

تحلیل فضایی - زمانی رخداد گرد و غبار در غرب ایران

ام‌السلمه بابایی فینی^۱، طاهر صفرراد^۲، مصطفی کریمی^{۳*}

f_babae@pnu.ac.ir

tsafarrad@ut.ac.ir

۱. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور

۲. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۷/۷

چکیده

پژوهش حاضر سعی دارد رفتار رخداد گرد و غبار در غرب ایران را از منظر مکانی و زمانی تحلیل کند. برای نیل به این هدف از داده‌های آماری گرد و غبار (اخذ شده از سازمان هواشناسی) ۲۶ ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران با پراکنش مناسب طی دوره بیست ساله (۱۹۸۹-۲۰۰۸) بهره گرفته شده است. برای بررسی رفتار مکانی گرد و غبار از ابزار تحلیل روند و برای بررسی رفتار زمانی آن از روش آماری من کندیال (به علت ناپارامتریک بودن داده‌های فراوانی گرد و غبار) استفاده شد. رفتار مکانی فراوانی گرد و غبار گویای افزایش شمال به جنوب این پدیده به صورت خطی است، حال آنکه در راستای غرب به شرق رفتار خطی در داده‌ها مشاهده نشد و مشخص شد که رفتار مکانی وقوع گرد و غبار در این راستا به صورت منحنی (تابع چندجمله‌ای درجه دوم) است به این معنی که افزایش رخداد گرد و غبار با حرکت به سوی شرق و کاهش گرد و غبار با ادامه حرکت به سمت شرق مشاهده می‌شود. با مطالعه رفتار زمانی رخداد گرد و غبار مشخص شد که برخی از ایستگاه‌ها روند صعودی (اراک و خرم‌آباد) و فقط دو ایستگاه قزوین و خرم‌دره روند نزولی (با سطح اطمینان ۹۵ درصد) در فراوانی وقوع گرد و غبار دارند. بررسی تغییر زمان حداکثر فراوانی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه نشان داد که ایستگاه‌های یاسوج، قزوین، سنندج، خرم‌آباد و اراک به سمت ماه‌های گرم و ایستگاه‌های اردبیل، ارومیه، آبدان، اهواز، پارس‌آباد، تبریز، خرم‌دره، خوی، دزفول، دهلران، زنجان، سقز، شهرکرد، کرمانشاه و همدان به سمت ماه‌های سرد جابه‌جا شده‌اند و در سایر ایستگاه‌ها (ایلام، امیدیه، ماکو، اسلام‌آباد غرب و میانه) جابه‌جایی محسوس به سمت ماه گرم یا سرد مشاهده نشده است.

کلیدواژه

تحلیل روند، تحلیل فضایی، گرد و غبار، من کندیال، نیمه غربی ایران.

۱. سرآغاز

مخاطرات پدیده گرد و غبار و در حالت تشدید آن توفان‌های گرد و غبار است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک استعداد وقوع بیشتری دارد. پدیده گرد و غبار رویدادی طبیعی است و در مناطقی حادث می‌شود که دارای بخش‌های وسیعی از مناطق خشک و بیابانی، فاقد پوشش گیاهی و دیگر پوشش‌های سطحی است. دوره‌های خشکسالی طولانی و دخالت‌های غیراصولی در طبیعت

سیاره زمین از بدو پیدایش دستخوش مخاطرات محیطی بوده است. این مخاطرات در سال‌های اخیر به طور مستمر در سطح جهان به وقوع پیوسته است که از بین آن‌ها گروهی که از دخالت عوامل و عناصر جوی سرچشمه گرفته‌اند خسارات جانی و مالی فراوانی در مناطق مختلف ایجاد کرده‌اند (Kutieli and Furman, 2003). یکی از این

سمت ایران معرفی کردند. فراوانی توفان‌های گرد و غبار در ایران با استفاده از منطق فازی خوشه‌بندی شده و تعداد چهار خوشه به دست آمده است که شامل غرب و شرق کوه‌های زاگرس و شمال‌غرب ایران بوده و مشخص شده که منشأ هر خوشه متفاوت است (Dodangeh, et al., 2012). بستر دریاچه‌ها و مناطق بیابانی همانند صحرای بزرگ آفریقا منابع مهم تولید گرد و غبار و تراکم و ساختار پوشش گیاهی نیز به‌منزله دو عامل مهم در وقوع و فراوانی توفان‌های گرد و غبار به شمار می‌روند (Engestadler, 2001). بررسی ویژگی توفان‌های گرد و غبار آسیا با منشأ دریایی طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۲ نشان داد که ۶۴ درصد توفان‌ها از دریا‌های چین منشأ می‌گیرند و از غرب به شرق نیز قوی‌تر می‌شوند (Kai and Gao, 2007).

کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی توفان‌های گرد و غبار در شمال غرب چین نشان داد که با به‌کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به‌طور بالفعل این گونه توفان‌ها را پیش‌بینی کرد (Huang, et al., 2006). تحلیل آماری وزش توفان در استان یزد با استفاده از اطلاعات ساعات سینوپ^۱ فرعی ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد و نواحی مجاور طی دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۹۹ از سوی طالبی (۱۳۸۴) نشان داد وزن توفان در ساعات ۱۲ گرینویچ با ۲۸ مورد بیشترین فراوانی و در ساعات ۰۳ گرینویچ با ۲ مورد وزش کمترین فراوانی را دارد. اختصاصی و همکاران (۱۳۸۹) به مقایسه و بررسی روند خشکسالی و وقوع گرد و غبار (مطالعه موردی: شهرستان لار) پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد که با وجود خشکسالی، گرد و غبار در منطقه روندی تقریباً ثابت داشته که بیانگر توقف فعالیت‌های مخرب انسانی در منابع طبیعی و مؤثر بودن اقدامات بیابان‌زدایی و توسعه فضای سبز در محدوده مورد مطالعه است.

امیدوار (۱۳۸۹) با تحلیلی از رژیم بادهای شدید و توفانی یزد نتیجه گرفت، ۷۷ درصد بادهای شدید از سمت ۲۵۰ تا ۳۲۰ درجه و با سرعت بین ۱۵-۲۹ متر بر ثانیه

عامل اصلی افزایش این پدیده است. این پدیده علاوه بر کاهش قدرت دید افقی دارای آثار زیست‌محیطی به‌ویژه در سلامت انسان است (اسماعیلی، ۱۳۸۵).

مطالعات متنوعی در راستای شناخت ابعاد مختلف این پدیده در مناطق مختلف جهان شکل گرفته است. این بررسی‌ها با توجه به هدف و مواد خود روش‌های مختلفی اعم از آماری، سینوپتیکی-دینامیکی، تهیه و زیست‌محیطی و مدل‌سازی استفاده کرده‌اند. یکی از این روش‌ها مطالعه آماری پدیده گرد و غبار به منظور تحلیل زمانی این پدیده نشان می‌دهد که تعداد روزهای این پدیده در حال افزایش و بیشترین فراوانی آن مربوط به ماه‌های جون و جولای است و در بین مطالعات انجام گرفته فقط یک مورد روند کاهش نشان می‌دهد (Zarasvandi, et al., 2011). مهرشاهی و نکونام، ۱۳۸۸؛ صلاحی، ۱۳۸۹؛ فرج‌زاده و عزیززاده، ۱۳۹۰؛ امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰؛ دادفر و همکاران، ۱۳۹۰؛ خورانی و همکاران، ۱۳۹۱). تحلیل مکانی این پدیده بیانگر آن است که مناطق عمده فعالیت توفان‌های گرد و غبار در بیابان‌های ماسه‌ای و دیگر بیابان‌ها، که اکوسیستم آن‌ها به وسیله انسان متأثر شده است، قرار گرفته است (Indoitu, et al., 2012؛ عزیززاده و همکاران، ۱۳۹۱). با بررسی توزیع فضایی و مکانی توفان‌های گرد و غبار مشخص شد که وقوع این توفان‌ها با شرایط اقلیمی محل مانند بارش، دما، ویژگی‌های سطح زمین از قبیل پوشش گیاهی و برف ارتباط نزدیکی دارد (Nickling and Brazel, 1984; Abobakr, et al., 1987; Jugder, et al., 2011؛ جلالی و همکاران، ۱۳۹۱؛ کریمی و شکوهی، ۱۳۹۰).

عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) فرایندهای ترمودینامیکی در فصل گرم و فرایندهای دینامیکی در فصل سرد را مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری و انتقال گرد و غبار به نیمه غربی کشور بیان کردند. شمسی‌پور و صفرراد (۱۳۹۱) مکان‌گزینی محور ناوه و منطقه واگرایی بالایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شکل‌گیری سلول کم‌فشار حرارتی در سطح زمین را علت اصلی شکل‌گیری و هدایت گرد و غبار به

نزدیک شدن مناطق جنوبی به منشأ گرد و غبار، افزایش یافته است. نتایج تحلیل همبستگی میانگین دمای ماهانه با شاخص غبار آلودگی نشان داد که همبستگی مستقیم بین این دو پارامتر وجود دارد (کرمانشاه، ۱۳۹۰). تحلیل روند وقوع توفان‌های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری نشان داد که نیمه غربی ایران از لحاظ تعداد وقوع روزهای همراه رعد و برق منطقه همگن نبوده است و مشاهدات در مقیاس سالانه از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد. برای نمادسازی چنین تغییراتی، نقشه‌های توزیع مکانی روند روزهای رعد و برقی در مقیاس فصلی و سالانه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS، مدل‌سازی و نمایش داده شد. مدل‌های نهایی بیانگر این واقعیت‌اند که مشاهدات اخذشده از اکثر ایستگاه‌های تحت مطالعه در مقیاس‌های فصلی و سالانه روند افزایشی دارند (رسولی و جوان، ۱۳۹۱).

تحقیقات انجام‌شده پدیده گرد و غبار را از طریق روش‌های آماری خوشه‌بندی و مطالعه و برخی دیگر منشأ و نحوه ورود گرد و غبار به کشور را بررسی کرده‌اند. با وجود مطالعات ارزشمند صورت‌گرفته، در خصوص نحوه تغییرپذیری زمانی و مکانی این پدیده در کشور فقر اطلاعاتی وجود دارد. پژوهش حاضر سعی دارد تغییرپذیری زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار را از منظر آماری، تحلیل و بررسی کند. در این راستا از ابزارهایی برای کشف روند مکانی و بررسی روند زمانی در دو مقیاس سالانه و ماهانه بهره گرفته شده است.

۲. داده‌ها و منطقه تحت مطالعه

داده‌های استفاده‌شده شامل داده‌های آماری گرد و غبار (اخذشده از سازمان هواشناسی، کد دیدبانی ۶) به صورت روزانه طی ۸ دیدبانی ساعتی در دوره بیست ساله‌اند (۱۹۸۹-۲۰۰۸) که ۲۶ ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران با پراکنش مناسب (شکل ۱) را دربر می‌گیرند.

می‌وزند. بادهای غالب از سمت شمال‌غرب و غرب می‌وزند و بیش از ۵۰ درصد بادهای توفانی در ماه‌های اردیبهشت و فروردین می‌وزند. پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی با استفاده از داده‌های بلندمدت سه ساعته سمت و سرعت باد، بررسی شد. ویژگی‌های باد با استفاده از فرمول‌های گوناگون از جمله ضریب تغییرات و تداوم باد و تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاعات تحلیل شده که بیانگر درصد وزش و توان باد در ایستگاه سینوپتیک اردبیل بیشتر از سایر ایستگاه‌هاست (امانی و حسینی شمع‌چی، ۱۳۸۹). زهرایی (۱۳۹۰) با استفاده از روش ناپارامتریک Sen's به مدل‌سازی تغییرات و برآورد سری‌های زمانی پدیده گرد و غبار زاهدان طی نیم سده اخیر ۱۹۵۱-۲۰۰۵ پرداخته و پس از تعیین روند برای مقیاس ماهانه به تعیین معادله‌های شیب جهت پیش‌بینی وقوع پدیده گرد و غبار پرداخته و نتیجه گرفته، اکثر گرد و غبارها در نیمه گرم سال (بهار و تابستان) به وقوع می‌پیوندد که در هر دو فصل روند تغییرات در جهت صعودی و دارای روند افزایشی است و در دوره سرد سال به استثنای مهر روندی مشاهده نشده است.

در بررسی شرایط جوی تشدیدکننده توفان گرد و غبار ورودی از مرزهای غربی کشور، سعی شده با استفاده از مدل جوی WRF، که مدلی جامع در شبیه‌سازی فرایندهای هواشناسی است، پارامترهایی نظیر سرعت‌های اصطکاک، سرعت باد در سطح زمین و ضخامت لایه مرزی توفان گرد و غبار خرداد سال ۸۸ مدل‌سازی و ارتباط خروجی‌های مدل WRF با انتشار ذرات گرد و غبار و میدان‌های جریان در آن رویداد بررسی شود (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی علل وقوع گرد و غبار در مناطق غربی کشور و تأثیر آن در تغییرات اقلیمی نتیجه داد که حوزه غرب ایران تحت تأثیر سیستم انتقال گرد و غبار بوده و اثر این سیستم در غرب ایران از شمال به جنوب منطقه، با توجه به

$(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n$ با الگوریتمی به شکل زیر محاسبه می‌شود. در مقایسه هر جفت (x_i, y_i) با (x_j, y_j) برای هر i و j ، اگر $x_i > x_j$ و $y_i > y_j$ یا $x_i < x_j$ و $y_i < y_j$ برقرار باشند، زوج‌ها هم‌نوا^۳ و در غیر این صورت ناهم‌نوا^۴ خوانده می‌شوند. سپس، تعداد زوج‌های هم‌نوا (n_{con}) و ناهم‌نوا (n_{dis}) برای همه مقایسه‌های زوجی شمارش می‌شوند و ضریب همبستگی تاو کندال از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۳۲۵).

