

بررسی روند خشکسالی‌های اخیر و تاثیر آن بر وقوع پدیده گرد و غبار

در استان آذربایجان شرقی

جمشید یاراحمدی^{۱*}

*۱-استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

پست الکترونیک j.yarahmadi@areeo.ac.ir

چکیده

طوفان‌های گرد و غبار از پدیده‌های متداول در بسیاری از نقاط جهان است که خطرات جدی برای محیط‌زیست، اقتصاد و بهداشت به همراه دارد. وقوع پدیده گرد و غبار عمدتاً در قلمروهای اقلیمی خشک و نیمه خشک مشاهده می‌شود؛ این پدیده همبستگی خطی و مستقیمی با متغیرهای اقلیمی داشته و امروزه با قبول رخداد تغییر اقلیم، انتظار می‌رود فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای همچون ایران که در کمربند نیمه خشک قرار گرفته است افزایش یابد. پژوهش حاضر با هدف بررسی روند خشکسالی‌ها و تاثیر آن در وقوع پدیده گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی انجام شده است. بدین منظور، ابتدا داده‌های مشاهداتی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های سینوپتیک استان در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) تهیه شدند؛ خلاء آماری موجود در سری داده‌ها با استفاده از همبستگی موجود بین داده‌ها تکمیل و در ادامه، با استفاده از آزمون من-کندال وجود روند در سری داده‌های مورد نظر بررسی گردید. فراوانی و شدت خشکسالی‌های هواشناسی به روش SPEI در محیط برنامه R محاسبه گردید. تاثیر خشکسالی‌ها بر وقوع پدیده گرد و غبار از طریق آزمون همبستگی اسپیرمن بررسی شده است. نتایج حاصله نشان داد که داده‌های روزهای همراه با گرد و غبار در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان دارای روند افزایشی در ۳۰ سال اخیر می‌باشد؛ هرچند که در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی، این روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نیست. همچنین، در سطح کل استان، همبستگی بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و شاخص خشکسالی SPEI-6 در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، گرد و غبار، استان آذربایجان شرقی

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به یکی از مهمترین چالش‌های روی زمین تبدیل شده است. پدیده‌هایی مانند خشکسالی‌های گسترده، سیل‌های ویرانگر، آتش سوزی و همچنین گرد و غبار در مقیاس بزرگ بخشی از پیامدهای تغییر اقلیم است (Velayatzadeh 2020). وقوع پدیده گرد و غبار عمدتاً در قلمروهای اقلیمی خشک و نیمه خشک مشاهده می‌شود؛ این پدیده همبستگی خطی و مستقیمی با متغیرهای اقلیمی داشته و امروزه با قبول رخداد تغییر اقلیم، انتظار می‌رود فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای همچون ایران که در کمربند نیمه خشک قرار گرفته است افزایش یابد.

خشکسالی‌های وسیع و مستمر چندین ساله منطقه غرب آسیا در سال‌های اخیر در کنار جنگ‌های اتفاق افتاده در سوریه و عراق باعث شده که نواحی شرقی منطقه غرب آسیا دچار توفان‌های گردوغباری شدید، فراگیر و مستمری در چندساله گذشته باشند. بر این اساس عامل افزایش فراوانی وقوع و شدت و فراگیری و استمرار زمانی توفان‌های گردوغباری ایران و کل منطقه غرب آسیا دو عامل طبیعی اقلیمی (خشکسالی و باد) و انسانی (جنگ و عدم حمایت و مدیریت محیط‌زیست) هستند. در سال‌های اخیر به سبب

افزایش فراوانی وقوع و کثرت خسارات ناشی از توفان‌های گردوغباری و خشکسالی مطالعات زیادی ایران انجام گرفته است (قوبدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷).

نصرتی (۱۳۹۳) خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش تبخیر - و تعرق استاندارد شده SPEI و مقایسه آن با شاخص بارش استاندارد شده SPI را در ۴۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در گستره اقلیم‌های مختلف کشور بررسی کرد. نتایج نشان داد شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش تبخیر و تعرق - استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است. همچنین با افزایش مقیاس زمانی تداوم خشکسالی افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق در بیلان آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در مطالعات خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد (Nosrati 2013).

مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) الگوی وقوع خشکسالی را در هفت ایستگاه سینوپتیک استان کردستان بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس زمانی ۳ ماهه مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که ضمن وجود تفاوت در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی SPI و SPEI، شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی را در اکثر ایستگاه‌ها مشخص نموده است. بر اساس نتایج، ضرایب همبستگی بین ۰/۱۹ در ایستگاه سقز و ۰/۵۲ در ایستگاه سنندج و معنی‌دار از نظر آماری (در سطح ۹۹ درصد)، متغیر بودند. به نظر می‌رسد همبستگی ضعیف ۰/۱۹ میان شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه سقز ناشی از افزایش تبخیر و تعرق در فصول بهار و تابستان محاسبه شده توسط شاخص SPEI است. آن‌ها در پایان اظهار داشتند با توجه به تأثیر دما در محاسبه SPEI، تفاوت قابل توجهی بین مقادیر شاخص استاندارد مبتنی بر بارش و شاخص تبخیر و تعرق مبتنی بر دما، زمینه کارایی و صحت شاخص مذکور را فراهم می‌نماید.

