

فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ارتباط با تغییرات اقلیمی در منطقه خشک ایران

معین متولی‌زاده نائینی^۱ و رضا مدرس *

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۶)

چکیده

طوفان‌های گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک آثار زیان‌باری بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت جوامع محلی و جهان می‌گذارد. این طوفان‌ها تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی و متغیرهای سطح زمین هستند. در این مطالعه، از تعداد رخداد گرد و غبار سالانه در ۲۵ ایستگاه و ۵ متغیر اقلیمی از جمله بارندگی، حداکثر سرعت باد، متوسط سرعت باد، حداکثر دمای سالانه و متوسط دمای سالانه در مناطق خشک ایران تا سال ۲۰۱۴ استفاده شد تا تأثیرات تغییرات اقلیمی بر طوفان‌های گرد و غبار نشان داده شود. ابتدا سری زمانی همبستگی سالانه متغیرهای اقلیمی و گرد و غبار بر مبنای مشاهدات ماهانه محاسبه شد. سپس با استفاده از روش من-کندال روند تغییرات متغیرهای اقلیمی، گرد و غبار و روند همبستگی بین آنها تعیین شد. نتایج نشان داد که تغییرات ضریب همبستگی در طول دوره آماری دارای نوسان بوده و در برخی سال‌ها این ضریب معنی‌دار و در برخی سال‌ها معنی‌دار نیست و مقادیر آنها برای سرعت باد و دما در بسیاری از ایستگاه‌ها بین ۰/۶ تا ۰/۹ و برای بارندگی بین ۰/۲- تا ۰/۶- نیز می‌رسد، این روند همبستگی در بسیاری از ایستگاه‌ها با روند تغییرات متغیرهای اقلیمی همسو است که بیانگر هم‌راستایی تغییرات اقلیمی با نوسانات گرد و غبار در منطقه مرکزی ایران است. نتایج نشان داد که سرعت باد و دما تأثیر بیشتری بر نوسانات فراوانی طوفان‌های گرد و غبار دارند و کاهش بارندگی اثر افزایشی بر گرد و غبار دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، روند طوفان‌های گرد و غبار، سرعت باد، خشکسالی، ایران

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه مهندسی طبیعت (مرتج و آبخیزداری سابق)، دانشکده منابع طبیعی و عضو قطب علمی مدیریت ریسک و بلایای طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Reza.modarres@iut.ac.ir

مقدمه

طوفان‌های گرد و غبار یکی از مخاطرات مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که به دلیل قدرت جابه‌جایی بالا، ذرات گرد و غبار را هزاران کیلومتر دورتر از منشأ اصلی خود تحت تأثیر قرار می‌دهند. عوامل بسیاری بر پدیده گرد و غبار مؤثرند که از جمله مهم‌ترین آنها تغییرات اقلیمی، شرایط سطح زمین و تأثیرات انسانی است. با افزایش مناطق مستعد وقوع طوفان‌ها و اضافه شدن مواد آلاینده‌های شیمیایی به خاک‌های مناطق خشک این طوفان‌ها می‌توانند موجب بیماری‌های گوناگون شوند. طوفان گرد و غبار به‌عنوان پدیده‌ای بارز در مناطق بیابانی هر ساله تقریباً ۲۰۰۰ میلیون تن خاک به اتمسفر وارد می‌کند که ۷۵ درصد آن در زمین و ۲۵ درصد آن در اقیانوس‌ها ترسیب می‌شود (۱۹). این پدیده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند خاورمیانه رایج است (۱۳). از جمله تأثیرات محیط زیستی و اقتصادی این پدیده می‌توان به پدیده فرسایش بادی اشاره کرد. از بین بردن لایه‌های حاصلخیز خاک می‌تواند تأثیرات زیان‌بار اقتصادی به ویژه اقتصاد کشاورزی برای مردم محلی منطقه و به خصوص کشور به ارمغان آورد. همچنین، وجود ذرات شیمیایی معلق در این طوفان‌ها می‌تواند آثار زیان‌باری را برای مردم محلی و همچنین مردم ساکن در اطراف این طوفان‌ها بوجود آورد. ذرات حمل‌شده غبار نیز می‌تواند در مناطقی دورتر از منبع انتشار اصلی تأثیر منفی بگذارد (۱۱). بنابراین، مطالعه عوامل مؤثر بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار به منظور مدیریت و کنترل و همچنین ایجاد زیرساخت‌های پیش‌بینی طوفان بسیار حائز اهمیت هستند. مطالعات متعددی در زمینه تأثیر عوامل مختلف بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار انجام شده که در ادامه به برخی مطالعات انجام شده به‌طور خلاصه اشاره می‌شود.

خشکی و دمای بالا و همچنین زمین‌های کشاورزی رها شده از عوامل مؤثر بر تشدید رخداد گرد و غبار بیان شده است (۱۶). انصاری رنانی (۲) میزان همبستگی پارامترهایی مانند رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و بارش را با وقوع طوفان‌های گرد و غبار در زاهدان بررسی کرد. از بین این پارامترها سرعت

باد بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار و رطوبت نسبی کمترین همبستگی منفی را دارا بود. زهتاییان و همکاران (۲۲) بیان کردند که در سال‌های اخیر بروز فرسایش بادی در سیستان افزایش چشمگیر داشته که این تغییر با افزایش سرعت باد، کاهش بارش، خشک‌شدن دریاچه هامون و وقوع خشکسالی‌ها در ارتباط است. احمدی (۱) نیز با بررسی ارتباط بین عناصر اقلیمی با پدیده گرد و غبار در استان ایلام گزارش کرد که بالاترین همبستگی را دما و باد با گرد و غبار دارند و ارتباط بین بارش و رطوبت نسبی را با پدیده گرد و غبار به صورت معکوس بدست آورد.

یوشینو (۲۰) بیان می‌کند که تغییرات اقلیمی منطقه‌ای نقش مهمی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار بازی می‌کند. وی همچنین نشان داد که دمای بالای هوا، بارندگی کم، پوشش گیاهی فقیر و سرعت زیاد باد شرایط مساعدی برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار فراهم می‌کند. در شمال چین، فنگ‌می و همکاران (۷) نیز به این نتیجه رسیدند که بین گرد و غبار و رطوبت نسبی همبستگی منفی وجود دارد. فنگجیان و همکاران (۶) نیز بین رخداد گرد و غبار و عوامل آب و هوایی در بیابان تکله‌مکان (Taklamakan) اظهار داشتند که باران از عوامل تأثیرگذار بر طوفان‌های گرد و غبار است و بین بارش و گرد و غبار رابطه معکوس وجود دارد که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. مطالعه‌ی پارامترهای هواشناسی مرتبط با گرد و غبار باعث آشکارسازی شرایط مکانی و زمانی این پدیده و شناخت عوامل طبیعی مؤثر بر گرد و غبار می‌شود (۱۸). همچنین، بیان شده که طوفان‌های گرد و غبار خود باعث افزایش روند بیابان‌زایی می‌شود و مرادعی با روند قهقرایی و خاک سطحی متروک باعث ایجاد طوفان‌های گرد و غبار زیادی می‌شوند (۸). به دلیل تأثیر ذرات معلق موجود در طوفان‌های گرد و غبار در آسیا بر سیستم‌های آب و هوایی و سلامت انسان، خصوصیات مکانی و زمانی گرد و غبار در سال‌های اخیر به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (۳). با این حال به نظر می‌رسد مطالعات اندکی در مورد تقسیم منطقه‌ای وقوع گرد و غبار

