آرایش‌های متفاوت شامل کم‌فشار جنوبی (عراق-عربستان)، شرقی (پاکستان-خلیج فارس) و ترکیبی شمال-شمال شرقی (آرال-خزر) و جنوبی (عراق-عربستان) مسئول رخداد توفان‌های گردوخاک منطقه هستند. در هر ۳ الگو شیب شدید بین زبانه‌های پرفشار و کم‌فشار در منطقه تولید گردوخاک یعنی عراق یا سوریه دیده می‌شود که گردوخاک را بلند کرده و چون این شیب در تراز یالایی نیز وجود دارد، سبب تداوم باد شدید و انتقال گردوخاک به سمت ایران شده است. هماهنگ با کم‌فشار سطح زمین در ترازهای میانی جو نیز کشیده شدن محور ناوه کم‌عمق با راستای شمال شرقی-جنوب غربی بر روی مناطق خشک

غرب آسیا با ایجاد جریانی مداری ذرات گردو خاک را به سمت شمال غرب کشور منتقل می‌کند. از ویژگی‌های آماری الگوی اول فراگیری، تداوم و شدت بیشتر توفان‌های گردو خاک نسبت به دو الگوی دیگر است که بیشترین رخداد آن در فصل بهار است؛ اما الگوی دوم سهم زیادی در رخداد توفان‌های شدید (و دید افقی حداقل) دارد و اغلب در فصل تابستان می‌گیرد، در الگوی سوم نیز بیشتر در اواخر فصل زمستان و بهار رخ می‌دهد. در هر سه الگو در سطوح میانی و رده‌سپهر در زمان رخداد توفان‌های گردو خاک در شمال غرب کشور با قرارگیری سامانه‌های پر ارتفاع بر روی عربستان و دریای مدیترانه با قطع فرارفت رطوبت و ایجاد جریانات خشک نقش مهمی در تقویت انتقال گردو خاک توسط کم ارتفاع کم عمق واقع بر روی عراق، سوریه و نیمه شمالی عربستان به سمت منطقه مورد مطالعه این پژوهش دارد. مطالعه منابع و مسیرهای انتقال ذرات توسط مدل لاگرانژی ردیابی ذرات گردو خاک نشان داد که منابع اصلی گردو خاک برای توفان‌های گردو خاک شمال غرب ایران محدوده‌ای در حدفاصل شمال شرقی آفریقا، سوریه، عراق و عربستان است. مسیر انتقال ذرات جنوب غربی- شمال شرقی منطبق بر نیمه شرقی ناوه کم‌عمق به سمت منطقه پژوهش می‌باشد. واکاوی ارتفاع ذرات انتقالی نیز نشان می‌دهد که ذرات در ارتفاع حدود ۲۰۰۰ متری حرکت خود را آغاز کرده و به تدریج با نزدیک شدن به مقصد ذرات در ارتفاعی زیر ۱۰۰ متر رسیده است. این گونه انتشار ذرات حاصل قرارگیری ناوه کم‌عمق با پربندهای مداری بر روی بیابان‌های خاورمیانه و منطقه مورد مطالعه این پژوهش می‌باشد. علاوه بر منابع تولید گردو خاک خارجی، در الگوهای اول و سوم با وزش هوای جنوبی به شمالی توسط سامانه کم‌فشار تراز دریا و ناوه تراز میانی جو، منابع گردو خاک داخلی مانند جنوب شرق استان خوزستان نیز نقش مهمی در تشدید حجم و فراگیری ذرات گردو خاک انتقالی بر روی منطقه شمال غرب کشور دارد.

در تحقیقات قبلی عمده مطالعات مرتبط با گردو خاک بر روی جنوب غرب، جنوب و غرب کشور و فصول گرم

