

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و سوم، بهار ۱۴۰۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

صص ۴۰-۱۹

### تحلیل روند تغییرات شاخص گردوغبار (DSI) و ارزیابی ارتباط آن با خشک‌سالی در دامنه‌ی جنوبی البرز

مجتبی جنت‌رستمی، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی-دانشگاه سمنان

محمد رحیمی\*، دانشیار دانشکده‌ی کویرشناسی-دانشگاه سمنان

سیدحسن کابلی، استادیار دانشکده‌ی کویرشناسی-دانشگاه سمنان

#### چکیده

یکی از عوامل مؤثر بر روند تغییرات پدیده‌ی گردوغبار، نوسانات پارامترهای اقلیمی و به تبع آن، خشک‌سالی است. تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) و رابطه‌ی آن با شاخص‌های خشک‌سالی بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در دامنه‌ی جنوبی البرز صورت گرفت. پس از اخذ کدهای هواشناسی، شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) فصلی-سالانه، ده‌ساله محاسبه و پهنه‌بندی گردید. سپس SPI و SPEI ماهانه‌ی ایستگاه‌های با دوره‌ی آماری سی‌ساله، محاسبه و استانداردسازی شد. روند تغییرات زمانی DSI را با استفاده از روش‌های آماری کندال و پیت بررسی کردیم و در نهایت همبستگی آن با شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی به روش پیرسون انجام گردید. نتایج نشان داد که از غرب به شرق، بر شدت گردوغبار افزوده شده و در فصل بهار با حداکثر شدت قابل مشاهده است. تغییرات سالانه‌ی DSI (۲۰۰۸-۲۰۱۷) شکل نامنظمی از خود نشان داده و دارای روند نیست؛ به طوری که در سال ۲۰۰۸ شدت گردوغبار بالا بوده و در سال بعد کاهش محسوسی داشته و مشابه آن در ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ مشاهده گردید. همچنین روند تغییرات زمانی DSI نشان داد که ایستگاه‌های غربی و مرکزی دارای روند معنی‌دار بوده و هرچه به سمت شرق می‌رویم، تغییرات زمانی نامنظم‌تر و فاقد روند معنی‌دار است. از طرفی همبستگی معنی‌داری بین شاخص DSI و SPI وجود نداشته و بین شاخص‌های DSI و SPEI به جز قسمت غربی منطقه، یک رابطه‌ی منفی وجود داشته است که در برخی از ایستگاه‌ها با شدت بالا به صورت ارتباط معنی‌دار بوده و با استانداردسازی، این ارتباط نیز مشهودتر می‌گردد. به طور کلی، لحاظ نمودن بارندگی به همراه درجه حرارت و تبخیر-عرق، همبستگی بهتری با شاخص گردوغبار نشان داده که نتایج این تحقیق می‌تواند در بحث پایش و برنامه‌های بیابان‌زدایی و جلوگیری از گسترش بیابان و نیز آمادگی در برابر طوفان‌های گردوغبار مفید واقع شود.

**واژگان کلیدی:** روند، گردوغبار، همبستگی، خشک‌سالی، البرز.

\* Email: mrahimi@semnan.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری نویسنده‌ی اول با عنوان "ارزیابی نقش عوامل اقلیمی و پوشش گیاهی در پراکندگی زمانی و مکانی پدیده‌ی گردوغبار (در دامنه‌ی جنوبی البرز)" است که با راهنمایی نویسنده‌ی دوم و سوم در دانشکده‌ی کویرشناسی دانشگاه سمنان در حال انجام است.

## ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی به وجود آمده در منطقه‌ی خاورمیانه و ایران در سال‌های اخیر، پدیده‌ی گردوغبار<sup>۱</sup> است (شمسی‌پور، ۱۳۹۱: ۱۲۶-۱۱۱). گردوغبار پدیده‌ای است که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیز در نتیجه‌ی سرعت زیاد باد و تلاطم آن بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد فرسایش به وجود می‌آید و باعث کاهش میزان دید به کم‌تر از یک کیلومتر می‌شود (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۸-۵۲).

شرایط جوی و خصوصیات فیزیکی سطح زمین تأثیر مهمی بر تغییرات مکانی و وقوع گردوغبار دارد (Khusfi et al, 2020: 114-225). از آنجاکه پدیده‌ی گردوغبار متأثر از شرایط جوی خاص است (Shao et al, 2011: 181-204)، شناخت و بررسی روند پدیده‌های اقلیمی در طول یک دوره می‌تواند یکی از راهکارهای کاهش خسارت ناشی از مخاطرات طبیعی باشد (عراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۳۰۱-۲۲۸۹). تغییر در ویژگی‌های عناصر اقلیمی سبب ایجاد بارش یا سامانه‌های گردوغبار خواهد گردید (روستایی، ۱۳۹۵: ۱۳۲). ذرات معلق در هوا در بسیاری از فرآیندهای جوی نقش دارند و تأثیر آب و هوایی مهمی در تشکیل ابرها، باران‌ها، انتقال گرمای تابش و دید دارند (Filonchik et al, 2019: 119-133).

پارامترهای اقلیمی از قبیل دما و بارش، نقش کلیدی در تعیین ارتباط و روند گردوغبار با خشک‌سالی دارند؛ به طوری که با کاهش رطوبت و افزایش دما، تبخیر و تعرق افزایش یافته و موجب کاهش پوشش گیاهی و چسبندگی ذرات خاک و افزایش خشکی خواهد شد و در نتیجه با وزش باد به حالت تعلیق درمی‌آیند؛ بنابراین وقوع خشک‌سالی که در اثر تغییرات اقلیم و بیابان‌زایی رخ می‌دهد، در شدت گرفتن این پدیده تأثیر بسزایی خواهد داشت (Taherzadeh, 2013). علاوه بر پارامترهای اقلیمی ذکر شده، باد پارامتر مهم دیگر در تعیین ارتباط و روند وقوع گردوغبار است؛ به گونه‌ای که وزش باد در افزایش یا کاهش بارندگی و تبخیر و تعرق (روستایی، ۱۳۹۵: ۱۳۲) با جابه‌جایی توده‌های هوایی مؤثر خواهد بود؛ بنابراین شناخت ویژگی‌های آن از نظر فراوانی، مکان و زمان رخداد دارای اهمیت است. نتایج تان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در چین، آیشاجیانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در حاشیه‌ی شمال شرقی بیابان تاکیماکان چین، آمگالان<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در مغولستان، آلبوگامی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در منطقه‌ی عربستان بر اهمیت فاکتور مؤلفه‌ی باد بر روند و وقوع گردوغبار صحنه گذاشته و همبستگی معنی‌داری بین رخداد‌های گردوغبار و باد به همراه بارندگی و دما از خود نشان دادند. همچنین در این راستا بابائیان و همکاران (۱۳۸۹) در مرکز ایران، اسدی (۱۳۹۳) در منطقه‌ی کردستان، قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) در خرم‌آباد، بروغنی و همکاران (۱۳۹۸) در خراسان، یانگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در شمال چین، مانسن<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در جنوب غربی آمریکا و باقری و کشت کار (۲۰۱۹) در سیستان و بلوچستان به نتایج مشابهی دست یافتند؛ به طوری که ارتباط معنی‌داری بین شدت وقوع گردوغبار و دما، بارندگی، خشکی و خشک‌سالی مشاهده گردید.

تاکنون مطالعات زیادی با روش‌های مختلف مرتبط با پدیده‌ی گردوغبار انجام گرفته است. به عنوان نمونه، علی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی با تحلیل سینوپتیکی وقایع گردوغبار و ارتباط آن با خشک‌سالی در استان‌های قزوین و البرز با استفاده از روش SPI، برای مقیاس‌های سالانه و ماهانه در بازه‌های زمانی ۳، ۹، ۱۸ ماهه صورت گرفت. نتایج خشک‌سالی نشان داد که در ایستگاه کرج سال ۲۰۱۳ خشک‌سالی شدید و در ایستگاه قزوین سال ۲۰۰۸ خشک‌سالی

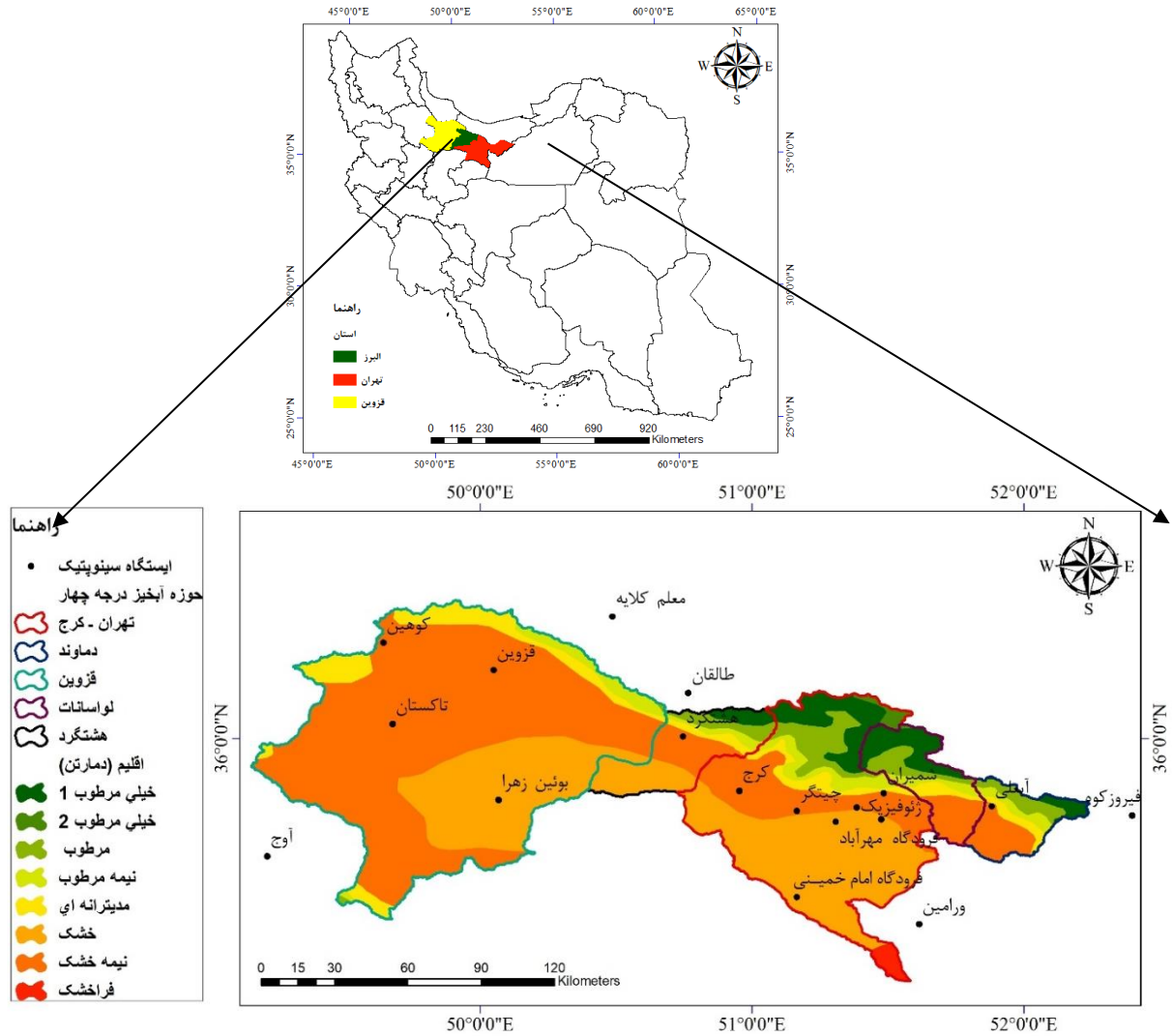
- 
- 1- Dust Storm Index (DSI)
  - 2- Tan
  - 3- Aishajiang
  - 4- Amgalan
  - 5- Albugami
  - 6- Yang
  - 7- Munson