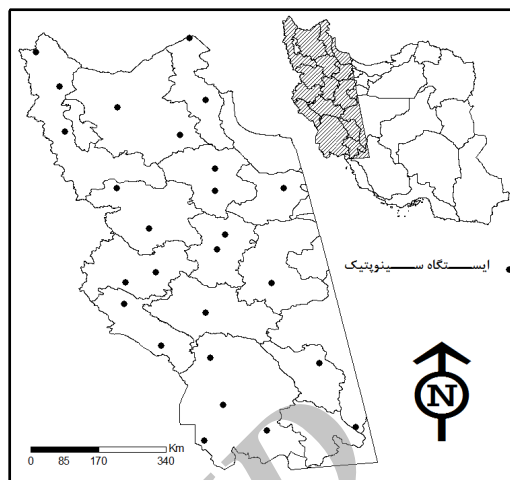
$$r_{kt} = \frac{n_{con} - n_{dis}}{\frac{1}{2}n(n-1)}$$

مبنای نظری آزمون من کندال که در بررسی روند خطی با غیرخطی در اغلب گزارش‌ها تخصصی توصیه شده، مطابق منطق تاو کندال است. برای این آزمون، مقایسه محدود به سری زمانی مورد نظر است. اولین مرحله، دادن رتبه سری زمانی است. فرض می‌شود y_t رتبه‌های مقادیر سری زمانی است. در مرحله اول رتبه مربوط به مشاهده اول با دنباله‌های مقایسه $y_t, t=2, 3, \dots, n$ مقایسه می‌شود. به عبارت دیگر، $n-1$ بار مقایسه صورت می‌گیرد که می‌توان آن را با n_1 نمایش داد. در مرحله بعد y_2 با تمام دنباله‌های $y_t, t=2, 3, \dots, n$ مقایسه می‌شود. می‌توان گفت $n-2$ بار مقایسه صورت می‌گیرد که این بار با n_2 نمایش داده می‌شود. این کار تا مقایسه y_{n-1} با y_n ۱ بار ادامه می‌یابد. در هر مقایسه اگر به ازای $i < j$ آنگاه $y_i > y_j$ باشد، ۱ واحد به n_i اضافه می‌شود. آنگاه آماره من کندال از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$T_{mk} = \sum_{k=1}^{n-1} n_k$$

برای n ‌های بزرگ‌تر از ۴۰ می‌توان از قضیه حد مرکزی استفاده کرد. امید ریاضی و واریانس T_{mk} از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$E(T_{mk}) = \frac{n(n-1)}{4}$$



شکل ۱. پراکندگی ایستگاه‌های تحت مطالعه

۳. روش‌شناسی تحقیق

بررسی روند در داده‌ها به دو صورت مکانی و زمانی مطالعه شده است. برای بررسی روند مکانی در داده‌ها از ابزار Trend Analysis در برنامه Arc Map 10 بهره گرفته شد. برای رسیدن به این مهم، فراوانی و میانگین گرد و غبار در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت سالانه و ماهانه در خصوص طول و عرض جغرافیایی بررسی شدند. برای بررسی روند زمانی در داده‌ها روش‌های متعددی ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را به روش‌های پارامتریک (آزمون t ، تحلیل روند) و ناپارامتریک (روش من کندال، روش تاو کندال، ضریب اسپیرمن و آزمون سن) تقسیم‌بندی کرد. بر این اساس اولین گام برای انتخاب روش‌های مناسب پارامتریک و ناپارامتریک آگاهی از نرمال بودن داده‌هاست. در این راستا نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۵ (آزمون K-S) بررسی شد.

تاو کندال و من کندال آزمون‌های ناپارامتریکی به شمار می‌روند که امروزه استفاده از آن‌ها در مطالعات اقلیمی به ویژه در بررسی معنی‌داری روند به سرعت گسترش یافته است (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰ به نقل از Senyars, 1990; Abdi, 2007; Prokhrov, 2001; Nelsen, 2001).

ضریب همبستگی تاو کندال برای همه زوج‌های

می‌تواند بیانگر ثابت بودن منابع ورود گرد و غبار به غرب کشور باشد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، پدیده گرد و غبار از شمال به جنوب (خط آبی) افزایش و از غرب به شرق (خط قرمز) نیز ابتدا افزایش و دوباره کاهش می‌یابد. خط روند مکانی در شکل زیر از طریق تابع چندجمله‌ای درجه ۲ برازش داده شده است.

نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (آزمون K-S) بررسی شد (جدول ۱). از آنجا که مقدار sig در داده‌های خام کمتر از ۰/۰۰۵ است لذا فرض H_0 (داده‌ها توزیع نرمال دارند) را حداکثر با اطمینان ۰/۹۹۵ در مقابل فرض H_1 (داده‌ها توزیع نرمال ندارند) رد می‌کنیم. پس می‌توان گفت که برای قبول نرمال بودن داده‌ها شواهد کافی در دسترس نیست و این جمله را که داده‌ها توزیع نرمال ندارند، را می‌توان پذیرفت. معناداری روند در داده‌های گرد و غبار، از طریق آزمون من کندیال برای ایستگاه‌های موجود به صورت سالانه (جدول ۲)، فصلی و ماهانه (جدول ۳) بررسی و مشخص شد که برخی ایستگاه‌ها روند نزولی و برخی دیگر روند صعودی دارند. مقایسه مقادیر P-Value به دست آمده از آزمون با سطح بحرانی ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معناداری روند را در سطح اطمینان ۹۵ درصد (علامت * در ستون معناداری) و ۹۹ درصد (علامت ** در ستون معناداری) نمایان کرد.

$$\text{Var}(T_{mk}) =$$

$$\frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n\pi} e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right]$$

که در آن ne تعداد گروه‌های هم‌رتبه و e_i تعداد داده‌های هر گروه از هم‌رتبه‌هاست.

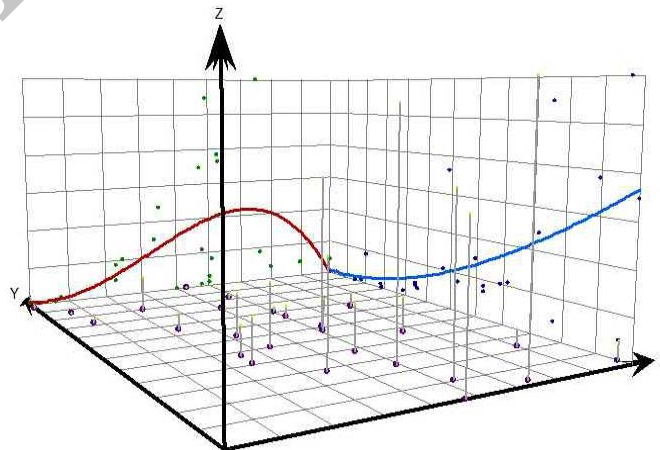
آماره U_{mk} که از رابطه زیر به دست می‌آید دارای توزیع نرمال است.

$$U_{mk} = \frac{T_{mk} - E(T_{mk})}{\sqrt{\text{Var}(T_{mk})}}$$

اگر رابطه $|U_{mk}| > Z_{(1-\alpha/2)}$ برقرار باشد، فرض روند صعودی و نزولی در سطح معنی‌داری α رد می‌شود که در آن $Z_{(1-\alpha/2)}$ از جدول توزیع نرمال به دست می‌آید و مربوط به سطح معنی‌داری α است. همچنین، اگر $U_{mk} > 0$ یا $U_{mk} < 0$ باشد، روند به ترتیب افزایشی یا کاهش‌ی است (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۳۲۷ و ۳۲۸).