شود. در واقع این مطالعه با هدف بررسی تغییرات زمانی تأثیر اقلیم بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و روند این تأثیرات در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات و محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا ۲۵ ایستگاه به‌عنوان معرف منطقه خشک و نیمه‌خشک انتخاب شده‌اند که داده‌های اقلیمی هر یک از این ایستگاه‌ها از زمان تأسیس ایستگاه تا سال ۲۰۱۴ از سازمان هواشناسی ایران اخذ شده و از آنها برای تعیین رابطه میان متغیرهای اقلیمی و فراوانی رخداد گرد و غبار سالانه استفاده شد. اطلاعات طوفان گرد و غبار بر مبنای دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر است و در این حالت ۱ رخداد گرد و غبار در ایستگاه هواشناسی ثبت می‌شود. تعداد طوفان‌های گرد و غبار سالانه مورد استفاده در این پژوهش بر اساس داده‌های ماهانه ایستگاه‌ها محاسبه شد. مقدار مجموع بارندگی سالانه، متوسط و حداکثر دمای سالانه، متوسط و حداکثر سرعت باد نیز ابتدا در مقیاس ماهانه جمع‌آوری و اطلاعات سالانه از آنها استخراج شد. به‌منظور بررسی کامل مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که نه تنها کل منطقه را به لحاظ مکانی پوشش دهند بلکه بتوانند معرفی زیر اقلیم‌های مختلف منطقه نیز باشند. به‌عنوان نمونه اقلیم سرد در شمال و اقلیم خشک در جنوب‌غرب و اقلیم‌های گرم در شرق و جنوب‌شرق را شامل شوند. شکل (۱) نحوه توزیع مکانی ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد.

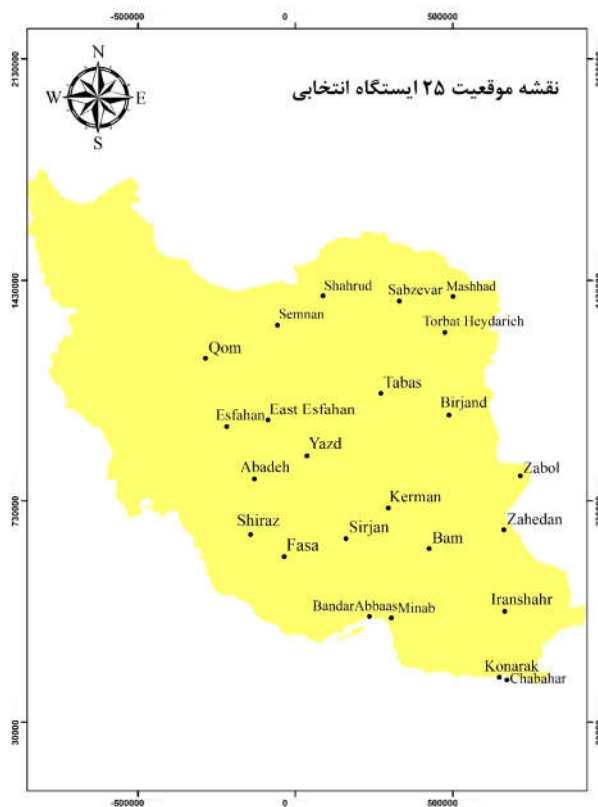
ضریب همبستگی

به‌منظور تعیین ارتباط متغیرهای اقلیمی و طوفان‌های گرد و غبار از همبستگی پیرسون استفاده شد. از آنجاکه هدف این مطالعه بررسی تغییرات این همبستگی در طول زمان است، ضریب همبستگی برای هر سال به‌طور جداگانه محاسبه

به‌ویژه در مورد روابط منطقه‌ای بین تغییرات اقلیمی و وقوع گرد و غبار انجام شده است (۱۵). به‌عنوان نمونه گوان و و همکاران (۹) از عوامل مؤثر بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در شمال چین به سزعت متوسط بیش از ۲ متر بر ثانیه باد، بارندگی کمتر از ۴۵۰ میلی‌متر و درجه حرارت بین ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد اشاره کردند. کاهش بارندگی و سرعت باد در مناطق مرکزی ایران به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع گرد و غبار با استفاده از روش رگرسیون تعیین شد (۵). ابراهیمی خوسفی و همکاران (۵) نشان دادند بارندگی ۵۰ درصد و دمای هوا ۲۷ درصد تغییرات شاخص گردو غبار (DSI) را توجیه می‌کنند. در بیابان‌های آریزونا در جنوب آمریکا، افزایش سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی هوا تأثیر مستقیمی بر طوفان‌های گرد و غبار نشان دادند (۴). بارندگی کم و افزایش قدرت بادهای فرساینده در مناطق مختلف دنیا به‌عنوان عوامل مؤثر بر فراوانی گرد و غبارها عنوان شده است (۱۴). در مناطق بیابانی Tengger چین سرعت باد (۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه) رابطه مستقیمی با فراوانی گرد و غبار دارند درحالی که دما و بارندگی در ارتباط غیرمستقیم (با افزایش پوشش گیاهی) رابطه منفی با تعداد طوفان‌های گرد و غبار نشان می‌دهند (۱۰).

گرچه مطالعات فوق به ارتباط متغیرهای اقلیمی با طوفان‌های گرد و غبار پرداخته‌اند اما همه در یک اصل مشترک هستند. هیچکدام از مطالعات فوق به موضوع نحوه تغییرات تأثیر متغیرهای اقلیمی بر طوفان‌های گرد و غبار در طول زمان اشاره نکرده‌اند و تنها ارتباط کلی را با یک ضریب همبستگی بررسی کرده‌اند و این ارتباط را در طول زمان نشان نداده‌اند.

در این پژوهش رابطه وقوع طوفان‌های گرد و غبار با متغیرهای اقلیمی از جمله بارندگی، سرعت باد بیشینه، سرعت متوسط باد، دمای بیشینه ماهانه و دمای متوسط ماهانه مورد بررسی قرار می‌گیرد تا اثر تغییرات اقلیمی بر رخداد طوفان‌های گرد و غبار در طول چند دهه اخیر آشکار



شکل ۱. نقشه موقعیت ایستگاه‌های انتخابی

تحلیل روند

آزمون روند غیر پارامتری من کندال (۱۲) معمولاً برای تشخیص یکنواختی در سری داده‌های محیط زیستی، آب و هوا یا هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. فرض صفر در این آزمون این است که داده‌ها از جمعیتی با تحقق مستقل حاصل می‌شوند و به‌طور یکسان توزیع می‌شوند. فرضیه جایگزین هم در این آزمون این است که داده‌ها از یک روند یکنواخت پیروی می‌کنند. آماره آزمون من کندال از طریق روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (۲۱).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(X) = \begin{cases} 1 & \text{if } X > 0 \\ 0 & \text{if } X = 0 \\ -1 & \text{if } X < 0 \end{cases} \quad (3)$$

شد. به این ترتیب که همبستگی متغیرهای اقلیمی با فراوانی گرد و غبار در ۱۲ ماه هر سال به‌طور مجزا محاسبه و به‌عنوان ضریب همبستگی سالانه در نظر گرفته شد. ضریب همبستگی پیرسون (رابطه ۱) نیز به طریق زیر محاسبه می‌شود (۱۷):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

که در آن n برابر تعداد مشاهدات و x_i و y_i نمونه‌هایی از سری مشاهده جداگانه و \bar{x} و \bar{y} میانگین هر کدام از سری‌ها هستند. مقدار این ضریب بین -1 تا 1 تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی، و « -1 » به معنی همبستگی منفی کامل است. با توجه به اینکه در محاسبه ضریب همبستگی معنی دار بودن ضریب از مقدار عددی آن مهم‌تر است، در این پژوهش سطح معنی‌داری ضریب همبستگی $P < \alpha = 0.05$ در نظر گرفته شد.