سال صورت گرفته است؛ مانند تحقیق سعادت‌آبادی و عزیزی (۱۳۹۱) که به نقش کم‌فشار گرمایی ایران در وقوع توفان جولای ۲۰۰۹ غرب ایران، مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) ارتباط کم‌فشار زاگرس و توفان‌های گردو خاک تابستانه جنوب غرب ایران، براتی و همکاران (۱۳۹۶) نقش کم‌فشار سند در رخداد توفان‌های گردو خاک جنوب ایران تأکید داشته‌اند؛ اما در تحقیق کنونی منطقه شمال غرب ایران که دور از منابع تولید گردو خاک و منطقه‌ای که تاکنون مخاطره گردو خاک آن کمتر بررسی همدیدی شده، انتخاب گردیده است. همچنین واکاوی روزهای گردو خاک در فصول مختلف سال و طی یک دوره آماری بلندمدت موجب شده که الگوهای همدیدی متفاوت تری شناسایی شود از جمله کم‌فشار پاکستان (توفان‌های گردو خاک تابستان)، کم‌فشار عراق و عربستان (توفان‌های گردو خاک پاییز) و کم‌فشار شرق خزر - مدیترانه (توفان‌های گردو خاک بهار). از نتایج قابل توجه این پژوهش نقش کم‌فشارهای جنب قطبی نفوذ کرده از عرض‌های فوقانی شمال روسیه به سمت منطقه شمال غرب ایران در وقوع توفان‌های گردو خاک فراگیر می‌باشد. بیشترین تفاوت جریانات همدیدی در سطح دریا مشاهده شد که برخلاف ترازهای میانی جو که در هر سه الگو شباهت زیادی باهم داشتند؛ بنابراین بررسی دقیق‌تر تغییرات الگوها و مسیر ذرات گردو خاک در تراز دریا می‌تواند با پیش‌بینی‌های به موقع در آینده از مخاطرات توفان‌های گردو خاک در بخش‌های مختلف بکاهد. پیشنهاد می‌شود مخاطرات آب و هوایی از جمله گردو خاک به صورت منطقه‌ای و برای فصول مختلف واکاوی گردد تا الگوهای همدیدی متفاوت و خاص هر ناحیه شناسایی شود. همچنین مخاطراتی همچون گردو خاک برای مناطق شمالی و روزهای سرد برای نیمه جنوبی و انواع دیگر مطالعات که انتظار رخداد این گونه پدیده‌ها در این مناطق کمتر است نیز مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. اشرافی، خ، شفیعی پور، م. و اصلمند، ع.، ۱۳۹۲، بررسی مسیریهای توفان‌های گردوغبار بر روی ایران با بکارگیری مدل سازی عددی و تصاویر ماهواره ای، فصلنامه محیط زیست، ۵۶: ۲-۱۲.
۲. احمدی، ز، دوستان، ر. و مفیدی، ع.، ۱۳۹۴، تحلیل همدیدی

- Middle East: Sources of Origin and their Temporal Characteristics Indoor Built Environment, 63: 419-426.
21. Krueger, B.J., Grassian, V.H., Cowin, J.P. Laskin, A., 2004, Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: The importance of particle mineralogy. Atmospheric Environment, 38: 53-61.
 22. Laili, M., Norieh, N., Atafar, Z. and Dehghani, MH, 2009, An Introduction to Air Pollution. Tehran, Rafee Publisher, 259.
 23. Rivera, N., Gill, T., Bleiweiss, M. and Hand, J., 2010, Source characteristics of hazardous Chihuahuan Desert dust outbreaks. Atmospheric Environment, 2457: 6-44.
 24. Natsagdori, L., Judjer, D. and Schang, Y., 2002, Analysis of dust storm observed Mongolia during 1937-1999, Science of the Total Environment, 12: 123-134.
 25. Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Jafarzade, H.N., Naeemabadi, A., Mahmodian, M.H. and Saki, H., 2011, Effects of dust storms on health and environment, Journal of North Khorasan University of Medical Sciences, 4: 45-56.
 26. Stunder, B., Heffter, L. and Draxler, R., 2007, Airborne Volcanic Ash Forecast Area Reliability. Weather and Forecasting, 22: 1132-1139. DOI: 10.1175/WAF1042.1
 27. Stunder, B., 1997, NCEP Model Output- FNL ARCHIVE DATA, TD-6141, Prepared for National Climatic Data Center (NCDC). This document and archive grid domain maps are also available at <http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html>.
 28. Tobías, A., Pérez, L., Díaz, J., Linares, C., Pey, J., Alastruey, A. and Querol, X., 2011, Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A case-crossover analysis in Madrid (Spain). Science of the Total Environment, 412-413: 386-89.
 29. Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., de la Rosa, J. and Zhang, X., 2011, Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. Atmospheric Environment, 45: 63-68.
 30. www.irimo.ir
 31. www.wmo.com
 32. www.esrl.noaa.gov/psd/data.
 33. Wang, X., 2009, Characterization of the composition of dust fallout and identification of dust sources in arid and semiarid North China. Geomorphology, 112: 144-157.
 34. Ye, B., Ji, X., Yang, H., Yao, X., Chan, C.h., Cadle, S., Chan, T. and Mulawa, P., 2003, Concentration and chemical composition of PM2.5 in Shanghai for a 1-year period. Atmospheric Environment, 37: 499-510.
 - گردوغبار نیمه گرم سال در استان خراسان جنوبی. مجله جغرافیای طبیعی لارستان، ۲۹: ۴۱-۶۲.
 ۳. اسماعیلی، ا.، ۱۳۸۵، پهنه بندی مقدماتی مراکز اصلی تولید غبار کشور با استفاده از فناوری سنجش از دور. دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران.
 ۴. براتی، غ.، مرادی، م.، شامخی، ع. و داداشی، ع.، ۱۳۹۶، تحلیل روابط توفان های غباری جنوب ایران با کم فشار سند. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳: ۹۱-۱۰۸.
 ۵. حبیبیان، ا. و جورابیان، م.، ۱۳۹۰، پدیده گردوغبار و اثرات آن بر صنعت آب و برق خوزستان. اولین کنگره بین المللی پدیده گردوغبار و مقابله با آثار زیانبار آن، اهواز، ۱۱۶۰-۱۱۵۱.
 ۶. ذولفقاری، ح. و عابدزاده، ح.، ۱۳۸۴، تحلیل سیستمهای سینوپتیک گردوغبار در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه، ۶: ۱۷۳-۱۸۷.
 ۷. فرح بخشی، م.، علیجانی، ب. و فتاحی، ا.، ۱۳۹۴، تحلیل سینوپتیکی مخاطره گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) ایران. مجله دانش مخاطرات، ۲ (۱): ۵-۲۰.
 ۸. رنجر سعادت آبادی، ع. و عزیزی، ق.، ۱۳۹۱، مطالعه الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه های تولید گردوغبار و مسیر حرکت ذرات معلق برای توفان جولای ۲۰۰۹. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۸۱: ۷۳-۹۲.
 ۹. علیجانی، ب.، ۱۳۹۰، آب و هوای ایران. تهران، چاپ هشتم، انتشارات پیام نور.
 ۱۰. مسعودیان، س.، ۱۳۹۰، آب و هوای ایران. مشهد، چاپ دوم، انتشارات شریعه توس.
 ۱۱. مفیدی، ع. و جعفری، س.، ۱۳۹۰، بررسی نقش گردش منطقه ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵: ۱۷-۴۵.
 ۱۲. همتی، ن.، ۱۳۷۴، بررسی فراوانی توفان های خاک در نواحی مرکزی و جنوب غربی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده ژئوفیزیک.
 ۱۳. هلالی، ج.، ۱۳۹۲، پهنه بندی تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در گستره ایران با استفاده از تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی. سومین همایش ملی فرسایش بادی و توفان های گردوغبار، دانشگاه یزد، ۸-۱۰.
 ۱۴. ولی، ع.، خاموشی، س.، موسوی، س. ح.، پناهی، ف. و احسان تمسکی. ۱۳۹۳، تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران. مجله محیط شناسی، ۴۰ (۴): ۹۶۱-۹۷۲.
 15. Draxler, R.R., and Rolph, G.D., 2011, Hysplit (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), Model access via Noaa Arl Ready.
 16. Draxler, R., Gillette, J., Kirkpatrick, S. and Heller, J., 2001, Estimating PM10 air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait, and Saudi Arabia, Atm. Environ. 35: 4315-4330.
 17. Draxler, R., Ginoux, P. and Stein, A.F., 2007, An empirically derived emission algorithm for wind-blown dust. J. Geophys. Res., 115: 162-170. doi: 10.1029/2009JD013167.
 18. Yeh, C. F., Wang, J., Yeh, H. F. and Lee, C.H., 2015, Spatial and Temporal Streamflow Trends in Northern Taiwan, Journal of Water, 7: 634-651
 19. Hamish, M. and Andrew, C., 2008, Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. Atmospheric Environment, 42: 6915-6925.
 20. Kutiel, H. and Furman, H., 2003, Dust Storms in the