۴. یافته‌ها

روند مکانی در داده‌ها با استفاده از فراوانی و میانگین گرد و غبار در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت سالانه و ماهانه بررسی شد که به علت مشابهت نمودارها فقط برای نمونه میانگین سالانه ایستگاه‌ها آورده شده است. ثابت بودن روند مکانی در داده‌ها (سالانه، فصلی و ماهانه)



شکل ۲. روند مکانی داده‌ها در راستای طول (محوری X) و عرض (محوری Y) جغرافیایی

جدول ۱. آزمون K-S برای بررسی نرمال بودن داده های گرد و غبار در ایستگاه های تحت مطالعه

Sig	K-S Z	Most Extreme Differences			Normal Parameters ^{a,b}		تعداد	ایستگاه
		منفی	مثبت	مطلق	انحراف معیار	متوسط		
۰	۴/۳۸۷	-۰/۲۸۴	۰/۲۷۷	۰/۲۸۴	۲/۵۲۵	۱/۴۴	۲۳۹	اراک
۰	۷/۱۶۷	-۰/۳۲۵	۰/۴۶۳	۰/۴۶۳	۰/۶۱۵	۰/۲۸	۲۴۰	اردبیل
۰	۶/۹۴۹	-۰/۳۶۸	۰/۴۴۹	۰/۴۴۹	۱/۰۱۵	۰/۳۴	۲۴۰	ارومیه
۰	۵/۱۳۶	-۰/۳۲۷	۰/۳۳۲	۰/۳۳۲	۲/۷۱۱	۱/۲۲	۲۴۰	اسلام آباد غرب
۰	۲/۰۸۴	-۰/۰۹۶	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۷/۰۲	۹/۱۵	۲۲۸	امیدیه
۰	۲/۲۴۲	-۰/۱۳۷	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۵/۴۱۹	۵/۹۳	۲۴۰	اهواز
۰	۴/۴۱	-۰/۲۸۵	۰/۲۷۳	۰/۲۸۵	۲/۹۱۴	۱/۶۶	۲۴۰	ایلام
۰	۲/۴۴۴	-۰/۱۳۴	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۴/۸۶۶	۵/۳۸	۲۴۰	آبادان
۰	۳/۵۷۶	-۰/۲۳۱	۰/۲۱۵	۰/۲۳۱	۲/۰۲۱	۱/۴۹	۲۴۰	تبریز
۰	۴/۷۱۵	-۰/۲۸۹	۰/۳۰۴	۰/۳۰۴	۳/۱۸۹	۱/۷۸	۲۴۰	خرم آباد
۰	۶/۳۱۵	-۰/۳۲۲	۰/۴۰۸	۰/۴۰۸	۱/۲۶۸	۰/۵۹	۲۴۰	خرم دره
۰	۷/۶۷۴	-۰/۳۳	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۰/۴۳۵	۰/۱۹	۲۴۰	خوی
۰/۰۰۵	۱/۷۲	-۰/۱۱۲	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۶/۸۶۳	۸/۳۶	۲۱۶	دزفول
۰	۶/۹۲۶	-۰/۳۲۸	۰/۴۴۷	۰/۴۴۷	۰/۷۹۵	۰/۳۵	۲۴۰	زنجان
۰	۵/۳۵	-۰/۳۲۱	۰/۳۴۵	۰/۳۴۵	۱/۷۱۵	۰/۸	۲۴۰	سقز
۰	۴/۳۵	-۰/۲۶۹	۰/۲۸۱	۰/۲۸۱	۲/۷۸۳	۱/۷۲	۲۴۰	سنندج
۰	۵/۱۳۱	-۰/۲۸۵	۰/۳۳۱	۰/۳۳۱	۱/۴۴۸	۰/۸۲	۲۴۰	شهرکرد
۰	۵/۳۴۲	-۰/۲۹۷	۰/۳۴۵	۰/۳۴۵	۱/۳۵۱	۰/۷۲	۲۴۰	قزوین
۰	۴/۳۲۲	-۰/۲۴۹	۰/۲۷۹	۰/۲۷۹	۳/۵۶۵	۲/۴۱	۲۴۰	کرمانشاه
۰	۷/۲۲۲	-۰/۳۲۱	۰/۴۶۶	۰/۴۶۶	۰/۵۸۴	۰/۲۷	۲۴۰	ماکو
۰	۷/۷۴۷	-۰/۳۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴۸۶	۰/۱۹	۲۴۰	میانه
۰	۴/۲۶۱	-۰/۲۷	۰/۲۷۵	۰/۲۷۵	۲/۱۹۶	۱/۳۵	۲۴۰	همدان
۰	۶/۱۶۷	-۰/۳۳۵	۰/۳۹۸	۰/۳۹۸	۱/۹۴۹	۰/۸۳	۲۴۰	یاسوج

جدول ۲. بررسی روند سالانه در ایستگاه‌ها با استفاده از آزمون من کندال

ایستگاه	کمینه	بیشینه	متوسط	انحراف معیار	Kendall	S	Var(S)	p-value	معناداری
اراک	۱	۷۹	۱۷/۳	۱۸/۸	۰/۵۲۸	۹۹	۹۴۴/۳	۰/۰۰۱	**
اردبیل	۰	۷	۳/۴	۲/۱	-۰/۶۰۰	-۱	۹۰۴/۳	۱	
ارومیه	۰	۲۰	۴/۱	۵/۲	۰/۱۴۳	۲۶	۹۲۸	۰/۴۱۲	
اسلام‌آباد غرب	۰	۸۸	۱۴/۶	۲۰/۶	۰/۲۱۶	۴۰	۹۳۶/۷	۰/۲۰۳	
امیدیه	۱۲	۱۵۹	۷۱/۱	۴۰/۲	۰/۰۴۲	۸	۹۳۶/۷	۰/۸۲۳	
اهواز	۲	۶۸	۱۹/۹	۱۶/۵	-۰/۰۳۲	-۶	۹۴۶	۰/۸۷۱	
ایلام	۲۶	۱۴۴	۶۴/۶	۲۷/۲	۰/۰۸۵	۱۶	۹۴۸	۰/۶۲۶	
پارس‌آباد	۰	۲۱	۲/۶	۵/۸	-۰/۳۳۶	-۵۱	۷۳۳/۷	۰/۰۶۵	
تبریز	۲	۵۱	۱۷/۹	۱۰/۳	۰/۱۸۶	۳۵	۹۴۷	۰/۲۶۹	
خرم‌آباد	۱	۸۸	۲۱/۳	۲۱/۳	۰/۵۴۳	۱۰۲	۹۴۶	۰/۰۰۱	**
خرم‌دره	۰	۲۴	۷/۱	۷/۳	-۰/۷۱۷	-۱۳۳	۹۳۹/۷	۰/۰۰۰۱ >	**
خوی	۰	۶	۲/۳	۱/۶	۰/۲۰۴	۳۵	۸۸۷/۷	۰/۲۵۴	
دزفول	۶	۱۰۳	۴۵/۴	۲۸/۶	۰/۰۶۴	۱۲	۹۴۵/۳	۰/۷۲۱	
زنجان	۰	۱۲	۴/۳	۳/۴	-۰/۲۵۳	-۴۶	۹۳۰	۰/۱۴	
سقز	۰	۳۹	۹/۶	۹/۸	۰/۱۹۳	۳۶	۹۴۳/۳	۰/۲۵۴	
سنندج	۱	۷۰	۲۰/۶	۱۸/۳	۰/۳۱۱	۵۹	۹۴۹	۰/۰۶	
شهرکرد	۱	۳۲	۹/۹	۸/۵	۰/۱۵۱	۲۸	۹۳۸	۰/۳۷۸	
قزوین	۰	۲۳	۸/۷	۷/۴	-۰/۵۸۵	-۱۰۹	۹۴۲/۳	۰	**
کرمانشاه	۳	۹۷	۲۹	۲۳/۷	-۰/۰۶۹	-۱۳	۹۴۷	۰/۶۹۷	
ماکو	۰	۱۱	۳/۳	۲/۷	۰/۰۳۳	۶	۹۲۱/۳	۰/۸۶۹	
میانه	۰	۶	۲/۳	۱/۷	-۰/۱۴۳	-۲۵	۹۰۲/۳	۰/۴۲۴	
همدان	۳	۴۸	۱۶/۲	۱۴	-۰/۰۸۶	-۱۶	۹۴۴	۰/۶۲۵	
یاسوج	۰	۵۴	۱۰	۱۳/۹	-۰/۰۰۵	-۱	۹۳۹/۷	۱	