زاهدان هم همبستگی نوسانی است ولی از سال ۲۰۰۰ به بعد معنی دار شده است.

شکل (۳) نشان‌دهنده تغییرات سالانه ضریب همبستگی متغیر حداکثر دمای مطلق و فراوانی گرد و غبار در ۴ ایستگاه شاخص فسا، ایرانشهر، بندرعباس و زابل است. با توجه به این نمودارها در ایستگاه فسا همبستگی معنی‌دار زیادی (بالای خط معنی‌داری نشان داده شده در نمودار) مشاهده نمی‌شود جز در پایان دوره آماری که افزایش تقریبی دیده می‌شود. همچنین، در ایستگاه ایرانشهر هم ضرایب همبستگی تقریباً در همه سال‌ها معنی‌دار بوده است به جز تعداد معدودی از سال‌ها که کاهش ضرایب همبستگی در نمودار نمایان است اما همانطور که در نمودار نیز مشخص است همبستگی از سال ۱۹۸۰ به بعد بیشتر شده است. در رابطه با ایستگاه بندرعباس می‌توان گفت که از سال ۱۹۷۸ به بعد همبستگی معنی‌دار شده است و از سال ۲۰۰۶ به بعد نیز معنی‌داری کاهش داشته است به طوری که قبل از سال ۱۹۷۸ هیچ همبستگی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. با توجه به نمودار ایستگاه زابل هم می‌توان گفت که همبستگی گرد و غبار در این ایستگاه با متغیر حداکثر دما ماهانه بسیار قوی بوده و در همه دوره آماری به جز چند سال اول، بالای خط معنی‌داری بوده است.

شکل (۴) نشان‌دهنده نمودارهای تغییرات سالانه ضریب همبستگی متوسط سرعت سالانه باد و فراوانی گرد و غبار با ۴ ایستگاه شاخص شاهرود، ایرانشهر، شیراز و بندرعباس به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد است. با توجه به این نمودارها در ایستگاه شاهرود همبستگی از سال ۱۹۷۴ به بعد معنی‌داری خود را تقریباً از دست داده است و همبستگی معنی‌داری به‌جز در برخی سال‌ها مشاهده نمی‌شود. همچنین، در ایستگاه ایرانشهر هم ضرایب همبستگی تقریباً در همه سال‌ها معنی‌دار بوده است به‌جز تعداد معدودی از سال‌ها که افت شدید ضرایب همبستگی در نمودار نمایان است. در رابطه با ایستگاه شیراز می‌توان گفت که از سال ۱۹۷۸ به بعد همبستگی معنی‌دار شده است و از آن سال به بعد تقریباً در تمام سال‌ها همبستگی معنی‌دار بوده

میانگین S همان $E[S]=0$ است و واریانس نیز به طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$(4)$$

$$\sigma^2 = \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right\} / 18$$

که p گروه‌های گره‌خورده در مجموعه داده و t_j تعداد داده‌ها در گروه گره‌خورده j ام است. آماره من-کندال دارای توزیع نرمال است و به شکل رابطه ۵ استفاده شود:

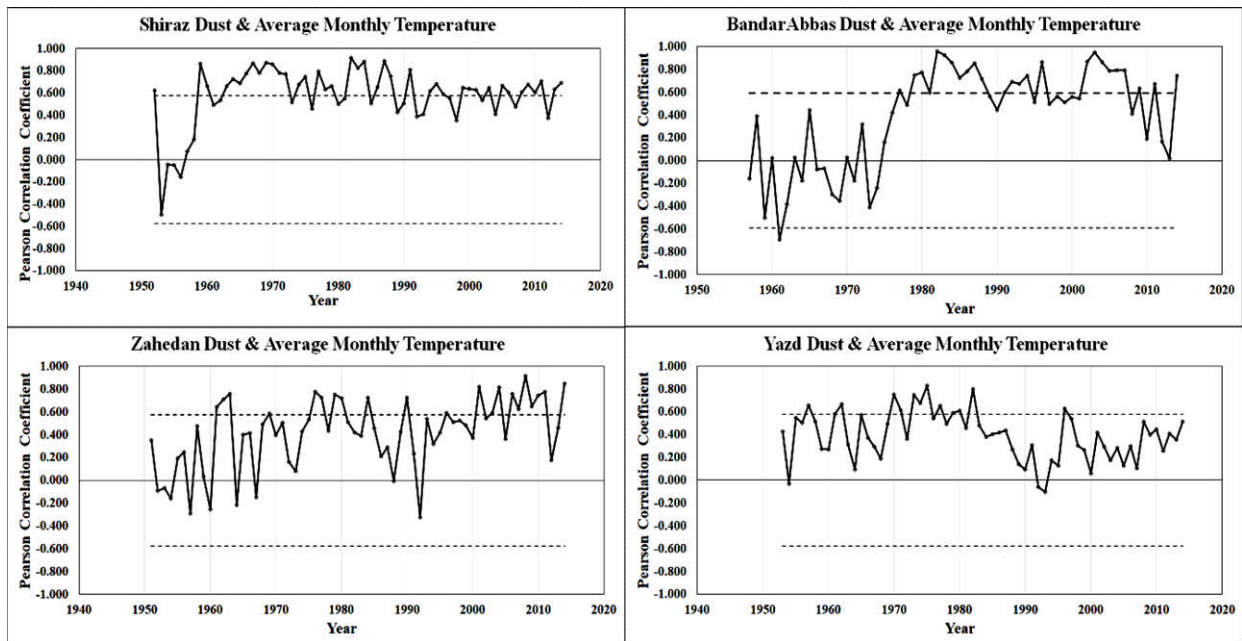
$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

اگر نرمال بودن توزیع Z رد شود میتوان استنباط کرد که سری مشاهداتی دارای روند است.