بسیار شدید رخ داده است. همچنین با بررسی ارتباط میان خشک‌سالی و فراوانی روزهای همراه با گردوغبار نیز مشخص شد که در ایستگاه کرج همبستگی معنی‌داری میان این دو پدیده در مقیاس سالانه و ماهانه وجود ندارد، اما در ایستگاه قزوین میان روزهای همراه با گردوغبار و مقادیر SPI در بازه‌ی ۱۸ ماهه، همبستگی ضعیفی در سطح ۱۰٪ وجود دارد، اما سایر مقیاس‌های زمانی ارتباط معنی‌داری نداشتند. نتایج حاصل از تحلیل سیستم‌های سینوپتیک و بررسی روند تغییرات گردوغبار در اردستان نشان داد که وقوع گردوغبار با خشک‌سالی ارتباطی مستقیم وجود دارد و در سال‌هایی که شدت خشک‌سالی زیاد بوده، بر تعداد وقوع گردوغبار نیز افزوده شده است. همچنین در روش من-کندال از مجموع ۱۳ سری داده، سری داده‌های سالانه و در روش سن استیمیتوری سری داده‌ی ماه اوت دارای روند افزایشی در سطح معنی‌داری ۱٪ بودند (زهتابیان و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۹۲-۲۸۱). در تحقیقی دیگر، تغییرات حوادث گردوغبار در ماه‌های مورد مطالعه، فصول و سال‌های (۲۰۰۰-۱۹۹۳) برای ایستگاه سینوپتیک اردستان و رابطه‌ی آن‌ها با شاخص خشک‌سالی استاندارد بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این، روش‌های غیر پارامتری در آمار، از جمله من-کندال و سن-استیماتور، برای شناسایی روند تغییرات در فرکانس روزها با طوفان گردوغبار در مقیاس‌های ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تعداد گردوغبار در مقایسه با ماه‌ها و فصل‌ها، بیش‌ترین تعداد گردوغبار و بهار را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که بین رویداد غبار و خشک‌سالی در روش من-کندال رابطه‌ی مستقیمی از مجموع ۱۳ سری داده، سری داده‌های سالانه وجود دارد و سال‌های با خشک‌سالی شدید منجر به وقوع بیش‌تر شده است (Dastorani & Jafari, 2019: 45-54). اختصاصی و همکاران (۱۳۸۹) ارتباط بین روند خشک‌سالی و وقوع گردوغبار را با استفاده از روش مقایسه‌ای بین دو شاخص خشک‌سالی و شاخص تعداد روزهای طوفانی در لارستان بررسی کردند که نتایج نشان داد با وجود خشک‌سالی، گردوغبار روند تقریباً ثابتی داشته که نشان‌دهنده‌ی توقف فعالیت‌های مخرب انسانی در محدوده‌ی شهرستان لارستان است. گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی و در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر با افزایش طوفان گردوغبار، شناسایی، پایش و پیش‌بینی روند آن‌ها امری ضروری شده است. شناخت طوفان‌های گردوغبار و تحلیل آماری آن‌ها در دوره‌های وقوع طوفان‌های گردوغبار و بررسی ارتباط این پدیده با تغییرات پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی ضمن کمک به شناخت عوامل تأثیرگذار بر طوفان‌های گردوغبار امکان پیش‌بینی این طوفان‌ها را نیز فراهم می‌کند. اهمیت این طوفان‌ها به حدی است که هر ساله باعث خسارات بیولوژیکی، فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی در بخش‌های مختلف کشور می‌شوند و مشکلات بسیاری را برای مردم به وجود آورده است؛ بنابراین بررسی طوفان‌های گردوغبار کمک قابل‌توجهی در شناسایی انواع روابط همبستگی بین پارامترهای تأثیرگذار با گردوغبار را خواهد نمود. برخلاف مطالعات انجام‌شده که بیش‌تر عامل بارندگی (شاخص خشک‌سالی SPI) را مورد بررسی قرار دادند، در این تحقیق، علاوه بر بررسی روند تغییرات شاخص گردوغبار، همبستگی آن با پارامترهای دما و تبخیر- تعرق (شاخص خشک‌سالی SPEI) مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

بدین منظور برخی از دشت‌های جنوبی البرز؛ دماوند، هشتگرد، لواسانات، قزوین و تهران-کرج که در استان‌های تهران، البرز و قزوین واقع شده‌اند، به‌عنوان سایت‌های مطالعاتی در این تحقیق انتخاب شدند. استان قزوین در حوضه‌ی مرکزی ایران بین  $48^{\circ}45'$  تا  $50^{\circ}51'$  طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و  $35^{\circ}24'$  تا  $36^{\circ}48'$  عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد، استان تهران بین  $35^{\circ}14'$  تا  $36^{\circ}17'$  عرض شمالی و  $50^{\circ}14'$  تا  $53^{\circ}6'$  طول شرقی قرار گرفته است و استان البرز در محدوده‌ی  $53^{\circ}50'$  تا  $50^{\circ}02'$  عرض شمالی و  $32^{\circ}02'$  تا  $30^{\circ}08'$  طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه که از نظر اقلیمی بر اساس طبقه‌بندی دومارتن جزو اقلیم خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود که به تفکیک هر استان در ادامه شرح داده شده است. بیش‌ترین پهنه‌ی اقلیمی استان قزوین در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. خشک‌ترین منطقه‌ی استان، منطقه‌ی بویین‌زهر و مناطق پیرامون آن در شرق و جنوب

بوده که دارای اقلیم خشک سرد می‌باشند؛ این در حالی است که در مناطق ارتفاعی آوج اقلیم‌های مرطوب فراسرد و نیمه‌مرطوب فراسرد غالب است. همچنین استان البرز از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی شروع و تا اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب در قسمت‌های شمالی ادامه پیدا می‌کند. هوای تهران در مناطق کوهستانی دارای آب‌وهوای معتدل و در دشت، نیمه‌بیابانی است. تهران در مرز شرایط جوی بری و اقیانوسی قرار گرفته و تمایل آن به موقعیت بری بیش‌تر از وضعیت اقیانوسی است (شکل ۱) (<http://www.irimo.ir/far/services/climate>).

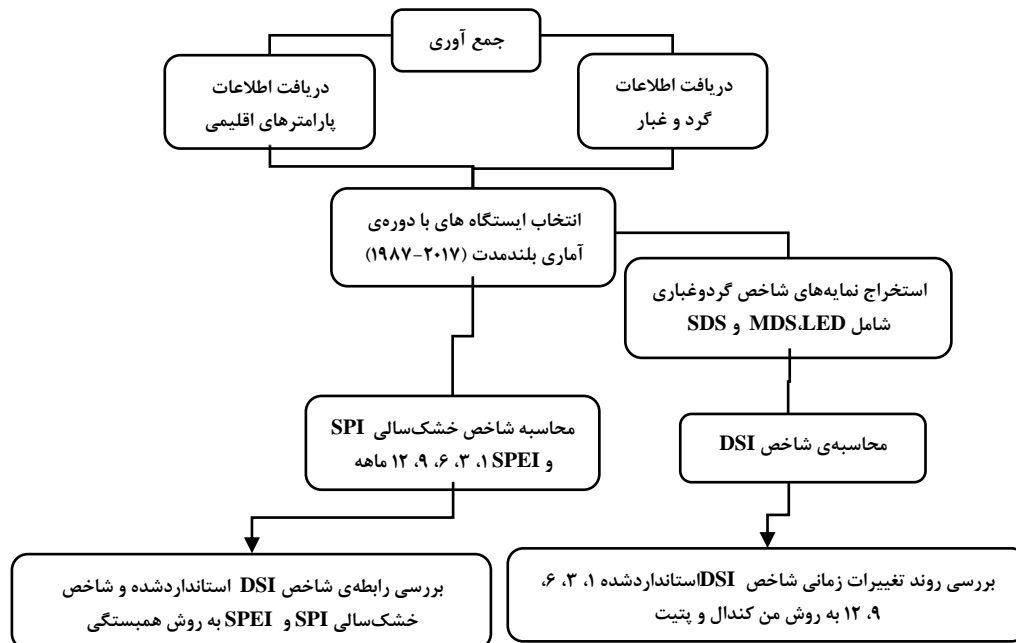


شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه‌ی مورد مطالعه (بر اساس حوزه‌های آبخیز درجه چهار)

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- روش تحقیق

مراحل کلی انجام تحقیق در شکل (۲) ارائه گردیده است.



شکل ۲: روش تحقیق حاضر به صورت خلاصه

در این تحقیق ابتدا داده‌های هواشناسی شامل بارندگی و درجه حرارت به همراه کدهای هواشناسی گردوغبار به صورت ساعتی در ۲۰ ایستگاه سینوپتیک دامنه‌ی جنوبی البرز از سازمان هواشناسی کشور اخذ و پس از نرمال‌سازی داده‌ها، بارندگی ساعتی به روزانه تبدیل و با کمک نرم‌افزار  $DIP^8$  شاخص خشک‌سالی (SPI)<sup>9</sup> و در نرم‌افزار متلب شاخص خشک‌سالی (SPEI)<sup>10</sup> محاسبه و از کدهای هواشناسی ساعتی گردوغبار، نمایه‌های شاخص گردوغباری شامل LED<sup>11</sup>، MDS<sup>12</sup> و SDS<sup>13</sup> جهت به دست آوردن شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI)<sup>14</sup> به شرح زیر در نرم‌افزار Excel مورد محاسبه قرار گرفت. در ابتدا به علت نواقص دوره‌ی آماری، ده سال آماری مشترک (۲۰۰۸-۲۰۱۷) بین ۲۰ ایستگاه انتخاب و در این ایستگاه‌ها DSI فصلی و سالیانه محاسبه و تغییرات ده‌ساله‌ی DSI به روش IDW<sup>15</sup> در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی گردید. سپس از بین ۲۰ ایستگاه، ۵ ایستگاه با دوره‌ی آماری سی‌ساله انتخاب و شاخص گردوغبار DSI به صورت ماهانه محاسبه گردید و جهت اخذ نتایج منطقی با توجه به نوع کدهای گردوغباری (گردوغبارهای موجود در منطقه) در نرم‌افزار DIP به صورت ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ ماهه استانداردسازی و روند تغییرات آن با استفاده از روش‌های نا پارامتریک من-کندال و پتیت در نرم‌افزار XLSTAT بررسی شد و در نهایت، رابطه‌ی بین شاخص گردوغبار و خشک‌سالی با استفاده از همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

- 8- Drought Indices Package
- 9- Standardized Precipitation index
- 10- Standardized Precipitation Evapotranspiration index
- 11- Local Dust Event
- 12- Moderate Dust
- 13- Sever Dust Storm
- 14- DUST Storm Index
- 15- Inverse Distance Weight

## ۳-۲- شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI)

شاخص DSI شاخص مناسبی جهت مطالعه فراوانی و شدت فرسایش بادی توسط داده‌های هواشناسی است (Vali 2012: 205-212; Wang et al, 2016: 189-200; Roustaei, 2018: 189-200) که ترکیبی از روزهای با گردوغبار شدید، متوسط و محلی است و بر اساس توان تولید رسوب وزن داده می‌شود. شاخص DSI شاخصی بدون بعد است و بدون محدودیت مکانی و زمانی قابل استفاده است (O'Loingsigh et al, 2014: 29-40). مشاهدات هواشناسی بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در ۱۰۰ کد تعریف شده است که پدیده‌ی گردوغبار بسته به شدت و ماهیت خود، ۱۱ کد را به خود نیز اختصاص می‌دهد. در گام اول ۱۰ کد مربوط به گردوغبار مورد استفاده در شاخص تجربی طوفان گردوغبار از سایر پدیده‌های اقلیمی مختلف سینوپتیکی جدا گردید (جدول ۱).