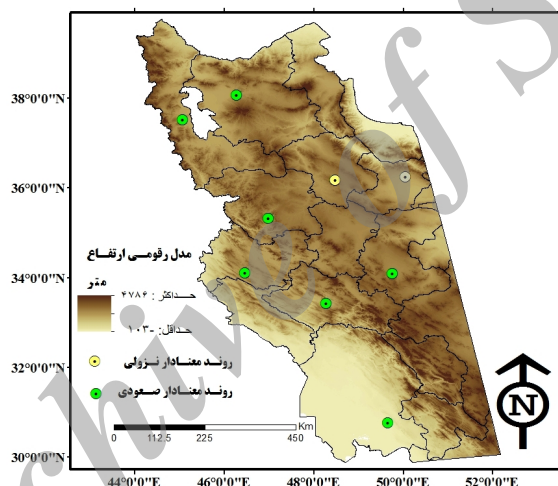
در نهایت ایستگاه‌هایی که دارای روند معنی‌دار در (جدول ۳) و در شکل ۳ و ۴ نشان داده شدند. مقیاس اندازه‌گیری سالانه، فصلی و ماهانه بودند مشخص

جدول ۳. ایستگاه‌های دارای روند با سطح اطمینان بیشتر از ۹۵ درصد

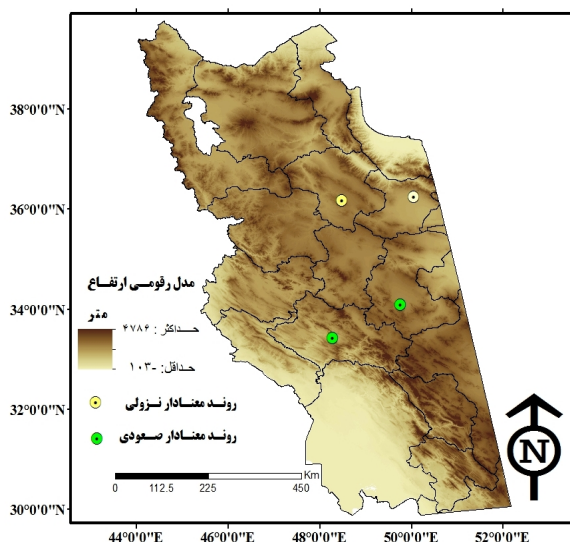
نوع روند		مقیاس آزمون
نزولی	صعودی	
خرم‌دره، قزوین	اراک، ارومیه، اسلام‌آباد غرب، امیدیه، تبریز، خرم‌آباد، سنندج	ماهانه
خرم‌دره، قزوین	اراک، ارومیه، اسلام‌آباد غرب، امیدیه، تبریز، خرم‌آباد، سنندج	فصلی
خرم‌دره، قزوین	اراک، خرم‌آباد	سالانه

در هر ایستگاه، سری زمانی ماه‌های ذکر شده برای هر ایستگاه طی دوره زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ ایجاد شد. با ترسیم عدد مربوط هر ماه در مقابل زمان رخداد آن برای هر ایستگاه نمودار پراکنش آن ایستگاه حاصل شد که برآزش خط با معادله درجه اول، نحوه سیر تغییرات وقوع گرد و غبار را نمایان کرد. نتیجه درخور توجه در این بررسی، مشخص شدن جهت تغییرات زمانی وقوع گرد و غبار برای هر ایستگاه بود که نشان می‌داد که طی زمان، ماه وقوع بیشترین تعداد گرد و غبار به سمت ماه‌های گرم یا ماه‌های سرد جابه‌جا شده است.

در ادامه پژوهش، جابه‌جایی زمانی وقوع گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد. برای نیل به این هدف، برای هر ایستگاه فراوانی وقوع گرد و غبار ماهانه گردآوری، سپس برای هر سال ماهی که دارای بیشترین وقوع گرد و غبار بود مشخص شد (جدول ۴). برای نمونه، در ایستگاه اراک بیشترین تعداد گرد و غبار سال ۱۹۸۹ در ماه‌های پنجم و هفتم (می و جولای) رخ داده یا بیشترین وقوع گرد و غبار در سال ۲۰۰۸ برای ایستگاه یاسوج در ماه ششم (ژوئن) ثبت شده است. با مشخص شدن ماه وقوع حداکثر رخداد گرد و غبار



شکل ۳. ایستگاه‌های دارای روند با سطح اطمینان بیشتر از ۹۵ درصد در مقیاس ماهانه و فصلی