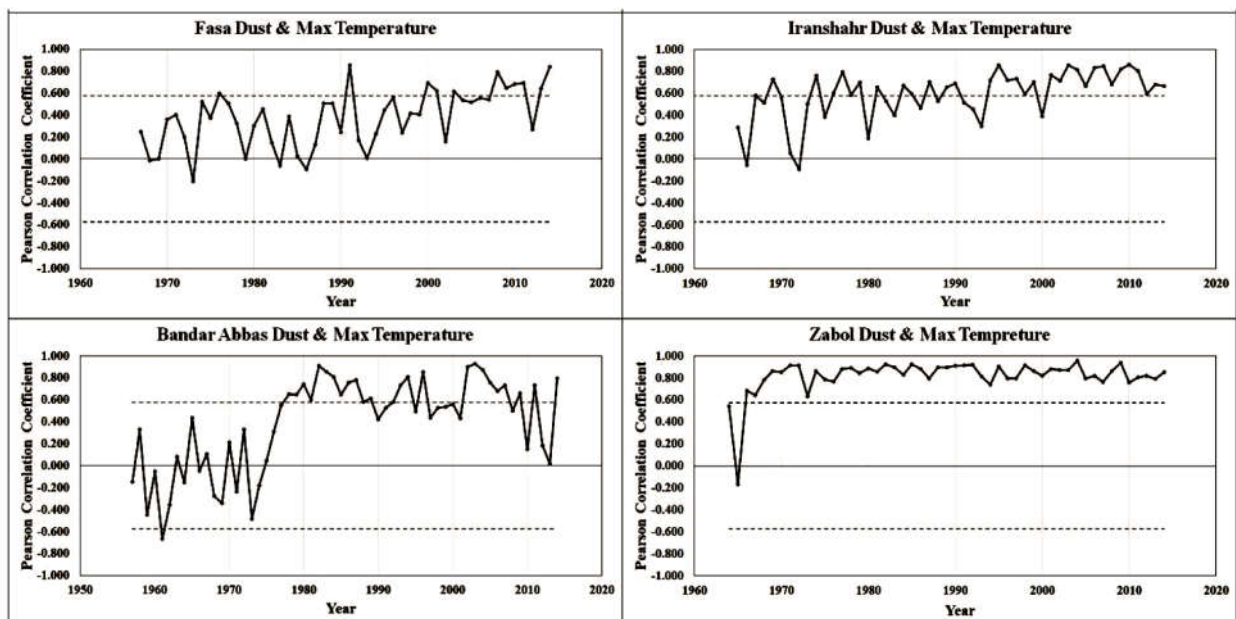
نتایج

تغییرات ضریب همبستگی سالانه

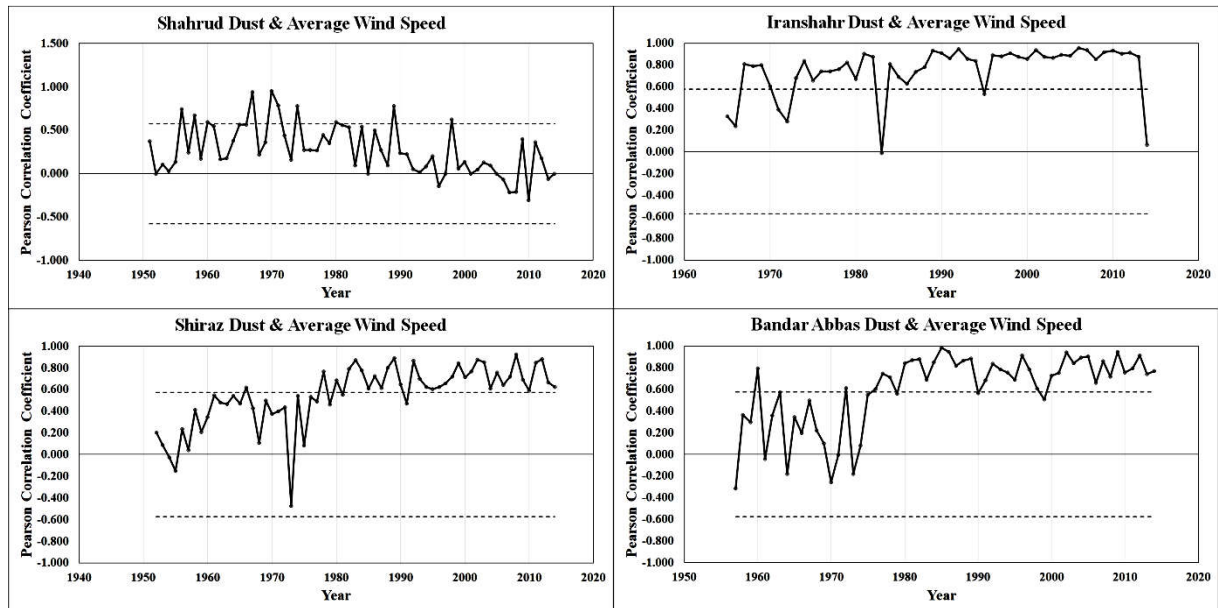
در این قسمت نمودار تغییرات ضرایب همبستگی هر متغیر با فراوانی گرد و غبار در هر ایستگاه ترسیم می‌شود. با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌ها در اینجا تنها ۴ ایستگاه به‌عنوان ایستگاه شاخص انتخاب شده و نمودارهای آنها ارائه می‌شود. شکل (۲) نمودارهای تغییرات سالانه ضریب همبستگی بین متوسط دمای ماهانه و فراوانی گرد و غبار در ۴ ایستگاه شاخص شیراز، بندرعباس، زاهدان و یزد به همراه حدود اطمینان ضریب همبستگی در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها می‌توان دید در ایستگاه شیراز همبستگی از سال ۱۹۶۰ به بعد معنی‌دار شده است و همبستگی معنی‌دار قوی (بالای خط معنی‌داری) مشاهده می‌شود. همچنین، در ایستگاه بندرعباس هم ضرایب همبستگی از سال ۱۹۷۸ به بعد معنی‌دار شده است. در رابطه با ایستگاه یزد می‌توان گفت که از سال ۱۹۸۲ به بعد همبستگی، معنی‌دار نیست. در نمودار ایستگاه



شکل ۲. نمودارهای تغییرات ضریب همبستگی سالانه ۴ ایستگاه شاخص مربوط به متغیر متوسط دمای ماهانه



شکل ۳. نمودارهای تغییرات ضریب همبستگی سالانه ۴ ایستگاه شاخص مربوط به متغیر حداکثر دمای ماهانه



شکل ۴. نمودارهای تغییرات ضریب همبستگی سالانه ۴ ایستگاه شاخص مربوط به متغیر متوسط سرعت باد

سالانه و فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ۴ ایستگاه شاخص تربت حیدریه، مشهد، بندرعباس و زابل نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که متغیر بارندگی فقط در برخی از سال‌ها دارای ضریب همبستگی معنی‌دار است. اما در ایستگاه زابل متغیر بارندگی همبستگی معنی‌دار زیادی را با گرد و غبار نشان می‌دهد. همچنین، در ایستگاه مشهد رابطه بارندگی با گرد و غبار بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ معنی‌دار شده است. در ایستگاه‌های مشهد، بندرعباس و زابل همبستگی‌های معنی‌دار به صورت منفی است اما در ایستگاه تربت حیدریه همبستگی‌های معنی‌دار به صورت مثبت است.