رابطه‌ی شاخص تجربی گردوغبار (DSI) برای اولین بار توسط مک تاینش<sup>۱۶</sup> و همکاران (۱۹۹۳) طراحی گردید (رابطه‌ی ۱). این شاخص ترکیبی از سه نمایه‌ی روزهای طوفانی گردوغبار محلی (LDE)، روزهای طوفانی گردوغبار متوسط (MD) و روزهای طوفانی با گردوغبار شدید (SDS) مشخص شده که بر اساس میدان دید افقی محاسبه می‌شوند.

$$DSI = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LED)]i \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه DSI: شاخص گردوغبار در n ایستگاه در حالی که است i برابر است با i امین ایستگاه از n ایستگاه مطالعاتی، SDS: روزهای طوفانی با گردوغبار شدید؛ یعنی مجموع کدهای گردوغباری حداکثر روزانه (کدهای ۳۳، ۳۴ و ۳۵) است. MD: روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط؛ یعنی مجموع مشاهدات کدهای گردوغبار حداکثر روزانه (کدهای ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۹ و ۹۸) و LED: روزهای با گردوغبار محلی؛ یعنی مجموع مشاهدات کدهای گردوغباری حداکثر روزانه (کدهای ۷ و ۸) است.

جدول ۱: کدهای گردوغبار مورد استفاده در شاخص گردوغبار DSI توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO<sup>۱۷</sup>

کد	نام علمی	شرح کد
۰۶	گردوغبار معلق	گردوغبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است
۰۷	گردوخاک	گرد و ماسه گردوغبار یا بادی است که در محل ایستگاه بلند شده است
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف
۰۹	طوفان	گردوخاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود و یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است
۳۰	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر
۳۱	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده با دید افقی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر
۳۲	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر
۳۳	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰ متر
۳۴	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	طوفان گردوغبار پایدار شدید همراه با کاهش دید کم‌تر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	شروع یا افزایش طوفان گردوغبار شدید همراه با کاهش دید کم‌تر از ۲۰۰ متر
۹۸	طوفان گردوغبار یا ماسه خیلی شدید یا تندر	رعدوبرق با گردوغبار و یا طوفان شن و ماسه

منبع: (علی جانی، ۱۳۹۲)

16- McTainsh

17- World Meteorological Organization

## ۳-۳- محاسبه‌ی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی

۳-۳-۱- شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>۱۸</sup>

شاخص SPEI، یک شاخص مناسب برای پایش و ارزیابی شدت خشک‌سالی‌ها در شرایط روند افزایش دمای کره‌ی زمین است (Vicente-Serrano et al, 2010: 1696-1718; Wang et al, 2014: 10-21). این شاخص همراه با شاخص SPI در NASA و NDMC در آمریکا و (EDC) در اروپا برای هشدار اولیه‌ی خشک‌سالی استفاده می‌شود (Frank et al, 2017: 268-280). برای محاسبه‌ی این شاخص از داده‌های بارش و دمای ۵ ایستگاه هواشناسی در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ به صورت ماهانه استفاده شد. شاخص SPEI با استفاده از دو پارامتر بارش و تبخیر تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص SPEI به روش برآورد تبخیر تعرق ارتباطی ندارند. در این مطالعه برای برآورد تبخیر تعرق پتانسیل از معادله‌ی تورنت وایت<sup>۱۹</sup> (۱۹۴۸) استفاده شد.

$$PET = 16N_m \left( \frac{10T_m}{I} \right)^a \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این معادله  $N_m$ : ضریب تصحیحی است که بر مبنای ماه موردنظر و عرض جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین می‌شود.  $T_m$ : میانگین دمای ماه موردنظر برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد،  $I$ : شاخص حرارتی که برای کل سال محاسبه می‌شود و  $a$  که بر مبنای  $I$  محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از رابطه‌ی (۳) کمبود یا مازاد آب ماهانه و در گام بعدی  $X_{i,j}^k$  از رابطه‌ی (۴) محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این معادلات  $i$ : سال موردنظر،  $j$ : ماه موردنظر و  $k$ : مقیاس زمانی است. در این تحقیق شاخص SPEI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه محاسبه شد ( $k=12$ ).

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,j} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,j} & \text{if } j \geq k \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

ویسنته سرانو<sup>۲۰</sup> و همکاران (۲۰۱۰) توزیع‌های سازگار با سری مشاهدات  $D$  با موردبررسی و آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع سه پارامتری لگ-لجیستیک، مناسب‌ترین توزیع سازگار و انتخاب مناسبی برای استاندارد کردن سری مشاهدات  $D$  برای تعیین شاخص SPEI است. تابع چگالی احتمال توزیع سه پارامتری لگ لجستیک به صورت رابطه‌ی (۵) است.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right) \right]^{-2} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در رابطه‌ی (۵)  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاسی، شکلی و مرزی برای مقادیر  $D$  در بازه‌ی  $0 < \gamma < D < \infty$  هستند. این پارامترها را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف از روی مشاهدات برآورد نمود. از میان آن‌ها روش گشتاورها مطمئن‌تر و ساده‌ترین روش است (Ahmad et al, 1988: 205-244). وقتی گشتاورها محاسبه شدند، پارامترهای توزیع لگ-لجیستیک با استفاده از روابط پیشنهادی سینگه<sup>۲۱</sup> و همکاران (۱۹۹۳) تخمین زده می‌شود. رابطه‌ی (۶) تابع توزیع احتمالی سری  $D$  با توجه به توزیع log-logistic را نشان می‌دهد.

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-1} \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

در نهایت بر مبنای تابع  $F(x)$ ، SPEI با استفاده از معادله‌ی (۷) محاسبه می‌شود.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

18- standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI)

19-Thornthwaite

20- Vicente-Serrano

21- Singh

در رابطه‌ی (۷)  $d_2=0.189269$ ,  $d_1=1.432788$ ,  $C_0=2.515517$ ,  $C_1=0.802853$ ,  $C_2=0.010328$  و  $d_3=0.001308$ . همچنین در این معادله  $W = \sqrt{-2 \ln P}$  اگر  $P=1-F(x) \leq 0.5$  اما اگر  $P > 0.5$  باشد  $P=1-P$  جایگزین و علامت SPEI قرینه می‌شود. تمامی محاسبات SPEI 12 ماهه در نرم‌افزار mat lab کدنویسی و برای ۲۰ ایستگاه هواشناسی انجام شد. لازم به ذکر است که شاخص SPEI دارای مقادیر مثبت و منفی است که هر چه این مقدار منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی خشک‌سالی با شدت بیش‌تر است.

### ۳-۳-۲- شاخص خشک‌سالی بارندگی استاندارد شده<sup>۲۲</sup>

در سال ۱۹۹۳ محققان دانشگاه ایالت کلرادو شاخص خشک‌سالی جدیدی به نام شاخص بارش استاندارد شده‌ی SPI را توسعه دادند تا وضعیت عملیاتی پایش منابع تأمین آب در ایالت کلرادو را بهبود بخشند (McKee et al, 1993: 179-183). شاخص بارش استاندارد شده‌ی SPI یک ابزار قوی در آنالیز داده‌های بارندگی است. هدف شاخص بارش استاندارد شده‌ی SPI، اختصاص ارزش عددی به بارندگی است تا از این طریق بتوان نواحی با آب‌وهوای کاملاً متفاوت را مقایسه کرد. مقادیر SPI مثبت نمایانگر بارش بیش‌تر از مقدار بارش متوسط و مقادیر SPI منفی بیانگر بارش کم‌تر از مقدار متوسط آن است (Edwards, 1997).

در صورتی که فرض کنیم بارش در یک منطقه از توزیع گاما تبعیت می‌کند و  $x$  مقادیر بارش باشد، تابع چگالی احتمال دو پارامتری گاما به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0 \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

$\alpha$ : پارامتر شکل،  $\beta$ : پارامتر مقیاس توزیع و  $\Gamma(\alpha)$ : تابع گاما است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  بهینه نیز از طریق روابط زیر حساب می‌شوند:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

در رابطه‌ی محاسبه‌ی  $A$ ، پارامتر  $n$ : تعداد مشاهدات بارش است.

برای محاسبه‌ی شاخص SPI ابتدا یک توزیع گاما با پارامترهای محاسبه شده به اطلاعات بارش هر ایستگاه برآزش داده می‌شود. پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  برای هر سری بارش باید به صورت جداگانه محاسبه گردد. در محاسبه‌ی شاخص SPI از توزیع احتمال تجمعی استفاده می‌شود که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad t = x/\hat{\beta} \quad \text{رابطه‌ی ۱۲}$$

از آنجاکه در رابطه‌ی فوق، مقدار لگاریتم صفر تعریف نشده است و توزیع بارش در تابستان ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، لذا در این شرایط احتمال تجمعی از رابطه‌ی (۱۳) قابل محاسبه است:

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \quad \text{رابطه‌ی ۱۳}$$

در این رابطه  $q$ : احتمال بارش ماهانه صفر است. برای محاسبه‌ی  $q$  می‌توان از رابطه‌ی کالیفرنیا (رابطه‌ی ۱۴) استفاده نمود.

$$q = \frac{m}{n} \quad \text{رابطه‌ی ۱۴}$$

در این رابطه  $m$ : تعداد داده‌های صفر موجود در سری زمانی و  $n$  نیز تعداد کل داده‌های بارندگی است.



گام بعدی در محاسبه‌ی SPI، انتقال احتمال تجمعی  $F_{-}(X)$  که از توزیع گامای تجمعی به دست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک است، در واقع SPI عبارت است از؛ متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از تابع توزیع گامای به دست آمده مساوی باشد. بهترین حالت انتقال یک متغیر از یک توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم احتمال است که در آن احتمال‌های کم‌تر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع برابر با هم فرض می‌شوند (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۹: ۲۳۰۱-۲۳۸۹). پس از محاسبه‌ی SPI ارزیابی خشک‌سالی بر اساس جدول (۲) قابل انجام است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک خشک‌سالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد شده‌ی منفی، تداوم داشته باشد و نیز وقوع یک خشک‌سالی زمانی شدید است که SPI کوچک‌تر مساوی -۱ باشد؛ در صورتی که SPI مثبت شود، رخداد خشک‌سالی به پایان خواهد رسید.