شکل ۴. ایستگاه‌های دارای روند با سطح اطمینان بیشتر از ۹۵ درصد در مقیاس سالانه

جدول ۴. استخراج ماه وقوع حداکثر تعداد گرد و غبار ایستگاه‌ها طی دوره آماری

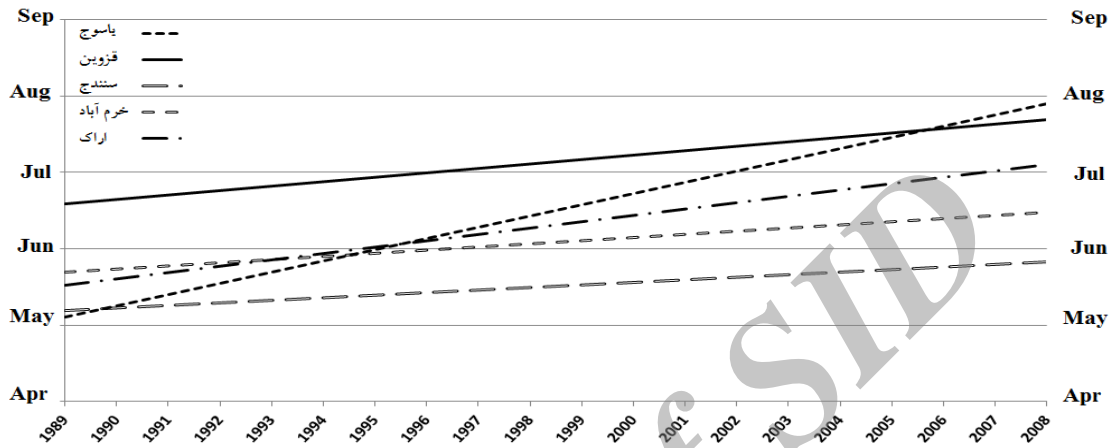
ایستگاه‌ها	۱۹۸۸		۱۹۹۷		۱۹۹۶		۱۹۹۵		۱۹۹۴		۱۹۹۳		۱۹۹۲		۱۹۹۱		۱۹۹۰		۱۹۸۹	
	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد
اراک	۲۰۳	۱	۹	۲	۹	۵	۶	۱	۴	۲	۱	۵	۵	۵	۸	۴	۵	۴	۵	۳
اردبیل																				
ارومیه																				
اسلام آباد غرب																				
امیدیه	۷۵۸	۹	۲۵۹	۱۷	۲۵۹	۶	۹	۷	۷	۲۱	۵	۱۹	۷	۲۲	۸	۶	۱۴	۶	۳۵	۱۳
اهواز	۴۶۰۷	۲	۸	۷	۸	۶	۷	۱۰	۷	۱۳	۵	۱۳	۷	۲۳	۸	۱۱	۱۵	۶	۶	۱۰
ایلام	۱۰۹	۱	۳	۳	۲۵	۲	۹	۴	۵	۷	۵	۵	۶	۶	۶	۷	۶	۷	۴۶	۵
پارس آباد																				
تبریز	۶۰۱۱	۱	۳	۳	۹	۴	۲	۲	۴۵۶	۳	۵	۶	۲	۲	۸	۹	۵	۵	۱۰	۵
خرم آباد	۵	۱	۵	۵	۹	۶	۶	۱۰	۵	۶	۴	۴	۵	۵	۷	۴	۴	۴	۱۰	۵
خرم دره	۸	۱	۴	۲	۹	۲	۵	۵	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۵۸	۸	۴	۶۷۸	۱۰	۴
خوی	۱۰	۱	۶	۱	۶	۱	۲	۱۰	۴	۱	۱	۱۰	۱	۱						
دزفول	۷	۱۰	۸	۱۱	۸	۱۱	۷	۷	۷	۱۹	۷	۱۹	۱۰	۱۱	۷	۴	۲۷	۶	۶	۱۸
دهران	۷	۸	۷۸	۲	۷۸	۹	۹	۹	۷	۲۱	۷	۱۹	۱۰	۴	۷	۴	۲۱	۵	۶۷	۱۸
زنجان	۱	۱	۹	۲	۹	۲	۴۵	۱	۴۵۶	۴	۴	۴	۴	۲	۵	۲	۴	۶	۱۰	۳
سقز																				
سنندج	۱۰	۱	۱۳	۱	۸	۱	۵۱	۱	۴	۳	۲	۲	۱۰	۲	۳	۴	۵	۶	۱۰	۳
شهرکرد	۱۰	۱	۳۴	۱	۹	۶	۵۱۲	۲	۵۶۹	۱	۵	۲	۵	۴	۵	۵	۲	۴۵۷۰۱۱	۵	۲
قزوین																				
کرمانشاه																				
ماکو																				
میانه																				
همدان	۸	۲	۵۱	۲	۹	۲	۵۶	۱	۵۶	۲	۴	۲	۲	۵	۵	۱۱	۵۶۷۸	۶	۱۰	۵
همدان نوزه	۷	۱۵	۶	۱۰	۹	۷	۷	۹	۴۵	۵	۵	۵	۵	۶	۱۲	۹	۵	۵	۷	۱۱
یاسوج	۳	۱	۳	۲	۹	۵	۵	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۶	۹	۵	۴۷	۵	۳	۶

ادامه جدول ۴. استخراج ماه وقوع حداکثر تعداد گرد و غبار ایستگاهها طی دوره آماری

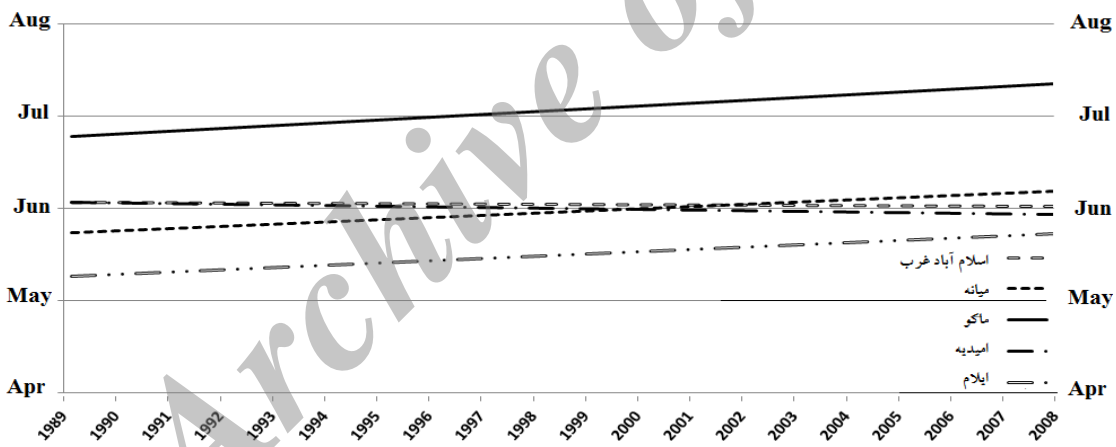
ایستگاهها	۱۹۹۹		۲۰۰۰		۲۰۰۱		۲۰۰۲		۲۰۰۳		۲۰۰۴		۲۰۰۵		۲۰۰۶		۲۰۰۷		۲۰۰۸	
	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه	تعداد	ماه
اراک	۳	۵	۷	۴	۳	۷	۳	۵٫۷	۶	۳	۵	۳	۱۰	۱۴	۷	۴	۶	۴	۱۷	۹
اردبیل	۱	۲۰٫۳	۲	۱	۲	۲			۲	۱۰	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۴	۱	۲	۲٫۹
ارومیه			۸	۴٫۵	۱	۱۰	۳	۴	۴	۴	۲	۴	۳	۱۰	۱	۱	۵۱۱	۱	۴	۵۶۹
اسلام آباد غرب	۶	۵٫۷	۱۲	۶٫۷	۱	۸٫۹	۳	۴	۳	۳	۵	۵	۵	۸	۲	۷	۱۱	۱۶	۶٫۷	
امیدیه	۱۶	۷	۲۴	۵	۲۴	۷	۲۳	۷	۳۰	۷	۲۳	۲۰	۷	۷	۷	۳۰۷	۱۴	۲۵	۷	
اهواز	۱۴	۷	۱۹	۶	۸	۲٫۵	۹	۴٫۹	۱۸	۷	۱۲	۱۹	۷	۱۲	۷	۱۲	۱۲	۲۲	۶	
ایلام	۵	۷	۱۵	۷	۴	۵	۳	۸	۸	۳	۳	۱۴	۷	۱۲	۵	۷	۱۲	۱۵	۷	
پارس آباد																				۱۱
تبریز	۴	۵	۱۰	۵	۷	۵	۴	۱۰	۱۰	۷	۳	۲۰٫۵	۶	۲	۲	۴	۵	۱۱	۹	
خرم آباد	۴	۵٫۷	۱۰	۶٫۷		۶٫۷	۷	۴	۶	۷	۴	۹	۷	۹	۸	۷	۱۹	۱۷	۶	
خرم دره	۴	۷	۷	۵	۱	۲٫۷	۱	۵	۲	۲	۳	۱	۱	۱						
خوی	۲	۵																		۳
درفول	۲۴	۷	۲۳	۷	۱۱	۵	۹	۴۵٫۸	۱۷	۷	۱۵	۲۷	۲۱	۲۷	۲۱	۱۶	۱۶	۲۱	۶	
دهران	۱۶	۷	۱۰	۷	۸	۸	۷	۷	۷	۸	۱۲	۶	۳٫۷	۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۶	
زنجان			۳	۴	۱	۲٫۶	۲	۳	۲	۲			۱	۱	۱	۱	۱	۳	۹	
سفر	۴	۵٫۷	۷	۴٫۵	۱	۵	۲	۱۰	۱۰	۷	۲	۷	۶	۷	۲	۲	۳	۱۱	۵	
سندج	۸	۷	۱۲	۵	۲	۴٫۵	۴	۵	۱۰	۱۰	۴	۵	۷	۱۲	۹	۸	۸	۱۳	۵	
شهرکرد	۲	۵	۳	۵	۳	۶	۴	۴	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۲	۶	۷	۶٫۷	
قزوین	۵	۵	۹	۵	۱	۷	۱	۱۰	۳	۳	۱	۱۰	۶	۳	۱	۱	۶	۷	۶٫۷	
کرمانشاه	۹	۵	۱۲	۷	۴	۵	۴	۵	۶	۶	۴	۵	۷	۱۰	۶	۶	۱۳	۱۴	۴۵٫۷	
ماکو			۳	۶	۲	۶	۳	۲٫۳	۱	۵	۲	۴	۸	۲	۱	۸	۲			
میانه	۱	۲٫۶	۲	۹	۱	۹٫۱														۹
همدان	۴	۵٫۷	۴	۵			۳	۴	۱۰	۷	۲٫۵	۴	۷	۴	۷	۴	۴	۱۱	۶	
همدان نوزه	۲۳	۶	۲۰	۴	۱۴	۵	۲۱	۷	۱۵	۴	۵	۱۲	۵	۱۲	۱۴	۱۳	۱۳	۲۱	۳۵	
یاسوج	۳	۷	۱	۱۱٫۱۲			۲	۱۲	۲	۳	۱۲	۳	۲	۲	۲	۵	۵	۵	۶	