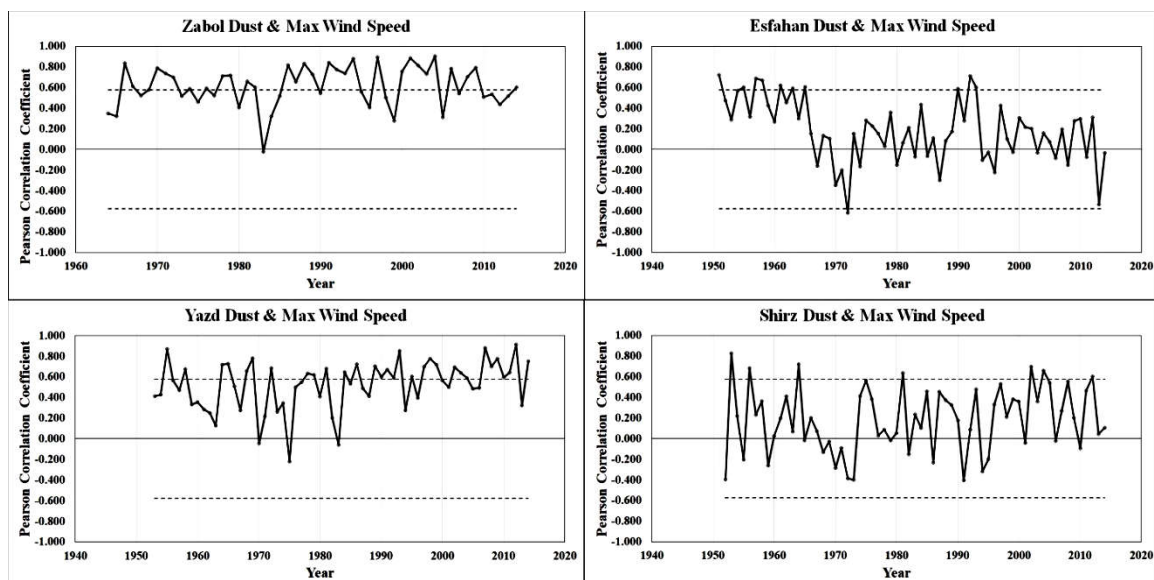
نتایج روندیابی

جدول (۱) نشان‌دهنده نتایج روندیابی هر یک از ۵ متغیر استفاده شده به همراه گرد و غبار و روند ضرایب همبستگی مربوط به هر متغیر است. با توجه به این جدول در برخی از ایستگاه‌ها هم متغیر اقلیمی و هم ضریب همبستگی مربوط به آن متغیر دارای روند بوده‌اند. برای نمونه در ایستگاه‌های بندرعباس، زاهدان، ایرانشهر، بم، فسا و شاهرود همسویی ۳ پارامتر روند متغیر اقلیمی، روند همبستگی و روند گرد و غبار

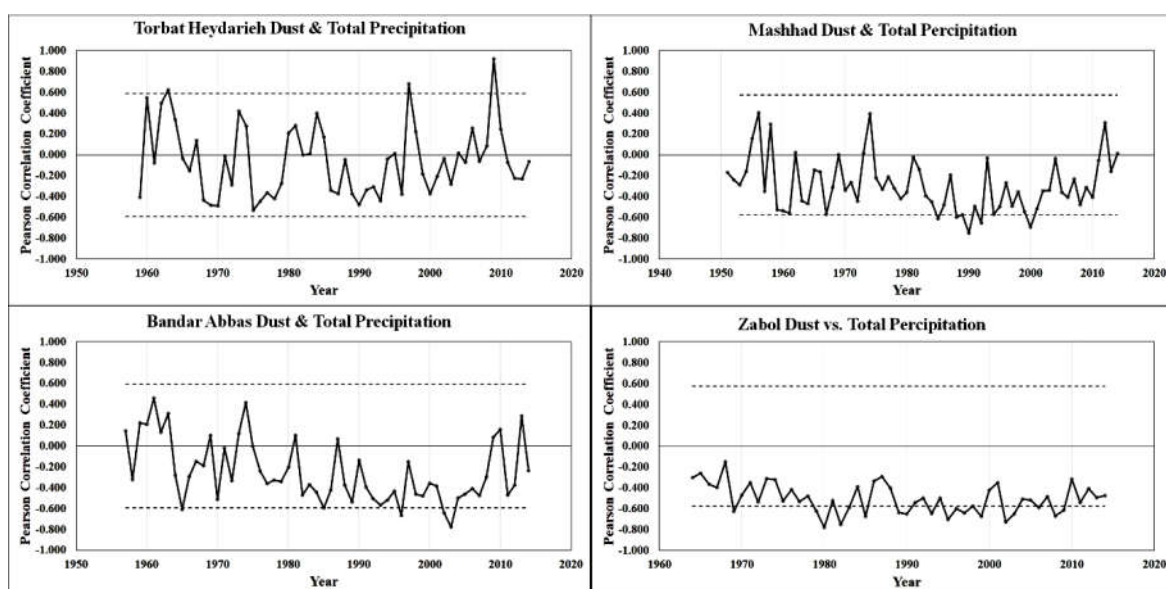
است. با توجه به نمودار ایستگاه بندرعباس هم برداشت می‌شود که همبستگی متغیر متوسط سرعت باد با گرد و غبار از سال ۱۹۷۷ به بعد معنی‌دار شده است و از آن سال به بعد تقریباً در تمام سال‌ها همبستگی معنی‌دار بوده است.

شکل (۵) نشان‌دهنده نمودارهای تغییرات سالانه ضریب همبستگی متغیر حداکثر سرعت باد و فراوانی گرد و غبار در ۴ ایستگاه شاخص زابل، اصفهان، یزد و شیراز است. با توجه به این نمودارها در ایستگاه زابل همبستگی معنی‌دار قوی (بالای خط معنی‌داری نشان داده شده در نمودار) مشاهده می‌شود و فقط در برخی سال‌ها همبستگی معنی‌دار نیست. همچنین در ایستگاه اصفهان ضرایب همبستگی از سال ۱۹۶۵ از معنی‌داری خارج و سپس در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳ معنی‌دار شده و دوباره معنی‌داری خود را از دست داده‌اند. در رابطه با ایستگاه یزد می‌توان گفت که همبستگی تقریباً در کل دوره آماری بالا بوده و فقط در برخی سال‌ها کاهش داشته است. با توجه به نمودار ایستگاه شیراز هم برداشت می‌شود که همبستگی ابتدا معنی‌دار بوده و سپس از معنی‌داری خارج شده و دوباره در سال ۲۰۰۱ معنی‌دار شده است.

در شکل (۶) تغییرات سالانه ضریب همبستگی مجموع بارندگی



شکل ۵. نمودارهای تغییرات ضریب همبستگی سالانه ۴ ایستگاه شاخص مربوط به متغیر حداکثر سرعت باد



شکل ۶. نمودارهای تغییرات ضریب همبستگی سالانه ۴ ایستگاه شاخص مربوط به متغیر مجموع بارندگی

امکانپذیر نیست، در ادامه نتایج ارتباط متغیرهای اقلیمی با روند فراوانی گرد و غبار به طور خلاصه برای هر متغیر اقلیمی در سطح کل منطقه مطالعاتی بیان می‌شود.

متوسط دمای ماهانه

از آنجایی که همبستگی به نسبت زیادی در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی در این مقاله بین متغیر یاد شده و گرد و غبار

به چشم می‌خورد و همچنین در ایستگاه‌های اصفهان و قم فقط ۲ پارامتر متغیر اقلیمی و ضریب همبستگی دارای روند همسو هستند.

بحث

مطالعه حاضر در مورد ۲۵ ایستگاه و ۵ متغیر اقلیمی انجام شده است ولی ارائه نتایج همه ایستگاه‌ها با توجه به محدودیت مقاله