جدول ۲: ارزیابی وضعیت خشک‌سالی بر اساس مقادیر SPI (McKee et al, 1993: 179-183)

مقادیر SPI	طبقات خشک‌سالی
<۲	کاملاً مرطوب
۱/۵ تا ۲	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۵	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۱	مرطوب ملایم
۰ تا ۱	خشک‌سالی ملایم
-۱ تا -۱/۵	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	خشک‌سالی شدید
<-۲	خشک‌سالی بسیار شدید

پارامتر اقلیمی در رابطه با فراوانی وقوع گردوغبار در نظر گرفته شده است. از بین ۲۰ ایستگاه ۵ ایستگاه با دوره‌ی آماری سی‌ساله انتخاب و پس از نرمال‌سازی داده‌ها، بارندگی ساعتی به روزانه تبدیل و با کمک نرم‌افزار DIP شاخص خشک‌سالی (SPI) و در نرم‌افزار متلب شاخص خشک‌سالی (SPEI) به صورت ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲ ماهه استانداردسازی شد و پس از محاسبه‌ی SPI طبقه‌بندی کلاس‌های شدت خشک‌سالی بر مقادیر SPI صورت گرفت و نمودار مربوط به آن نیز رسم گردید. از آنجاکه وقوع گردوغبار به صورت رخداد است و در نتیجه انحراف معیار آن بیش از حد نرمال است، بررسی روند کدهای هواشناسی به صورت خام نمی‌تواند نتایج منطقی را ارائه دهد؛ از این رو احتمال تجمعی داده‌ها در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲ ماهه با استفاده از تابع توزیع گاما به دست آمد و سپس احتمال تجمعی به متغیر استاندارد تبدیل شد و در نهایت این مقادیر استاندارد به منظور بررسی روند مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳-۴- آزمون روند نا پارامتری من-کندال

آزمون من-کندال توسط من<sup>۳۳</sup> (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال<sup>۲۴</sup> (۱۹۷۵) تکامل یافت. این آزمون توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) به عنوان یک ابزار مؤثر برای ارزیابی روند سری‌های زمانی هواشناسی و هیدرولوژیکی توصیه می‌شود (Azizzadeh & Javan, 2017:72-55). این آزمون بر اساس معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad \text{رابطه‌ی ۱۵}$$

23- Mann

24- Kendall

در این رابطه مقادیر  $x_i$  و  $x_j$ : داده‌های متوالی است،  $n$ : طول سری زمانی است و تابع علامت نیز به ترتیب زیر قابل محاسبه است که:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (-x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۱۶}$$

میانگین  $E(S)$  و واریانس  $\text{Var}(S)$  آماره  $S$  به ترتیب زیر به دست می‌آید.

$$E(S) = 0 \quad \text{رابطه‌ی ۱۷}$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n tp(tp-1)(2tp+5)] \quad \text{رابطه‌ی ۱۸}$$

در این رابطه  $tp$ : تعداد دنباله‌ها برای  $p$  امین و مقدار  $p$ : تعداد مقادیر دنباله‌هاست. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره‌ی استانداردشده‌ی آزمون  $Z_M$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۱۹}$$

مقدار مثبت روند  $Z_M$ : افزایشی و مقدار منفی  $Z_M$ : روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمون روند افزایش را نشان می‌دهد. آستانه‌ی سطح معنی‌داری پنج و یک درصد به ترتیب  $|Z_M| > 1.96$  و  $|Z_M| > 2.58$  است و اگر  $Z_M$  بیش‌تر از این آستانه‌ها بود، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (Zhou et al, 2018: 675-689)

### ۳-۵- آزمون پتیت

آزمون پتیت<sup>۲۵</sup> آزمونی نا پارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به‌کاربرده می‌شود. آزمون پتیت آزمونی با پایه‌ی رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی‌دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره‌ی آزمون پتیت به شرح زیر است:

ابتدا سری زمانی  $U_{t,n}$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{رابطه‌ی ۲۰}$$

در رابطه‌ی فوق  $n$ : تعداد داده‌ها و  $t$ : شماره‌ی ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه‌ی تغییر و بعداز آن است (Zhang et al, 2009: 35-47). طول دوره‌ی آماری و  $n$  تعداد داده در سری آماری است. تابع (Sgn) نیز به صورت رابطه‌ی (۲۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (-x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۲۱}$$

مقدار  $k$  از رابطه‌ی زیر محاسبه شده و در رابطه جایگزین شده و آماره‌ی  $P$  به دست می‌آید:

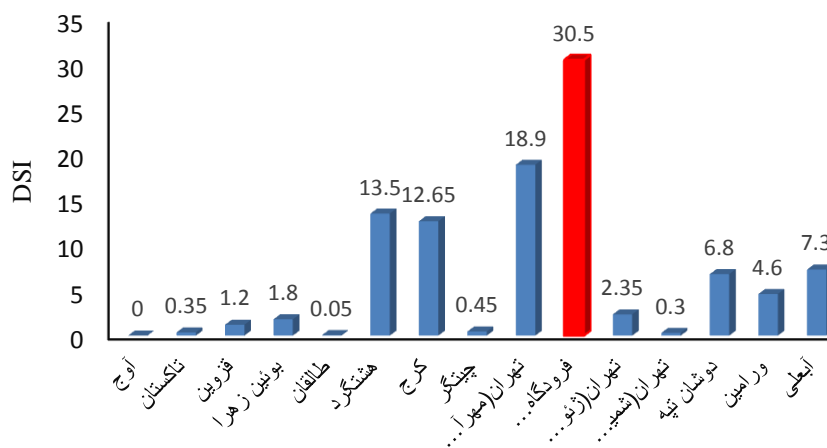
$$k = \max[U_{t,n}] \quad \text{رابطه‌ی ۲۲}$$

$$P = 2 \times e^{\frac{-6k^2}{n^3+n^2}} \quad \text{رابطه‌ی ۲۳}$$

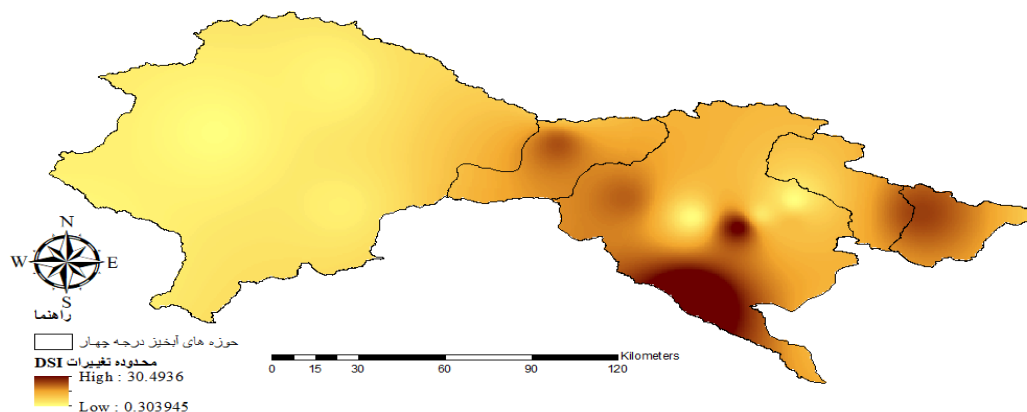
در این آزمون، فرض  $H_0$ : بیانگر همگنی داده‌ها و فرض  $H_1$  نشان‌دهنده‌ی سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه است؛ در صورتی که مقدار  $P$  محاسبه شده کوچک‌تر از  $\alpha$  یا مقدار سطح معنی داری  $0/05$  باشد، می‌توان این نقطه‌ی تغییر را در سری از نظر آماری معنی دار دانست. در واقع، مقدار محاسبه شده‌ی  $P$  مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض  $H_0$  است که اگر این خطا از پنج درصد کم‌تر باشد، می‌توان این تغییر را معنی دار دانست. در آزمون پتیت با توجه به وجود ناهمگنی می‌توان به سال شکست رسید.

#### ۴- نتایج و بحث

بر اساس شکل (۳) بیش‌ترین فراوانی شاخص  $DSI$  در طی ۱۰ سال مربوط به ایستگاه امام خمینی با مقدار  $30/5$  و کم‌ترین آن ایستگاه طالقان  $0/05$  است. برای مقایسه‌ی روند تغییرات مکانی-زمانی در ایستگاه‌های مختلف میزان شدت تغییرات شاخص  $DSI$  برای ایستگاه‌های مختلف محاسبه شده و سپس به وسیله‌ی نرم‌افزار ArcGIS در مقیاس فصلی و سالانه پهنه‌بندی شد که نتایج آن به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۷) آمده است. شکل (۴) نشان می‌دهد که در طی ده سال در بخش جنوبی حوضه‌ی تهران-کرج بیش‌ترین نرخ فرسایش بادی رخ داده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در قسمت‌های غربی منطقه‌ی مورد مطالعه طی این ده سال، نرخ فرسایش بادی به مراتب بیش‌تر از سایر نقاط بوده است. نقشه‌های حاصل به وضوح تغییرات کاهش و افزایشی ۱۰ ساله را نشان می‌دهد.



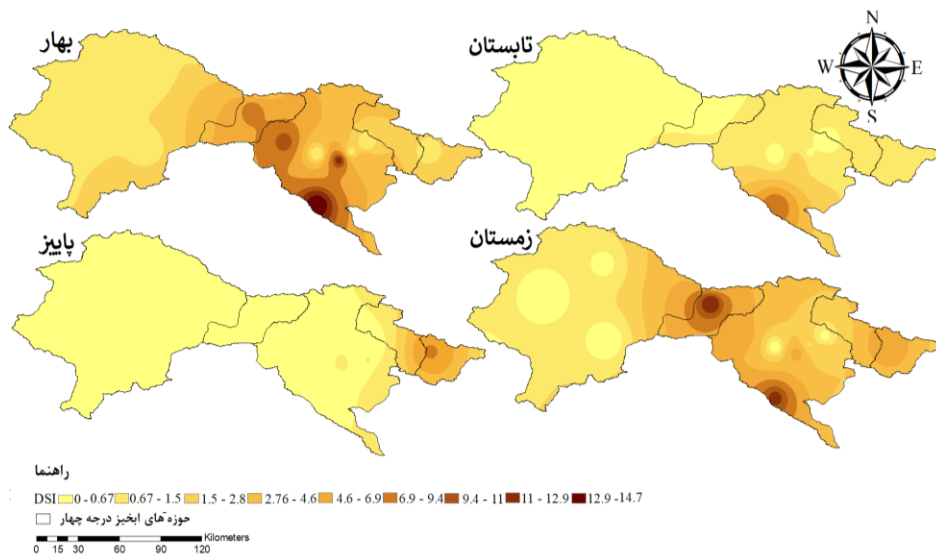
شکل ۳: میانگین سالانه  $DSI$  برای ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۰۸-۲۰۱۷)