می‌دهد (شکل ۶). در نهایت، گروه سوم جابه‌جایی به سمت ماه‌های سرد را نشان می‌دهد (شکل ۷) که پراکنش همه آن‌ها در شکل ۸ ارائه شده است.

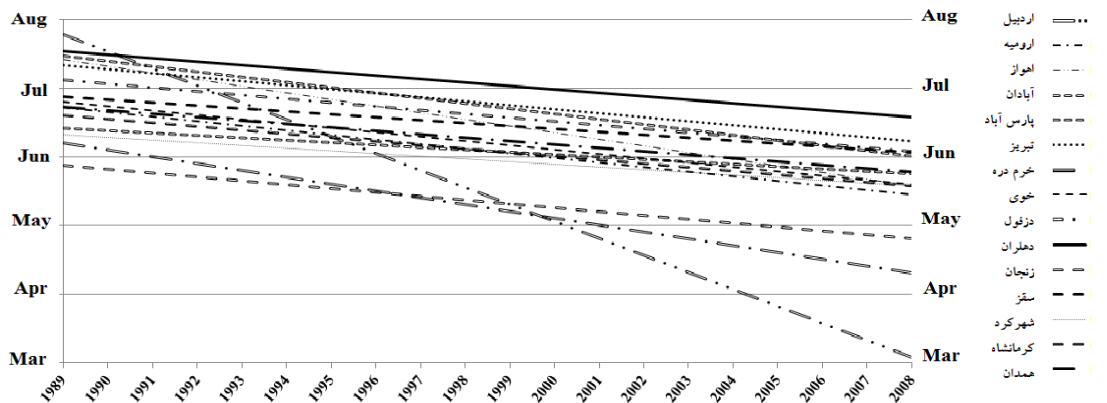
بررسی انجام گرفته سبب تفکیک ایستگاه‌های تحت مطالعه به سه گروه شد. گروه اول، جابه‌جایی بیشینه رخداد گرد و غبار را به سمت ماه‌های گرم (شکل ۵) و گروه دوم، جابه‌جایی کمتر از یک ماه را برای بیشینه گرد و غبار نشان



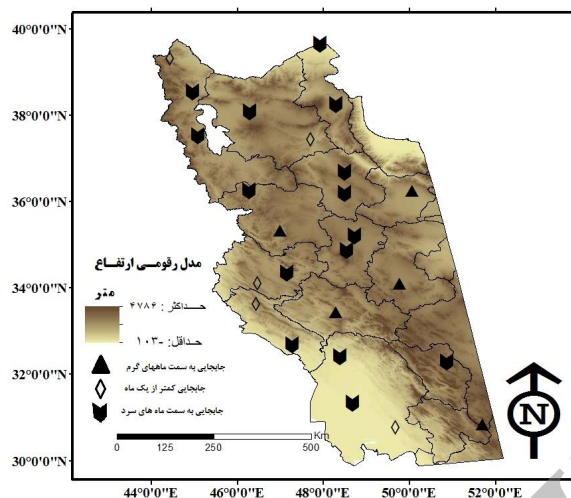
شکل ۵. جابه‌جایی بیشینه رخداد گرد و غبار ایستگاه‌ها به سمت ماه‌های گرم طی دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸



شکل ۶. جابه‌جایی بیشینه رخداد گرد و غبار ایستگاه‌ها در بازه کمتر از یک ماه طی دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸



شکل ۷. جابه‌جایی بیشینه رخداد گرد و غبار ایستگاه‌ها به سمت ماه‌های سرد طی دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸



شکل ۸. پراکنش فضایی جابه‌جایی بیشینه رخداد گرد و غبار ایستگاه‌ها طی دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸

۵. نتیجه‌گیری

بررسی روند مکانی در داده‌های گرد و غبار بیانگر این مهم است که داده‌ها در امتداد شمال- جنوب منطقه مورد مطالعه به صورت خطی افزایش می‌یابند در حالی که در امتداد غرب به شرق از تابع چندجمله‌ای درجه ۲ (منحنی با یک قوس) تبعیت می‌کنند. این امر نشان‌دهنده افزایش فراوانی گرد و غبار در راستای حرکت از غرب به سمت شرق، سپس کاهش فراوانی گرد و غبار به سمت شرق منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. به نظر می‌رسد قرارگیری ارتفاعات در امتداد شمال به جنوب به ویژه رشته‌کوه زاگرس در مسیر پیشروی گرد و غبار سبب این امر شده است. همچنین، ثابت‌بودن رفتار روند مکانی فراوانی گرد و غبار در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه می‌تواند نشان‌دهنده عدم تغییر در منشأ گرد و غبارهای ورودی به منطقه مورد مطالعه در هر سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه باشد. به عبارت دیگر، منشأ و زمان ورود گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه دارای نظم خاصی است. روند زمانی فراوانی گرد و غبار در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه بررسی شد. روند معنادار صعودی (با سطح اطمینان ۹۵ درصد) در ایستگاه‌های اراک، ارومیه، اسلام‌آباد غرب، امیدیه، تبریز، خرم‌آباد و سنندج در دو مقیاس زمانی ماهانه و فصلی مشاهده شد، حال آنکه در مقیاس سالانه

فقط دو ایستگاه اراک و خرم‌آباد دارای روند صعودی معنادار بودند. همچنین، در دو ایستگاه قزوین و خرم‌دره روند نزولی در فراوانی رخداد گرد و غبار با سطح اطمینان ۹۵ درصد در هر سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه مشاهده شد.