جدول ۱. نتایج روندیابی به روش من کدال

نام ایستگاه	مجموع گردوغبار		سرعت پیشینه باد		دمای پیشینه		متوسط سرعت باد		مجموع بارندگی		متوسط دمای ماهانه	
	تست Z متغیر	تست همبستگی Z	تست Z متغیر	تست همبستگی Z	تست Z متغیر	تست همبستگی Z	تست Z متغیر	تست همبستگی Z	تست Z متغیر	تست همبستگی Z	تست Z متغیر	تست همبستگی Z
شرق اصفهان	-2.68**	0.03	-3.37**	0.43	1.45	-1.08	0.67	0.08	0.79	0.1	4.00**	0.1
زابل	1	0.75	5.11**	0.89	2.79**	-0.05	4.67**	-2.06*	-1.07	0.88	-0.96	0.88
شیراز	3.67**	1.41	3.27**	0.42	4.55**	6.33**	-4.36**	6.33**	-0.83	0.05	5.85**	0.05
بندرعباس	4.80**	-2.90**	1.8	4.28**	2.86**	4.88**	-0.02	-3.29**	-0.72	4.20**	-3.29**	4.20**
سبزوار	-2.85**	0.04	-0.19	-2.00*	2.72**	-2.01*	-1.43	-0.26	1.13	-2.10*	1.81	-2.10*
زاهدان	3.81**	-2.00*	-1.23	3.33**	1.25	-1.27	-2.80**	-1.44	-2.93**	3.86**	3.56**	3.86**
کرمان	-4.92**	-0.86	3.73**	-0.27	2.70**	-1.55	-3.90**	-0.3	-2.77**	-0.7	-0.01	-0.7
یزد	-0.1	2.51*	-2.25*	-2.14*	3.25**	-0.32	-1.82	-0.97	-0.49	-2.38*	4.67**	-2.38*
مشهد	-0.67	1.52	2.28*	1.7	3.26**	1.04	0.12	-1.35	-0.26	1.22	6.12**	1.22
آبادیه	-0.21	-0.8	1.16	0.44	-0.1	-1.19	0.59	-0.22	0	0.82	-0.61	0.82
ایرانشهر	4.30**	-0.62	4.64**	3.95**	-0.95	4.60**	3.96**	-1.3	-0.55	4.10**	-3.39**	4.10**
اصفهان	-0.17	-3.15**	-2.27*	1.42	2.23*	-1.19	-6.64**	-0.06	1.73	1.7	5.81**	1.7
بم	2.95**	-0.51	1.54	1.97*	4.14**	-0.04	-0.44	-1.48	-1.17	1.5	4.27**	1.5
بیرجند	-2.21**	-0.72	1.58	-0.21	-1.07	0.1	-0.42	-0.42	-1.43	0.08	-0.91	0.08
تربت حیدریه	-3.10**	-0.57	5.16**	-0.62	-3.81**	-2.15**	2.83**	0.35	-0.63	-0.51	-3.47**	-0.51
چابهار	2.27*	0.18	-1.78	1.01	2.18*	0.73	-0.2	-1.2	0.94	0.46	-1.41	0.46
سیرجان	-3.34**	-2.39*	0.7	-0.21	1.46	-0.46	1.89	2.14*	-0.86	-0.32	1.46	-0.32
میناب	-1.66	0.07	-0.25	-3.18**	2.64**	-0.79	-1.05	2.07*	-0.32	-3.28**	0.04	-3.28**
کنارک چابهار	1.25	-0.71	2.90**	1.61	-1.46	1.25	1.59	-0.57	0.43	1.32	0.82	1.32
فسا	5.77**	0.27	3.44**	3.83**	2.15*	3.65**	-1.56	-1.1	-0.98	3.75**	-2.67**	3.75**
کاشان	-0.6	1.06	3.08**	0.06	-0.2	-0.41	2.75**	0.2	-0.6	0	-2.41*	0
سمنان	-0.85	-0.89	3.51**	-0.72	0.95	-1.5	1.39	-0.82	0.42	-0.22	-0.51	-0.22
طبرس	3.74**	-0.04	4.09**	0.72	0.18	0.52	2.16*	-0.49	-0.41	0.66	1.85	0.66
قم	1.93	-0.58	4.01**	3.10**	4.28**	1.65	1.85	-1.51	0.98	3.24**	0.85	3.24**
شاهرود	-4.05**	-1.6	5.02**	-1.86	2.49*	-3.55**	-3.70**	-0.13	1.29	-2.07*	2.44*	-2.07*

** معنی داری در سطح ۰.۰۱ * معنی داری در سطح ۰.۰۵

مرکز منطقه خشک و نیمه خشک بیشترین همبستگی مثبت را با متغیر حداکثر دما داشته‌اند. همچنین، با توجه به نتایج روندیابی می‌توان دید که روند این متغیر در ۱۵ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه بررسی شده معنی‌دار بوده که در ۱۴ ایستگاه به صورت افزایشی و در ایستگاه تربت حیدریه به صورت کاهش‌ی است. در ۷ ایستگاه روند متغیر هماهنگ با روند گرد و غبار است که با توجه به قوی بودن همبستگی بین این متغیر و گرد و غبار در همه آنها می‌توان اذعان کرد روند گرد و غبار در این ایستگاه‌ها توسط متغیر حداکثر دمای ماهانه می‌شود. همچنین، در ایستگاه‌های سبزوار، کرمان و شاهرود روند متغیر مخالف با روند گرد و غبار است و بخاطر همبستگی بالا در بسیاری از آن ایستگاه‌ها می‌توان بیان کرد که سایر عوامل تأثیرگذار، برای نمونه عوامل محلی یا عوامل انسانی و یا عوامل مربوط به سطح زمین، تأثیرگذاری بیشتری نسبت به متغیر حداکثر دمای سالانه داشته‌اند. همچنین، در ایستگاه‌های زابل، یزد، مشهد، اصفهان، میناب و قم با وجود روند معنی‌دار متغیر به دلیل نبود روند معنی‌دار برای گرد و غبار می‌توان اظهار نظر قطعی بر ارتباط روند متغیر با روند گرد و غبار انجام داد. در ایستگاه‌های بندرعباس، بم و فسا روند متغیر با روند ضریب همبستگی و روند فراوانی گرد و غبار همسویی دارد.

متوسط سرعت باد

از آنجایی که همبستگی زیادی در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی در این مقاله بین متغیر یادشده و گرد و غبار وجود دارد می‌توان این متغیر را یکی از عوامل تأثیرگذار بر گرد و غبار عنوان کرد. برای نمونه در شکل (۴) همبستگی معنی‌دار قوی بین این متغیر و گرد و غبار در ایستگاه‌های ایرانشهر، شیراز و بندرعباس مشهود است. در کل منطقه بررسی شده همه ایستگاه‌های واقع در منطقه خشک و نیمه خشک به جز منطقه شمالی (ایستگاه‌های سمنان، شاهرود و سبزوار) بیشترین همبستگی را با این متغیر داشته‌اند. همچنین، با توجه به نتایج روندیابی می‌توان دید که روند این متغیر در ۱۰ ایستگاه از

وجود دارد می‌توان این متغیر را یکی از عوامل تأثیرگذار بر گرد و غبار عنوان کرد. برای نمونه در شکل (۲) همبستگی معنی‌دار زیادی بین این متغیر و گرد و غبار در ایستگاه شیراز مشهود است. در کل منطقه بررسی شده ایستگاه‌های واقع در شرق منطقه خشک و نیمه خشک بیشترین همبستگی را با این متغیر داشته‌اند. همچنین، با توجه به نتایج روندیابی می‌توان دید که روند این متغیر در ۱۳ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه بررسی شده معنی‌دار است. در ایستگاه زاهدان، شیراز، بم و تربت حیدریه روند متغیر هماهنگ با روند گرد و غبار است که با توجه به زیاد بودن همبستگی بین این متغیر و گرد و غبار در دو ایستگاه زاهدان و شیراز می‌توان اذعان کرد روند افزایشی گرد و غبار در این ایستگاه‌ها توسط متغیر متوسط دمای ماهانه کنترل می‌شود، اما در دو ایستگاه دیگر به دلیل نبود همبستگی معنی‌دار نمی‌توان متغیر متوسط دمای ماهانه را عاملی تأثیرگذار بر گرد و غبار به حساب آورد.