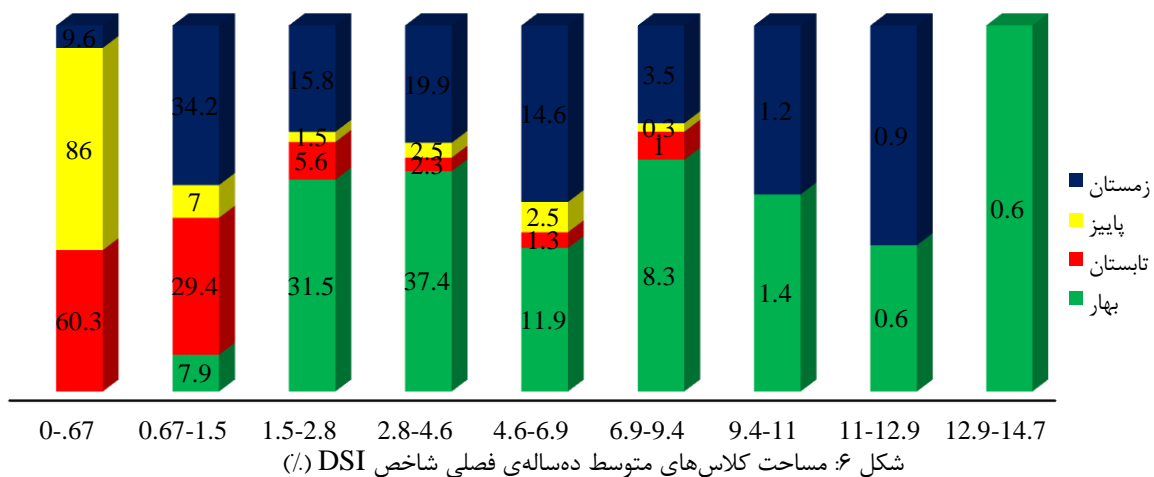
شکل ۴: توزیع فضایی وضعیت تغییرات شاخص  $DSI$  در دوره‌ی آماری ۱۰ ساله از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷

#### ۱-۴- پهنه‌بندی فصلی

شکل (۵) تغییرات مکانی شاخص گردوغبار فصلی را نشان می‌دهد که در فصل بهار شدت شاخص گردوغبار نسبت به فصل‌های دیگر به حداکثر میزان خود می‌رسد. شاخص گردوغبار در فصل پاییز نسبت به بقیه‌ی فصل‌ها کم‌ترین مقدار را داراست. همچنین پهنه‌بندی شاخص گردوغبار نشان می‌دهد که میزان گردوغبار در قسمت غربی منطقه کم‌تر بوده و از مرکز به سمت شرق و جنوب شرقی منطقه بر شدت گردوغبار افزوده می‌گردد. به عبارتی حوضه‌های آبخیز واقع در استان تهران، گردوغبار بیش‌تری نسبت به دو استان البرز و قزوین از خود نشان داده‌اند. همچنین درصد مساحت برای کلاس‌های متوسط ده‌ساله‌ی فصلی شاخص DSI در شکل (۶) به صورت نمودار آورده شده است. بررسی درصد مساحت مربوط به هر کلاس نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد مساحت در کلاس اول با دامنه‌ی تغییرات ۰ تا ۰/۶۷ به ترتیب مربوط به فصل پاییز، تابستان و زمستان است.



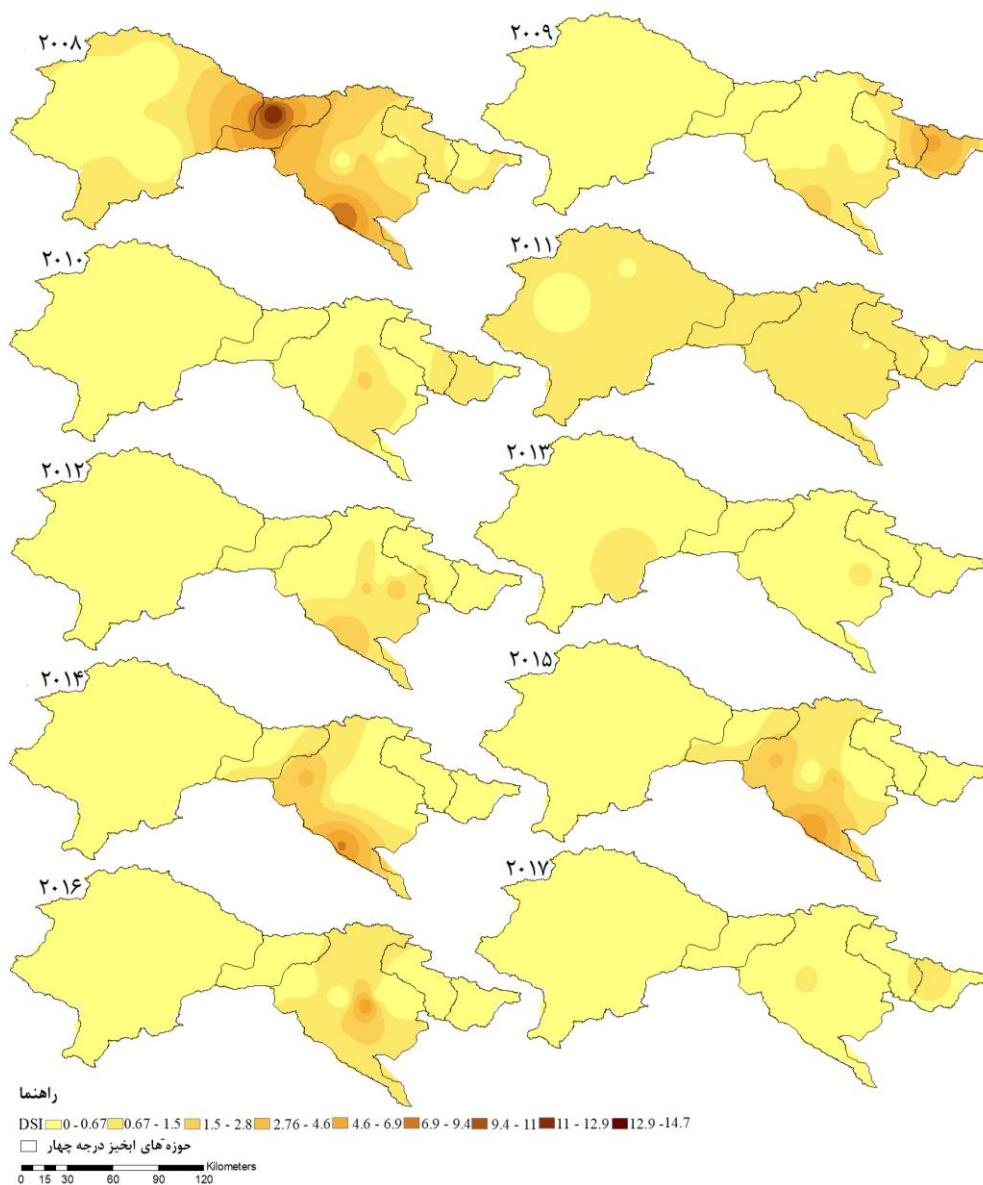
شکل ۵: توزیع فضایی شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) فصلی (۲۰۰۸-۲۰۱۷)



شکل ۶: مساحت کلاس‌های متوسط ده‌ساله‌ی فصلی شاخص DSI (%)

## ۲-۴- پهنه‌بندی سالیانه

شکل (۷) تغییرات سال به سال شاخص گردوغبار (۲۰۰۸-۲۰۱۷) را نشان می‌دهد که نتایج بیانگر تغییرات شاخص در طول زمان مورد مطالعه بوده است و سال‌های ابتدایی بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی منطقه نیز تحت تأثیر طوفان‌های گردوغبار بوده و از شدت این روند در سال‌های بعد کاسته شده است. در سال ۲۰۰۸ شاهد شدت گردوغبار بالا در سطح منطقه هستیم که در سال بعد از آن کاهش محسوسی داشته و مشابه آن در سال ۲۰۱۴ قابل مشاهده است که از شدت این روند در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ کاسته شده و منطقه شرایط بهتری را تجربه کرده است. به‌طور کلی روند کاهشی شاخص می‌تواند نمایه‌ای از اقدامات توسعه‌ای باشد. شاخص DSI با در نظر گرفتن هر دو مورد گردوغبارهای محلی و منشأهای فرامرزی نمایه‌ای جامع از روند تغییرات را در منطقه به دنبال دارد که در نهایت بیانگر کاهش طوفان‌های گردوغبار در منطقه است.



شکل ۷: توزیع فضایی شاخص تجربی طوفان گردوغبار (DSI) سالانه (۲۰۰۸-۲۰۱۷)

## ۴-۳- روند تغییرات با روش‌های آماری نا پارامتریک

بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی شاخص گردوغبار DSI استانداردشده (۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه) با استفاده از روش‌های آماری نا پارامتریک من-کندال و پتیت نشان داد که هرچه از دوره‌ی آماری یک‌ماهه به سمت دوره‌ی آماری ۱۲ ماهه می‌رویم، تغییرات زمانی روند معنی‌داری داشته است؛ به‌گونه‌ای که در دوره‌ی آماری ۹ و ۱۲ ماهه نسبت به بقیه‌ی دوره‌ها مشهودتر است. البته قابل‌ذکر است که در ایستگاه‌های فرودگاه مهرآباد و ابعلی این امر صدق نمی‌کند و فاقد روند می‌باشند (شکل ۸). روند آزمون من-کندال برای کلیه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سری‌های زمانی سالانه (جدول ۳)، فصلی (جدول ۴) و ماهیانه (جدول ۵) برای پارامتر DSI محاسبه شد. سپس معنی‌داری نتایج این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۵ مورد آزمون قرار گرفت که نتایج روند سالانه در جدول (۴) درج شده است. درنهایت ایستگاه‌هایی که دارای روند معنی‌دار در مقیاس اندازه‌گیری سالانه، فصلی بودند، نشان داده شدند. چنانچه در جدول نیز مشخص است هر دو نوع روند را می‌توان در منطقه‌ی مورد مطالعه شناسایی کرد. روند کاهشی؛ در مقیاس سالانه شامل ایستگاه‌های ژئوفیزیک، چیتگر، در تابستان و بهار ایستگاه ژئوفیزیک، فرودگاه امام، ژئوفیزیک، چیتگر و ابعلی در فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن ایستگاه‌های مهرآباد، کرج، ژئوفیزیک، چیتگر، شمیرانات، فرودگاه امام است. روند افزایشی؛ در مقیاس سالانه، بهار و در ماه می شامل ایستگاه بوئین‌زهر است.