با مشخص کردن زمان رخداد بیشترین فراوانی گرد و غبار در هر ایستگاه، جابه‌جایی وقوع بیشینه فراوانی گرد و غبار طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ بررسی و مشخص شد که بیشینه فراوانی وقوع گرد و غبار در برخی ایستگاه‌ها (یاسوج، قزوین، سنندج، خرم‌آباد و اراک) به سمت ماه‌های گرم و در برخی دیگر (اردبیل، ارومیه، آبادان، اهواز، پارس‌آباد، تبریز، خرم‌دره، خوی، دزفول، دهلران، زنجان، سقز، شهرکرد، کرمانشاه و همدان) به سمت ماه‌های سرد جابه‌جا شده‌اند. همچنین، در برخی ایستگاه‌ها (ایلام، امیدیه، ماکو، اسلام‌آباد غرب و میانه) جابه‌جایی محسوسی به سمت ماه گرم یا سرد مشاهده نشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرحی است که با حمایت مالی دانشگاه پیام‌نور با عنوان «تحلیل فضایی- زمانی رخداد گرد و غبار در غرب ایران» به تصویب رسیده است.

یادداشت‌ها

۱. زمان‌های اندازه‌گیری در ایستگاه‌ها بر مبنای زمان مرجع جهانی
2. Kolmogorov-Smirnov Test
3. Concordant
4. Discordant

منابع

- اختصاصی، م. ر.، شاکری، ف.، سلیمانی مطلق، م. ۱۳۸۹. مقایسه و بررسی روند خشکسالی و وقوع گرد و غبار (مطالعه موردی: شهرستان لار، یزد)، دومین همایش ملی فرسایش بادی.
- اسماعیلی، ا. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی مقدماتی مراکز اصلی تولید غبار کشور با استفاده از فناوری سنجنش از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی مسعود تجریشی و پیمان دانش کار آراسته، دانشگاه صنعتی شریف.
- امانی، الف.، حسینی‌شمع، ع. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های حوضه آبریز رودخانه ارس جنوبی، فضای جغرافیایی، شماره ۲۹، صص ۱-۲۶.
- امیدوار، ک.، نکونام، ز. ۱۳۹۰. کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۶، صص ۸۵-۱۰۴.
- امیدوار، ک. ۱۳۸۹. تحلیلی از رژیم بادهای شدید و توفانی یزد، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱، صص ۸۳-۱۰۵.
- جلالی، م.، بهرامی، ح.، درویشی بلورانی، ع. ۱۳۹۱. بررسی ارتباط بین فاکتورهای اقلیمی و زمینی با وقوع توفان گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (مطالعه موردی: استان خوزستان)، کرج، اولین همایش ملی بیابان.
- حمیدی، م.، کاویانپور، م. ر.، یاری‌زاده، ب. ۱۳۹۰. بررسی شرایط جوی تشدیدکننده توفان گرد و غبار ورودی از مرزهای غربی کشور، تهران، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست.
- خورانی، ا. ۱۳۹۱. بررسی و تحلیل زمانی توفان‌های گرد و غبار در ایستگاه بندرعباس، کرج، اولین همایش ملی بیابان.
- دادفر، ص.، اختصاصی، م.، شاه‌بندری، ر.، کامرانی، ف. ۱۳۹۰. تحلیل توفان‌های گرد و غبار با استفاده از ترسیم گلباد و توفان (مطالعه موردی: استان قزوین)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران.
- رحیم‌زاده، ف. ۱۳۹۰. روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی، چاپ اول، انتشارات فروزش، تهران.
- رسولی، ع.، جوان، خ. ۱۳۹۱. تحلیل روند وقوع توفان‌های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۸، صص ۱۱۱-۱۲۶.
- زهرایی، ا. ۱۳۹۰. مدل‌سازی روند تغییرات پدیده گرد و غبار شهر زاهدان بر اساس روش‌های آماری ناپارامتریک طی نیم سده اخیر، دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران.
- شمسی‌پور، ع.، صفرراد، ط. ۱۳۹۱. تحلیل ماهواره‌ای-همدید پدیده گرد و غبار، پژوهش‌های جغرافیا طبیعی، شماره ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.

صلاحی، ب. ۱۳۸۹. بررسی ویژگی‌های آماری و هم‌مدیدی توفان‌های تندری استان اردبیل، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۲، صص ۱۲۹-۱۴۲.

طالبی، م. ۱۳۸۴. تحلیل آماری وزش توفان در استان یزد، یزد، اولین همایش ملی فرسایش بادی.

عزیزی، ق.، شمسی‌پور، ع.، میری، م.، صفرراد، ط. ۱۳۹۱. تحلیل آماری-هم‌مدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۳۴.

علیزاده، م.، کمالیان، ص.، خورانی، ا.، نوحه‌گر، ا. ۱۳۹۱. تأثیر اقلیم در میزان تعداد روزهای دارای گرد و غبار، کرج، اولین همایش ملی بیابان. فرج‌زاده اصل، م.، علیزاده، خ. ۱۳۹۰. تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و خاک در ایران، مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره پانزدهم، شماره ۱، صص ۶۵-۸۴.

کرمانشاه، ا. ۱۳۹۰. بررسی علل وقوع گرد و غبار در مناطق غربی کشور و تأثیر آن بر تغییرات اقلیمی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی مسعود تجریشی، دانشگاه صنعتی شریف.

کریمی، م.، شکوهی، ک. ۱۳۹۰. اندر کنش گردش جو و پوشش سطح زمین در ساز و کار تشکیل و گسترش توفان‌های گرد و غبار تابستانه خاورمیانه (گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۸، صص ۱۱۳-۱۳۰.

مهرشاهی، د.، نکونام، ز. ۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزواری، جغرافیا، شماره ۲۲، صص ۸۳-۱۰۴.

Abdi, H. 2007. Kendall rank correlation. In N. Salkind, Encyclopedia of measurement and statistics, Thousand Oaks, SAGE Publications.

Abobakr, S. A., Adel, A. A., Alhaider, M. A. 1987. Measurement of atmospheric particle size distribution during sand/duststorm in Riyadh Saudi Arabia, Atmospheric Environment, 21, 2723-2725.

Dodangeh, E., Yaping, Sh., Daghe stani, M. 2012. L-Moments and fuzzy cluster analysis of dust storm frequencies in Iran, Aeolian Research, 5, 91-99.

Engestadler, S. 2001. Dust Storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Freidrich-Schiller university press. Jena. Germany.

Huang, M. Gongbing, P. Ji asheng, Z. Shihuang, Z. 2006. Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China, Global and Planetary Change, 52, 216-224.

Indoitu, R., Orlovsky, L., Orlovsky, N. 2012. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations, Journal of Arid Environments, 85, 62-70.

Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S., Chun, Y., Park, M. 2011. Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia, Global and Planetary Change, 78, 14-22.

Kai, Z., and Gao, H. 2007. The characteristics of Asian-dust storms during 2000-2002: From the source to the sea, Atmospheric Environment, 41, 9136-9145

Kutiel, H., and Furman, H. 2003. Dust storms in the Middle East: Sources of origin and their temporal characteristics, Indoor and Built Environment. 12. 419-426.

Nelsen, R. B. 2001. Kendall tau metric, in Hazewinkel Michiel, Encyclopedia of Mathematics, Springer.

Nickling, W. G., and Brazel, A. J. 1984. Temporal and Spatial Characteristics of Arizona DustStorm (1965-1980), Journal of Climatology, 4, 645-660.

Prokhorov, A.V. 2001. Kendall coefficient of rank correlation, in Hazewinkel, Michiel, Encyclopedia of Mathematics, Springer.

Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observations, WMO, No 415, Geneva.

Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., Rastmanesh, F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran), Journal of Geochemical Exploration, 111, 138-151.