همچنین، در ایستگاه‌های شرق اصفهان، بندرعباس، ایرانشهر، فسا و شاهرود روند دمای متوسط مخالف با روند گرد و غبار است. برای نمونه در ایستگاه بندرعباس با وجود همبستگی معنی‌دار زیاد و همچنین روند کاهش‌ی این متغیر انتظار می‌رود که روند گرد و غبار نیز کاهش‌ی باشد اما با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود که روند گرد و غبار افزایش‌ی است. در ایستگاه ایرانشهر نیز با توجه به روند کاهش‌ی این متغیر و همبستگی زیاد بین این متغیر و گرد و غبار انتظار می‌رود روند گرد و غبار نیز کاهش‌ی باشد اما با توجه به جدول (۱) روند گرد و غبار افزایش‌ی است. با توجه به نتایج روندیابی فقط ایستگاه زاهدان دارای همسویی روند متغیر متوسط دمای ماهانه با روند ضریب همبستگی و گرد و غبار است. در این ایستگاه‌ها می‌توان گفت عوامل دیگری بر روند افزایش‌ی گرد و غبار تأثیر دارند.

حداکثر دما

از آنجایی که همبستگی زیادی در ۹۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی در این مقاله بین متغیر یادشده و گرد و غبار وجود دارد می‌توان این متغیر را یکی از عوامل تأثیرگذار بر گرد و غبار عنوان کرد. در کل منطقه بررسی شده همه ایستگاه‌های واقع در

بررسی شده همه ایستگاه‌های واقع در کل منطقه خشک و نیمه‌خشک به جز منطقه جنوبی و شرقی بیشترین همبستگی را با این متغیر داشته‌اند. با توجه به نتایج روندیابی می‌توان دید که روند این متغیر در ۱۶ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه بررسی شده معنی‌دار است. در ۵ ایستگاه روند متغیر هماهنگ با روند گرد و غبار است که با توجه به زیادبودن همبستگی بین این متغیر و گرد و غبار در همه آنها می‌توان گفت روند گرد و غبار در این ایستگاه‌ها توسط متغیر سرعت باد کنترل می‌شود. همچنین در ایستگاه‌های کرمان، تربت حیدریه و شاهرود روند متغیر مخالف با روند گرد و غبار است و از آنجایی که همبستگی بین این متغیر و گرد و غبار در این ۳ ایستگاه زیاد است، بنابراین انتظار می‌رود که روند گرد و غبار نیز هماهنگ با روند متغیر باشد اما بیان شد که اینگونه نیست. پس می‌توان نتیجه گرفت که عوامل دیگری به غیر از متغیر حداکثر سرعت باد، برای نمونه عوامل انسانی یا عوامل مربوط به ویژگی‌های سطح زمین و یا اثرات محلی، بر این ۳ ایستگاه اثر گذاشته‌اند. در ۸ ایستگاه باقی‌مانده با وجود روند معنی‌دار متغیر به دلیل نبود روند معنی‌دار برای گرد و غبار نمی‌توان اظهار نظر قطعی بر ارتباط روند متغیر با روند گرد و غبار و حداکثر سرعت باد انجام داد. همچنین، در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد بررسی همسویی روند متغیر یادشده با روند ضریب همبستگی و روند فراوانی گرد و غبار به چشم نمی‌خورد.

بارندگی

با توجه به اینکه این متغیر فقط در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه زابل دارای همبستگی معنی‌دار است، می‌توان گفت که در منطقه مورد بررسی ما متغیر مجموع بارندگی ماهانه تأثیری چندانی بر گرد و غبار در منطقه ندارد اما در همان تعداد محدودی از ایستگاه‌ها که همبستگی معنی‌دار است می‌توان دید که همبستگی بین بارش و گرد و غبار منفی است. به عبارت دیگر کاهش بارندگی باعث افزایش گرد و غبار می‌شود. ایستگاه‌های

۲۵ ایستگاه بررسی شده معنی‌دار است که از بین آنها ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر، تربت حیدریه، کاشان و طبس دارای روند افزایشی و ایستگاه‌های شیراز، زاهدان، کرمان، اصفهان و شاهرود دارای روند کاهش‌ی بوده‌اند. در ایستگاه‌های کرمان، ایرانشهر و شاهرود روند متغیر هماهنگ با روند گرد و غبار است که با توجه به بالا بودن مقدار ضریب همبستگی بین این متغیر و گرد و غبار در دو ایستگاه کرمان و ایرانشهر می‌توان اذعان کرد، روند گرد و غبار در این ایستگاه‌ها توسط متغیر متوسط سرعت باد کنترل می‌شود اما نمی‌توان از تأثیر سایر عوامل جانبی مانند عوامل انسانی چشم‌پوشی کرد. همچنین، در ایستگاه ایرانشهر متغیر حداکثر سرعت باد نیز مانند سرعت متوسط باد دارای تأثیر فراوانی است، اما در ایستگاه دیگر به دلیل نبود همبستگی معنی‌دار نمی‌توان متغیر متوسط سرعت باد را عاملی تأثیرگذار بر گرد و غبار به حساب آورد. همچنین در ایستگاه‌های شیراز، زاهدان و تربت حیدریه روند متغیر مخالف با روند گرد و غبار است و به دلیل همبستگی بالا در بسیاری از این ایستگاه‌ها می‌توان بیان کرد که عوامل دیگری مانند اثرات محلی در آن ایستگاه‌ها تأثیر گذاشته است، برای نمونه در ایستگاه شیراز با وجود همبستگی معنی‌دار زیاد و افزایشی و همچنین روند کاهش‌ی این متغیر انتظار می‌رود که روند گرد و غبار نیز کاهش‌ی باشد اما با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود که روند گرد و غبار افزایشی است. فقط در ایستگاه‌های ایرانشهر و شاهرود همسویی روند متغیر متوسط سرعت باد با روند ضریب همبستگی و روند گرد و غبار به چشم می‌خورد.

حداکثر سرعت باد

در مورد این متغیر هم مانند متغیرهای حداکثر دمای سالانه و متوسط سرعت باد، به دلیل بالا بودن ضریب همبستگی سالانه (به صورت مثبت)، می‌توان گفت که این متغیر هم از جمله پارامترهای اقلیمی مؤثر بر گرد و غبار است. در کل منطقه

شمال منطقه مورد مطالعه نیز بیشترین همبستگی معنی دار را نشان می دهند. همچنین، از آنجایی که بارندگی روند معنی داری در منطقه نشان نداد نمی تواند باعث ایجاد روند در گرد و غبار شود بلکه ممکن با تأثیر بر عوامل دیگر مانند عوامل سطحی زمین مانند رطوبت خاک به طور غیر مستقیم بر گرد و غبار تأثیر بگذارد. در هیچ یک از ایستگاه ها نیز همسویی روند متغیر بارندگی با روند ضریب همبستگی و روند گرد و غبار به چشم نمی خورد.