جدول ۳: ایستگاه‌های دارای روند سالانه

ایستگاه	Kendall	p-value	معناداری
۱	-۰/۸۰۱	۰/۰۰۲	**
۳	-۰/۸۱۴	۰/۰۰۱	**
ژئوفیزیک	-۰/۷۲۱	۰/۰۰۶	**
۹	-۰/۸۰۹	۰/۰۰۲	**
۱۲	-۰/۸۰۹	۰/۰۰۲	**
۱	۰/۵۲۶	۰/۰۶۶	
۳	۰/۵۹۸	۰/۰۳۱	**
چیتگر	-۰/۶۲۹	۰/۰۱۸	**
۹	-۰/۶۹۰	۰/۰۰۸	**
۱۲	-۰/۶۹۰	۰/۰۰۸	**
۱	-۰/۲۵۸	۰/۴۰۷	
۳	۰/۲۲۵	۰/۴۱۷	
بوئین‌زهر	۰/۴۹۴	۰/۰۵۹	
۹	۰/۵۱۱	۰/۰۴۹	**
۱۲	۰/۵۱۱	۰/۰۴۹	**

جدول ۴: ایستگاه‌های دارای روند فصلی

ایستگاه	*	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		
		p-value	Kendall	p-value	Kendall	p-value	Kendall	p-value	Kendall	
۱	-۰/۵۸	۰/۰۳۳	-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹
ژئوفیزیک	۳	-۰/۷۲۲	۰/۰۰۶	-	-	-	-	-	۰/۰۱۸	-۰/۶۷۶
۶	-۰/۷۲۲	۰/۰۰۶	-۰/۷۲۲	۰/۰۰۶	-۰/۶۲۹	۰/۰۲	-۰/۵۶۲	-	۰/۰۴۳	-۰/۵۶۲
۹	-۰/۶۷۵	۰/۰۱۱	-۰/۷۲۲	۰/۰۰۶	-۰/۸۰۱	۰/۰۰۳	-۰/۵۶۶	-	۰/۰۳۵	-۰/۵۶۶

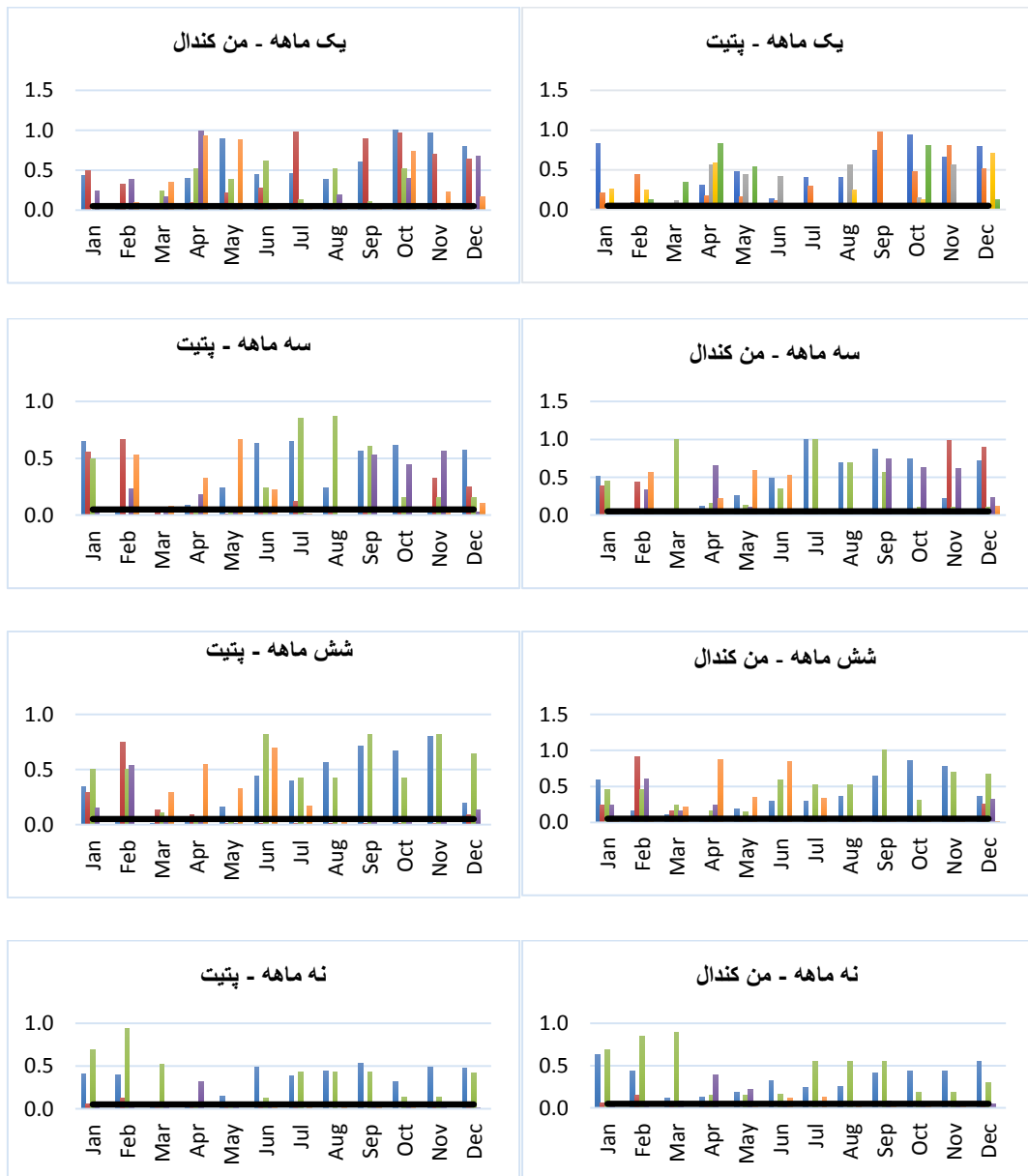
-	-	۰/۰۰۲	-۰/۸۱۵	۰/۰۱۱	-۰/۶۷۵	۰/۰۰۵	-۰/۷۱۹	۱۲	
۰/۰۴۱	-۰/۵۸۱	-	-	-	-	-	-	۱	کرج
-	-	-	-	-	-	۰/۰۲	-۰/۶	۶	
-	-	-	-	۰/۰۲	-۰/۶	-	-	۹	فرودگاه امام
-	-	۰/۰۴۹	-۰/۵۱۱	-	-	-	-	۱۲	
-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۱	
-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۳	
-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۶	آبعلی
-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۹	
-	-	-	-	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۱۹	-۰/۶۵۳	۱۲	
۰/۰۳۵	-۰/۵۸	-	-	۰/۰۴۱	-۰/۵۴۹	-	-	۱	دوشان تپه
-	-	-	-	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	-	-	۶	چیتگر
-	-	-	-	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	-	-	۹	
-	-	-	-	۰/۰۱۵	-۰/۶۶۲	-	-	۱۲	
-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۵	۰/۵۳۵	۹	بوئین‌زهرآ

\* DSI استاندارد شده

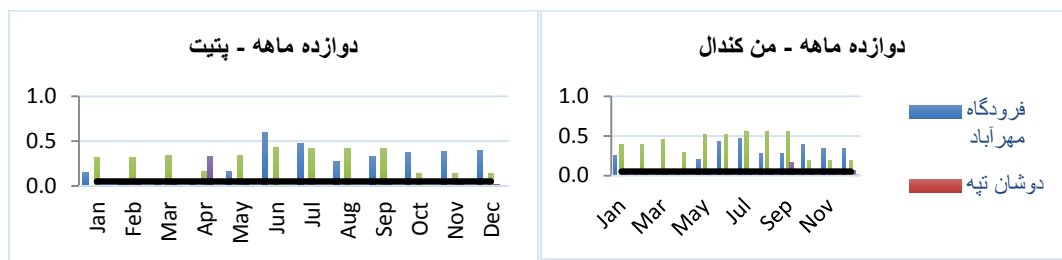
جدول ۵: ایستگاه‌های دارای روند ماهانه

۱۲		۹		۶		۳		۱		
p-value	Kendall	p-value	Kendall	p-value	Kendall	p-value	Kendall	p-value	Kendall	
۰/۰۱۵	-۰/۶۴۴	۰/۰۲۶	-۰/۶۱۴	۰/۰۱۶	-۰/۶۶۵	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۲۵	-۰/۶۵۳	مارس
۰/۰۱۸	-۰/۶۲۹	۰/۰۲۶	-۰/۶۱۴	۰/۰۰۵	-۰/۷۹۱	۰/۰۰۴	-۰/۸۰۴	-	-	آوریل
۰/۰۲۹	-۰/۵۸۲	۰/۰۳۵	-۰/۵۸۰	۰/۰۲۱	-۰/۶۳	۰/۰۱۶	-۰/۶۶۵	-	-	می
۰/۰۰۷	-۰/۷۲۵	۰/۰۱۲	-۰/۶۷۷	۰/۰۰۶	-۰/۷۴	۰/۰۳۳	-۰/۵۸	-	-	ژوئن
۰/۰۰۶	-۰/۷۲۷	۰/۰۰۸	-۰/۷۰۷	۰/۰۰۶	-۰/۷۲۲	-	-	-	-	ژوئینزیک جولای
۰/۰۰۸	-۰/۷۰۷	۰/۰۰۸	-۰/۷۰۷	۰/۰۰۶	-۰/۷۲۲	-	-	-	-	آگوست
۰/۰۰۲	-۰/۸۱۵	۰/۰۰۴	-۰/۷۶۸	۰/۰۰۵	-۰/۷۵۴	-	-	-	-	سپتامبر
۰/۰۰۲	-۰/۸۱۵	۰/۰۰۳	-۰/۸۰۱	۰/۰۲۵	-۰/۶۱۳	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	-	-	اکتبر
۰/۰۰۳	-۰/۸۰۱	۰/۰۰۳	-۰/۸۰۱	-	-	-	-	-	-	نوامبر
۰/۰۱۵	-۰/۶۴۴	۰/۰۰۷	-۰/۷۲۵	-	-	-	-	-	-	دسامبر
-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۷	-۰/۵۸	مهرآباد فوریه
-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۸	-۰/۶۱۵	-	-	شمیرانات می
-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۸	-۰/۶۰۲	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	مارس
-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۱	-۰/۵۸۱	-	-	کرج فوریه
-	-	-	-	۰/۰۱۲	-۰/۶۷۷	۰/۰۰۷	-۰/۷۲۵	-	-	آوریل
-	-	-	-	۰/۰۳۲	-۰/۵۵۶	-	-	-	-	می
-	-	۰/۰۰۴	-۰/۷۳۳	-	-	-	-	-	-	جولای
-	-	۰/۰۰۴	-۰/۷۳۳	-	-	-	-	-	-	فرودگاه امام
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	آگوست
۰/۰۳۲	-۰/۵۵۶	-	-	-	-	-	-	-	-	اکتبر
۰/۰۳۲	-۰/۵۵۶	-	-	-	-	-	-	-	-	نوامبر
۰/۰۲۴	-۰/۶۲۷	۰/۰۲۵	-۰/۶۵۳	۰/۰۲۵	-۰/۶۵۳	۰/۰۲۵	-۰/۶۵۳	۰/۰۲۵	-۰/۶۵۳	آوریل

۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	می	
۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	-	-	-	-	ژوئن	آبعلی
۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	-	-	-	-	جولای	
۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	-	-	-	-	آگوست	
۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	۰/۰۳۴	-۰/۶۰۹	-	-	-	-	-	-	سپتامبر	
-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۳	-۰/۵۶۲	مارس	دوشان تپه
-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۴	۰/۵۹۱	سپتامبر	
-	-	۰/۰۲۵	-۰/۶۶۹	-	-	-	-	-	-	می	چیتگر
۰/۰۲۱	-۰/۶۴۹	-	-	-	-	-	-	-	-	ژوئن	
۰/۰۱۳	-۰/۷۰۱	-	-	-	-	-	-	-	-	جولای	
۰/۰۱۳	-۰/۷۰۱	-	-	-	-	-	-	-	-	آگوست	
۰/۰۳۳	-۰/۵۹۷	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	۰/۰۴۴	-۰/۵۹۱	-	-	-	-	سپتامبر	
۰/۰۴۶	۰/۵۳۵	-	-	-	-	-	-	-	-	می	بوئین‌زهره