Synoptic analysis of Iran's northwest dust storms

Faramarz Khosh Akhlagh¹, Farshad Pazhoh^{2,*}, Farzaneh Jafari Hambari³, Sanam Koohi⁴

¹ Associate Professor of Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

² PhD in Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ PhD in Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ PhD students in Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geography and Planning, Sistan and Baluchestan University, Iran

*Corresponding Author Email: farshad.pazhooh44@gmail.com

Received: 11 July 2019, accepted: 30 September 2019

ABSTRACT

This study was conducted to identify the effective synoptic patterns in creating dust storms using hourly visibility data and considering the meteorological codes related to the dust phenomenon in 8 meteorological stations located in East and West Azerbaijan for a period of 14 years (1996-2010). Then, using the network data of the US Center for Atmospheric and Oceanic Forecasting, the scan-synoptic characteristics of each dust storm were analyzed. The determination of the main sources of dust for each of the selected storms was performed using the Lagrangian model of dust particle tracking and using the regression tracking method. The results show that most dust storms in the northwest of the country occur in spring and May. Moreover, the highest frequency of dusty days was occurred in 2008 and 2009. The synoptic view found that the pervasiveness, durability, and intensity of dust storms were consistent with the location of low-pressure surface systems located in western and southwestern Asia. In the synoptic study of the association of dust storms, 3 sea level pressure patterns with different arrangements were identified as the main patterns at the time of the storms. The results showed a strong pressure gradient due to the expansion of warm low pressures from southern latitudes and cold high pressures from high latitudes to the west and southwest of Asia and low depth trough based on dust sources in Syria, Iraq and Saudi Arabia in the middle levels of the troposphere caused the rise of dust particles from the ground and blowing dust currents towards the research area with southwest-northeast direction.

Keywords: Dust storm, Low pressure, LAGRANGIAN particle tracing model, low depth trough, North West of Iran

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Khosh Akhlagh, F.; Pazhoh, F.; Jafari Hambari, F.; Koohi, S. (2020). Synoptic analysis of Iran's northwest dust storms. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 2(4): 272-286.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