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر متغیرهای اقلیمی بر فراوانی وقوع طوفان های گرد و غبار بررسی شد و روند این تأثیر در چند دهه اخیر مورد مطالعه قرار گرفت. از نتایج این پژوهش می توان مشاهده کرد که در اغلب ایستگاه ها مجموعه ای از متغیرهای اقلیمی بر فراوانی گرد و غبار اثر دارند اما در روند افزایشی یا کاهش گرد و غبار برخی از متغیرها بیشتر مؤثر هستند. دو متغیر حداکثر دمای ماهانه و متوسط سرعت باد بیشترین تأثیرگذاری را بر فراوانی گرد و غبار در منطقه خشک و نیمه خشک ایران مرکزی دارند. این امر می تواند ناشی از تأثیر اختلاف دما در بوجود آمدن باد و همچنین افزایش خشکی سطح زمین باشد. گرچه ضریب همبستگی نشان می دهد اثر تغییرات اقلیمی بر فراوانی گرد و غبار قطعی است اما این تأثیرات دارای نوسانات زیاد در طول دوره آماری و در ایستگاه های مختلف است. این همبستگی در مناطق مختلف متفاوت است و متأثر از شرایط محلی نیز قرار می گیرد. به همین دلیل است که روند فراوانی گرد و غبار با روند تغییرات و متغیرهای اقلیمی در

همه مناطق همخوانی ندارد یا از نظر آماری معنی دار نیست. با این حال در این مطالعه و در برخی ایستگاه ها روند افزایشی توأم با معنی داری در تغییرات همبستگی بین طوفان های گرد و غبار و برخی متغیرهای اقلیمی دیده شد. بنابراین، می توان انتظار داشت در صورت عدم توجه به مشکل بیابان زایی و عدم کاهش فشار بیش از حد بر منابع طبیعی، در سال های آینده شاهد تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش وقوع طوفان های گرد و غبار باشیم.

با توجه به اینکه در این مقاله فقط تأثیر عوامل اقلیمی بر گرد و غبار بررسی شده است لازم است، عوامل دیگری مانند عوامل انسانی و عوامل سطحی زمین هم در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرند. در ضمن، از آنجایی که تمامی متغیرهای اقلیمی در این مقاله به صورت سالانه محاسبه شده اند و گرد و غبار نیز یک رویداد لحظه ای است و شرایط متغیرها در لحظه اتفاق گرد و غبار بیشترین تأثیر را دارد بهتر است از مقیاس کوچک تر مانند ماهانه یا فصلی برای بررسی تأثیر متغیرها استفاده شود. نکته قابل ذکر دیگر این است که منشأ طوفان گرد و غبار که در یک محل / ایستگاه مشاهده می شود می تواند از محلی دورتر باشد که تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی آن ایستگاه / محل نیست. به همین دلیل ممکن است نوسانات اقلیمی یک ایستگاه همبستگی بالایی با متغیرهای اقلیمی همان محل نداشته باشد. بنابراین، لازم است در مطالعات آینده این نکته مد نظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, R., H. Fathi, J. Norinejad and A. A. Jafarzadeh. 2013. Role of climatic factors (dust, rainfall and temperature) on oak dieback in Ilam province. *In: 2nd International Conference on Dust storms, Ilam, I.R. Iran.*
- Ansari Renani, M. 2010. Statistical and synoptic analysis of dust storm in Zahedan (1980-2005). *In: First International Congress of Dust Storm and Combating its Harmful Impacts. Ahvaz, I.R. Iran.*

3. Chun, Y., K. O. Boo, J. Kim, S. U. Park and M. Lee. 2001. Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea. *Journal of Geophysical Research* 106: 18461-18469.
4. Csavina, J., J. Field, O. Félix, A. Y. Corral-Avitia, A. Eduardo Sáez and E. A. Betterton. 2014. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment* 487: 82-90.
5. Ebrahimi Khusfi, Z., F. Roustaei, M. Ebrahimi Khusfi and S. Naghavi. 2019. Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management* 34(3): 1-25
6. Fengjin, X., Z. Caiping and L. Yaoming. 2008. Dust storms evolution in Taklimakan Desert and its correlation with climatic parameters. *Journal of Geographical Sciences* 18: 514-425.
7. Fengmei, Y. and E. Chongy. 2010. Correlation analysis between sand-dust events and meteorological factors in shapotou, Northern China. *Journal of Environmental Earth Sciences* 20(3):49-52.
8. Gao, T., Y. Xu, H. Li, X. Yu and S. Xiao. 2004. The Dust Storm: Historical evolution of Inner Mongolia and the impacts of the climate change. Available online at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.516.4322&rep=rep1&type=pdf>
9. Guan, Q., J. Yang, S. Zhao, B. Pan, C. Liu, D. Zhang and T. Wu. 2015. Climatological analysis of dust storms in the area surrounding the Tengger Desert during 1960-2007. *Climate dynamics* 45: 903-913.
10. Guan, Q., X. Sun, J. Yang, B. Pan, S. Zhao and L. Wang. 2017. Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. *Journal of Climate* 30: 6683-6700.
11. Jaffe, D., J. Snow and O. Cooper. 2003. The 2001 Asian dust events: transport and impact on surface aerosol concentrations in the US. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union* 84(46):501-507.
12. Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Measures. Charle Griffin, London, UK. Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245-259.
13. Keyantash, J. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of American Meteorological Society* 83(8): 1167-1180.
14. Middleton, N. 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: climatic drivers and human impacts. *Geosciences* 9: 261-273.
15. Mingyuan, D. U, S. Yonemura, H. Den, Z. Shen and Y. Shen. 2009. Relationship between the climate change and dust storm occurrence in China. *Journal of Arid Land Studies* 19(1): 149-152.
16. Modarres, R. and S. Sadeghi. 2017. Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards* 90: 101-114.
17. Montgomery, D. C. and G. C. Runger. 2018. Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley publications, New York, USA
18. Movahedi, S., K. Hatami Bahman-Beygloo and M. Narangifard. 2014. Spatial and temporal analysis of climatic phenomenon in relation to dust storms in Iranian Cities. *Journal of Geography and Environmental Studies* 3(11): 37- 47.
19. Sen, Z. 2017. Innovative Trend Methodologies in Science and Engineering. Springer, Cham, Switzerland
20. Shao, Y., K. H. Wyrwoll, A. Chappell, J. Huang, Z. Lin and G. H. Mctainsh. 2011. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* 2(4): 181-204.
21. Yoshino, M. 2002. Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Journal of Science China Dearth* 45(S): 59-70.
22. Zehabian, G. R., H. Azarnivand, M. Jafari, K. Nazeri and H. Esmaeelzaede. 2006. The effect of Haloxylon Aphyllum and Calligonum comosum stabilization and rehabilitation of sand dune (case study: Reza-Abad, Semnan Province, Iran). *Journal Desert Research* 11(1):167-175.

Dust Storm Frequency in Connection with Climatic Change in the Arid Region of Iran

M. Motavallizadeh Naeini¹ and R. Modarres^{2*}

(Received: October 27-2020; Accepted: May 6-2021)

Abstract

Dust storms in arid and semi-arid regions have harmful impacts on the environment, the economy, and the health of local and global communities. In this study, the frequency of annual dust events in twenty-five stations and five climatic variables including rainfall, maximum annual wind speed, average annual wind speed, maximum annual temperature, and average annual temperature in arid regions of Iran up to 2014 were used to show the effects of climatic change on dust storms. Annual correlation coefficient time series between climatic variables and dust storms were first calculated based on monthly observations. Then, the trend in climatic variables, dust storm frequency, and their correlation were assessed using the Mann-Kendal method. Results indicated that the correlation coefficients had fluctuations in time and are both significant and insignificant in different years that reach from 0.6 to 0.9 for wind speed and temperature and -0.2 to -0.6 for precipitation. This trend in correlation has the same direction with climatic variables and shows co-movement between climatic change and dust storm fluctuations in central Iran. Results also showed that wind speed and temperature have a high impact on dust storm fluctuations and rainfall reduction has an increasing effect on dust storms.

Keywords: Climatic change, Dust storm trend, Wind speed, Drought, Iran

1- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- Department of Natural Resources and Center of Excellence on Risk Management and Natural Hazards, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: Reza.modarres@iut.ac.ir