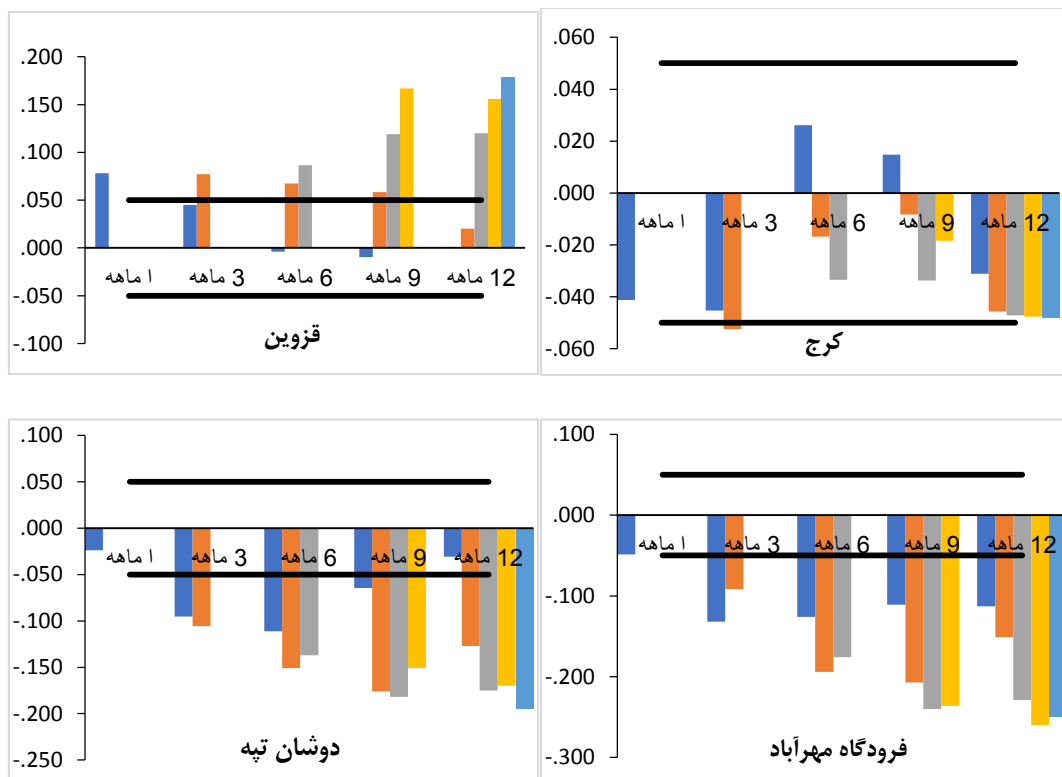


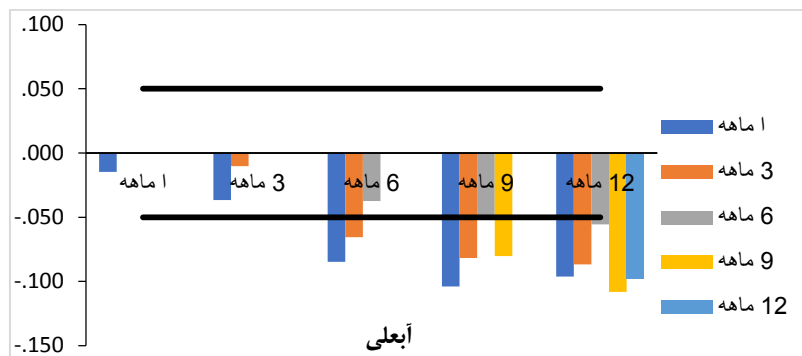


شکل ۸: روند تغییرات سی‌ساله شاخص DSI با روش‌های من-کندال و پتیت

#### ۴-۴- همبستگی شاخص DSI با خشک‌سالی

نتایج رابطه‌ی همبستگی پیرسون شاخص DSI استانداردسازی شده با خشک‌سالی (SPI و SPEI) در ۵ ایستگاه منتخب با دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۷) نشان داد که رابطه‌ی معنی‌داری بین شاخص DSI و SPI وجود ندارد. به‌استثنا قسمت غربی منطقه (ایستگاه قزوین) که شاهد کم‌ترین میزان شدت گردوغبار در پهنه‌بندی مکانی منطقه است و ارتباط معنی‌دار مثبتی بین شاخص DSI با SPEI مشاهده می‌شود، در سایر ایستگاه‌ها شاهد رابطه‌ی منفی بین این دو شاخص هستیم و در قسمت مرکز به سمت جنوب شرقی منطقه (ایستگاه‌های دوشان تپه و فرودگاه مهرآباد) که در پهنه‌بندی مکانی منطقه دارای شدت گردوغبار بالاتری نسبت به سایر قسمت‌ها می‌باشند، این رابطه مشهودتر و معنادار است و حتی این رابطه‌ی معنی‌دار بودن تا سطح ۹۹ درصد در شاخص‌های استانداردسازی شده با دوره‌ی آماری بالاتر (۶، ۹ و ۱۲ ماهه) نیز می‌رسد (شکل ۹).





شکل ۹: رابطه‌ی شاخص DSI استاندارد با شاخص SPEI به روش همبستگی پیرسون

## ۵- بحث و نتایج

در سال‌های اخیر، بخش‌های زیادی از ایران تحت تأثیر ذرات معلق ناشی از طوفان‌های گردوغبار قرار گرفته‌اند (Ghasem et al, 2012: 1625-1638). بررسی وجود یا عدم وجود روند و تحلیل سری‌های زمانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به اینکه اغلب سری‌های زمانی دارای توزیع آماری خاصی نیستند، از روش‌های ناپارامتریک که کاربرد وسیع‌تری نسبت به پارامتریک دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xu et al, 2003: 144-150)؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸-۱۵؛ حسینی صدر و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰-۳؛ اصغری پوده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱؛ زینالی، ۱۳۹۵: ۱۰۰-۸۷؛ مدبرپور و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۲-۹۹. در این تحقیق به منظور شناسایی روند تغییرات زمانی و مکانی وقوع گردوغبارها از ۲۰ ایستگاه سینوپتیک در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۷ که دارای طولانی‌ترین و کامل‌ترین دوره‌ی آماری بودند، استفاده شد. نتایج بررسی شدت مکانی-زمانی پدیده‌ی گردوغبار نشان داد که در قسمت غربی منطقه (استان قزوین) شدت گردوغبار پایین‌تر از سایر قسمت‌ها و تغییرات زمانی شدت آن کم و نامحسوس است و هرچه به سمت مرکز (استان البرز)، شرق و جنوب (استان تهران) پیش می‌رویم، شدت گردوغبار بیش‌تر است؛ به‌طوری‌که در استان تهران شاهد بیش‌ترین شدت گردوغبار هستیم که با نتایج تحقیق خوسفی و همکاران (۲۰۲۱) نیز مطابقت دارد، این امر می‌تواند دال بر تأثیر پارامترهایی علاوه بر پارامترهای اقلیمی یا طبیعی باشد که می‌توان عوامل اقتصادی-اجتماعی حاکم بر یک منطقه را به‌عنوان یک عامل انسانی ذکر نمود که در تغییرات شدت گردوغبار دخیل است که در تحقیقات قلعه‌نو و همکاران (۱۳۹۸)، تایدیمان<sup>۲۶</sup> و همکاران (۲۰۰۷) به اثبات رسیده است و نتایج تحقیق حاضر هم این امر را تأکید می‌نماید. اگرچه بارش یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی است که باعث افزایش رطوبت سطح خاک و سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی و کاهش انتشار ذرات گردوغبار می‌شود، اما ارتباط معنی‌داری برخلاف شاخص SPEI، بین این پارامتر آب و هوایی (شاخص SPI) و DSI مشاهده نشد. این مهم حاکی از این است که هرچند که بارش عامل مهمی در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشک‌سالی‌هاست (Heim Jr, 2002: 1149-1166، مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۰-۱۲۹)، اما تنها در نظر گرفتن عامل بارش در تعیین خشک‌سالی یک منطقه انتقاداتی وارد است؛ چراکه از دسترس خارج شدن ۸۰ درصد بارش از طریق تبخیر و تعرق بر اهمیت لحاظ نمودن دیگر پارامترها شامل دما و تبخیر تعرق (SPEI) جهت تعیین خشک‌سالی تأکید دارد (Abramopoulos et al, 1988: 921-941). علاوه بر این، نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داد که در فصل بهار حداکثر میزان گردوغبار مشاهده گردیده است. از آنجایی‌که در فصل‌هایی که دمای هوا بالاتر باشد، به دنبال خشک شدن خاک نیروی چسبندگی ذرات کاهش یافته و در نتیجه با فراهم شدن شرایطی از قبیل باد، به حالت تعلیق درخواهند آمد و در این شرایط بادهای سطحی به راحتی می‌توانند ذرات خاک را جمع کرده و آلودگی هوا را افزایش

دهند (Taherzadeh, 2013). تأثیر باران بهاری بیش‌تر از تأثیر درجه حرارت بهار بر تغییرات DSI در مناطق خشک ایران غالب‌تر است (Ebrahimi Khusfi et al, 2020: 239-263<sup>b</sup>) که تقریباً با یافته‌های ما سازگار است.

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در بررسی همبستگی خشک‌سالی با شاخص گردوغبار بهتر است علاوه بر بارندگی (شاخص SPI)، متغیرهای درجه حرارت و تبخیر و تعرق (شاخص SPEI) را لحاظ نمود. همچنین از آنجاکه وقوع گردوغبار به صورت رخداد است و در نتیجه انحراف معیار آن بیش‌ازحد نرمال است، با استانداردسازی شاخص می‌توان به نتایج منطقی‌تر در خصوص بررسی روند و همبستگی دست‌یافت (روستایی، ۱۳۹۵) که این مهم در تحقیق حاضر محقق گردید، اما برخلاف مناطق مرکز و غرب ایران، بسیاری از روزها، گردوغباری رؤیت نمی‌گردد. استانداردسازی سبب مشهودتر شدن رابطه‌ی بین شاخص DSI و SPEI گردیده؛ به‌گونه‌ای که در دوره‌های آماری بالاتر (۶، ۹ و ۱۲ ماهه) این معنی‌دار بودن به سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌رسد و در پهنه‌بندی مکانی شدت گردوغبار سالانه، ما شاهد روند تغییرات منظم‌تری در قسمت غرب (استان قزوین)، مرکز (استان البرز) بودیم و این موضوع در شاخص استاندارد شده با دوره‌ی آماری ۹ و ۱۲ ماهه مشهود و ایستگاه‌های واقع در مناطق مذکور (قزوین، کرج) دارای روند معنی‌داری هستند؛ این در حالی است که در سایر قسمت‌های منطقه (استان تهران) حتی با استانداردسازی، شاخص گردوغبار فاقد روند می‌باشند؛ به‌طوری‌که ایستگاه‌های واقع در این قسمت از منطقه (آبعلی و فرودگاه مهرآباد) فاقد روند معنی‌داری هستند. نتایج این تحقیق می‌تواند در بحث پایش و برنامه‌های بیابان‌زدایی و جلوگیری از گسترش بیابان و نیز آمادگی در برابر طوفان‌های گردوغبار مفید واقع شود. در پایان علاوه بر اثرات خشک‌سالی و تغییرات پارامترهای اقلیمی بر شاخص گردوغبار، تغییرات عوامل اقتصادی-اجتماعی حاکم بر یک منطقه به‌عنوان یک عامل مؤثر بر گردوغبار مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

## ۷- منابع

- ۱- اسدی، مسلم (۱۳۹۳). عوامل مؤثر بر شکل‌گیری وقوع پدیده‌های گردوغبار استان کردستان و ارتباط آن با اقلیم منطقه، پایان‌نامه‌ی ارشد دانشکده‌ی کویر شناسی دانشگاه سمنان، ۱۳۲ صفحه.
- ۲- اختصاصی، محمد رضا، شاکری، فاضل، سلیمانی مطلق، مهدی (۱۳۸۹). مقایسه و بررسی روند خشک‌سالی و وقوع گردوغبار، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۵ الی ۲۷ بهمن، دانشگاه یزد، ایران.
- ۳- اصغری پوده، زهرا، شفیع‌زاده، محمد، فاخران، سیما، گیلانی، علیرضا (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی تغییرات مکانی-زمانی طوفان‌های گردوغبار با استفاده از شاخص DSI در استان خوزستان، دومین همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه‌ی پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، گروه پژوهشی بوعلی، ۱۱ صفحه.
- ۴- بابائیان، ابراهیم، بهرامی، حسینعلی، نوروزی، علی‌اکبر، بابائیان، فریبا (۱۳۸۹). مدل‌سازی وقوع گردوغبار با استفاده از داده‌های اقلیمی در مرکز ایران، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، بهمن‌ماه ۱۳۸۹، دانشگاه یزد، ۶ صفحه.
- ۵- بروغنی، مهدی، مرادی، حمیدرضا، زنگنه اسدی، محمدعلی، پورهایمی، سیما (۱۳۹۸). ارزیابی نقش خشک‌سالی بر فراوانی گردوغبار در استان خراسان رضوی، مجله‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی ۲۱، شماره‌ی ۵، صص ۱۰۹-۱۲۱.
- ۶- حسینی صدر، عاطفه، محمدی، غلام‌حسن، حسینی صدر، منیژه (۱۳۹۳). تحلیل روند پدیده‌ی هواشناختی گردوغبار در ایستگاه هواشناسی تبریز طی دوره‌ی ۱۹۵۱ الی ۲۰۱۱، مجله‌ی علمی و فنی تیوار، دوره‌ی ۳۸، شماره‌های ۸۵-۸۴، صص ۳-۱۰.
- ۷- رسولی، علی‌اکبر، ساری صراف، بهروز، محمدی، غلامحسین (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده‌ی اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصلنامه‌ی جغرافیایی طبیعی، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۹، صص ۱۵-۲۸.

- ۸- روستایی، فاطمه (۱۳۹۵). بررسی روند خشک‌سالی هواشناسی در ایران مرکزی و تأثیر آن بر نرخ فرسایش بادی، پایان‌نامه‌ی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه کاشان، ۱۳۲ صفحه.
- ۹- زهتابیان، غلامرضا، جعفری، مهدی، احمدی، حسن، مصباح‌زاده، طیبیه، نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۸). تحلیل سیستم‌های سینوپتیک و بررسی روند تغییرات گردوغبار (مطالعه‌ی موردی: اردستان)، پژوهش‌های محیط‌زیست، دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۱۹، صص ۲۳۲-۲۸۱.
- ۱۰- زینالی، بتول (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغباری نیمه‌ی غربی ایران، مجله‌ی مخاطرات محیط طبیعی، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۷، صص ۱۰۰-۸۷.
- ۱۱- شمس‌پور، علی‌اکبر، صفر راد، طاهر (۱۳۹۱). تحلیل ماهواره‌ای هم‌دید پدیده‌ی گردوغبار تیر ۸۸، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۴۴، شماره‌ی ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.
- ۱۲- عراقی‌نژاد، شهاب، انصاری قوجقار، محمد، بذرافشان، جواد، هورفر، عبدالحسین (۱۳۹۸). بررسی روند فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار و ارتباط آن با عناصر اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: استان لرستان)، تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره‌ی ۵۰، شماره‌ی ۹، صص ۲۳۰۱-۲۲۸۹.
- ۱۳- علی‌پور، ناهید، مصباح‌زاده، طیبیه، احمدی، حسن، ملکیان، آرش، جعفری، محمد (۱۳۹۷). تحلیل سینوپتیکی وقایع گردوغبار و ارتباط آن با خشک‌سالی در استان‌های البرز و قزوین، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی جغرافیا، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۲، صص ۶۸-۵۲.
- ۱۴- علی‌جانی، بهلول (۱۳۹۲). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، ۲۵۷ تدوین تهران، انتشارات سمت.
- ۱۵- قلعه‌نو، محمدرضا، نهتانی، محمد، خالدی، سعیده (۱۳۹۸). نقش عوامل انسانی بر تشدید فرسایش بادی در منطقه‌ی هامون هیرمند، نشریه‌ی علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۳، صص ۶۱۸-۶۰۹.
- ۱۶- قویدل رحیمی، یوسف، فرج‌زاده، منوچهر، لشتی‌زند، اسماعیل (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات زمانی طوفان‌های گردوغباری خرم‌آباد، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۵۱، صص ۱۰۲-۸۷.
- ۱۷- مصطفی‌زاده، رئوف، شهابی، معصومه، ذبیحی، محسن (۱۳۹۴). تحلیل خشک‌سالی هواشناسی در استان کردستان با استفاده از مدل نمودار سه متغیره، مجله‌ی آمایش جغرافیایی فضا، دوره‌ی ۱۷، صص ۱۴۰-۱۲۹.
- ۱۸- مدبری‌پور، علی، گندم‌کار، امیر، خدا قلی، مرتضی (۱۳۹۷). بررسی روند زمانی-مکانی مخاطره‌ی گردوغبار در استان کهگیلویه و بویر احمد، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۴۱، صص ۱۲۲-۹۹.
- 19- Abramopoulos, F. Rosenzweig, C. Choudhury, B. (1988). Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs), Soil water movement and evapotranspiration, *J. of Climate*, 1, 921-941.
- 20- Ahmad, M. I. Sinclair, C. D. Werritty, A. (1988). Log-logistic flood frequency analysis. *J. Hydrol.* 98, 205-224.
- 21- Aishajiang, A. Nguyen, T. Kim, O. Jilili, A. (2016). Variation Trends of Dust Storms in Relation to Meteorological Conditions and Anthropogenic Impacts in the Northeast Edge of the Taklimakan Desert, China, *Journal of Air Pollution*, 5, 127-143.
- 22- Albugami, S. Palmer, S. Cinnamon, J. Meersmans, J. (2019). Spatial and Temporal Variations in the Incidence of Dust Storms in Saudi Arabia Revealed from In Situ Observations, *Geosciences*, 9, 162.
- 23- Amgalan, G. Liu, G.R. Lin, T. Kuo, T.H. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 28, 1, 23-32.
- 24- Azizi, GH. Shamsipour, A. Miri, M. safarad, T. (2012). Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Nat Hazards*, 64, 1625-1638
- 25- Azizzadeh, M.R. Javan, K. (2018). Trends of Extreme Temperature over the Lake Urmia Basin, Iran, During 1987-2014. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(4), 55-72.
- 26- Bagheri, M. Keshtkar, A. (2019). Time series assessment of the variations of the dust and the precipitation; a case study: Zabol area in Sistan and Baluchistan, Iran, *International Conference on Southwest Asia University of Zabul May*
- 27- Ebrahimi Khusfi, Z. Roustaei, F. Ebrahimi Khusfi, M. Naghavi, S. (2020). 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), 239-263.
- 28- Dastorani, M. Jafari, M. (2019). Analysis of the Trend of Dust Changes in Ardestan Region, Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(1), 45-54.
- 29- Ebrahimi-Khusfi, Z. Taghizadeh-Mehrjardi, R. & Mirakbari, M. (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variations of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 12(1), 134-147.
- 30- Edwards, D.C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales.
- 31- Filonchik, M. Yan, H. Shareef, T.M.E. Yang, S. (2019). Aerosol contamination survey during dust storm process in Northwestern China using ground, satellite observations and atmospheric modeling data. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1-2), 119-133.
- 32- Frank, A. Armenski, T. Gocic, M. Popov, S. Popovic, L. Trajkovic, S. (2017). Influence of mathematical and physical background of drought indices on their complementarity and drought recognition ability. *Atmospheric Research*, 194, 268-280.
- 33- Heim Jr, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
- 34- Khusfi, Z. E. Khosroshahi, M. Roustaei, F. Mirakbari, M. (2020). Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365, 114225.
- 35- McKee, T. B. Doesken, N. J. Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- 36- Munson, S. Belnap, J. Okin, G. (2012). Responses of Wind Erosion to Climate-Induced Vegetation Changes on the Colorado Plateau. Paper presented at the AGU Fall Meeting Abstracts.
- 37- O'loingsigh, T. Mctainsh, G. H. Tews, E. K. Strong, C. L. Leys, J. F. Shinkfield, P. Tapper, N. J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Res.* 12, 29-40.
- 38- Pettitt A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*. 126-135.
- 39- Shao, Y. Wyrwoll, K. Chappell, A. Huang J. Lin, ZH. McTainsh, G. Mikami, M. Tanaka, T. Wang, X. Yoon, S. (2011), Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Research* 2, 181-204.
- 40- Taherzadeh, M. (2013). Warning World for Stoppage event dust storm. [http:// www.Boomesa.com](http://www.Boomesa.com)
- 41- Tan, M. Li, X. Xin, L. (2014). Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric Environment*, 85, 215-222
- 42- Tiedemann, J. C. Dutilly-Diane, N. Batikha, F. Ghassali, E. Khoudary, G. Arab, C. Saint M. Louhaichi, M. (2007). Rangeland degradation related to social and ecological characteristics in the Syrian steppe. *Human and nature. Working together for sustainable development of drylands: Proceedings of the 8th International Conference on Development of Drylan.*
- 43- Vali, A. Roustaei, F. (2018). Investigation of the wind erosion trend in central Iran using dust storm index in the last fifty years. *JWSS-Isfahan Univ. Technol*, 21 (4), 189-200.
- 44- Vicente-Serrano, S. Cabello, D. Tomás-Burguera, M. Martín-Hernández, N. Beguería, S. Azorin-Molina, C. Kenawy, A. (2015). Drought variability and land degradation in semiarid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982–2011). *Remote Sensing*, 7(4), 4391-4423.
- 45- Wang, Q.F. Shi, P.J. Lei, T.J. Geng, G.P. Liu, J.H. Mo, X.Y. Li, X.H. Zhou, H.K. Liu, D.C. (2014). Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quatern. Int.* 349, 10-21.
- 46- Wang, Y. Wang, R. Ming, J. Liu, G. Chen, T. Liu, X. Liu, H. Zhen, Y. Cheng, G. (2016).

- Effects of dust storm events on weekly clinic visits related to pulmonary tuberculosis disease in Minqin, China *Atmos. Environ.*, 127, 205-212.
- 47- WMO. (1974). *Manual on Codes*. WMO Publ. 306, Vol. 1 Available from World Meteorological Organization, Avenue Giuseppe-Motta 41, CP2300, 1211 Geneva 2, Switzerland.
- 48- Xu, Z.X. Takeuchi, K. Ishidaira, H. (2003). Monitoring trend step changes in precipitation in Japanese precipitation, *Journal of Hydrology*, (279), 144-150.
- 49- Yang, B. Bräuning, A. Zhang, Z. Dong, Z. Esper, J. (2007). Dust storm frequency and its relation to climate changes in Northern China during the past 1000 years. *Atmospheric Environment*, 41(40), 9288-929.
- 50- Zhang, W. Yan, Y. Zheng, J. Li, L. Dong, X. Cai, H. (2009). Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69(1-2), 35-47.
- 51- Zhou, Z. Wang, L. Lin, A. Zhang, M. Niu, Z. (2018). Innovative trend analysis of solar radiation in China during 1962–2015. *Renewable Energy*, 119, 675-689.