جوادیان و همکاران ارتباط بین رخداد خشکسالی‌های عراق با طوفان‌های گرد و غبار در منطقه جنوب غربی ایران را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با مدل HYSPLIT انجام دادند. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که مناطق مرکزی و جنوبی عراق از مراکز اصلی طوفان‌های گرد و غبار مناطق جنوب غربی ایران است. براساس نتایج حاصله مشخص شد که فراوانی وقوع گرد و غبار در فصل تابستان روند افزایشی داشته و سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ گرد و غباری‌ترین سال‌های مورد بررسی بوده‌اند. نتایج شاخص خشکسالی SPEI نشان داد که خشکسالی‌های عراق تأثیر معنی‌داری بر طوفان‌های گرد و غبار مناطق جنوب غربی ایران دارند. همچنین، کاهش سطح مناطق باتلاقی عراق سهم بسزایی در افزایش طوفان‌های گرد و غبار مناطق جنوب غربی ایران دارد (Javadian, Behrangi et al. 2019). زولجودی و همکاران (۲۰۱۳) رابطه‌ای بین تغییرات بارش و منابع گرد و غبار عراق و سوریه و رویدادهای شدید گرد و غبار در غرب ایران یافتند، اما رابطه معنی‌داری بین دما و تغییر پوشش گیاهی با منابع گرد و غبار و رویدادهای گرد و غبار ایران مشاهده نکردند. بعلاوه، نبوی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در طی ماه‌های اکتبر تا مه ۲۰۰۷-۲۰۰۸، بیشتر مناطق گرد و غبار در آسیای غربی تحت کاهش بسیار عمیق بارش قرار گرفته‌اند.

این پژوهش با هدف بررسی فراوانی و شدت خشکسالی‌ها بر وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در گستره استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

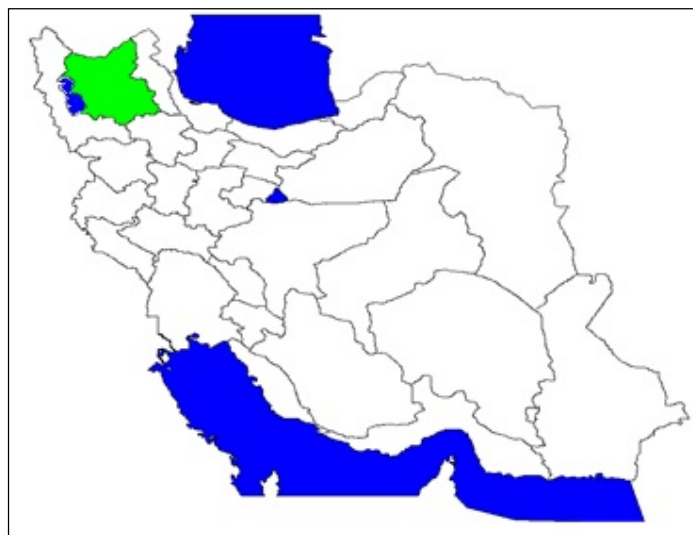
معرفی منطقه مورد مطالعه:

استان آذربایجان شرقی با وسعتی معادل ۴۶۹۲۹/۹ کیلومتر مربع در شمال غربی فلات ایران جای دارد که از شمال به و سیله رود ارس با جمهوری آذربایجان، ارمونستان و ایالت خودمختار نخجوان، از غرب به دریاچه ارومیه و رود قطور، از جنوب به زنجان و

¹ Zoljoodi

از شرق به کوه‌های سبلان، چهل نور و گردنه صائین و رودخانه دره رود از استان اردبیل محدود است. موقعیت استان آذربایجان شرقی در نقشه ایران در شکل (۱) نشان داده شده است.

براساس اطلاعات حاصل از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، مشخص که تعداد ۱۹ ایستگاه سینوپتیک فعال در سطح این استان موجود است. بررسی اطلاعات ثبتی این ایستگاه‌ها نشان داد که تنها هفت ایستگاه سینوپتیک از ایستگاه‌های هواشناسی مذکور دارای دوره آماری بلند مدت ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) بوده و سه ایستگاه سینوپتیک نیز دارای طول دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰) هستند. بقیه ایستگاه‌ها بخاطر کوتاه بودن دوره آماری از ادامه بررسی‌ها حذف شدند. در نهایت، بازه زمانی ۳۰ ساله اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) برای این تحقیق انتخاب گردید.



شکل ۱: موقعیت استان آذربایجان شرقی

در تحقیق حاضر، از روش همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی موجود بین داده‌های ایستگاه‌ها استفاده شده تا براساس بالاترین همبستگی بین ایستگاه‌ها و محاسبه رگرسیون خطی، خلاء آماری ایستگاه‌های که دارای کمبود آمار بودند تکمیل گردد. در ادامه، وجود روند در سری داده‌ها از طریق آزمون من-کندال بررسی و سیب خط روند نیز از روش سن استفاده شده است. در پژوهش حاضر، به منظور تعیین سال‌های خشک و تر و اثرات آن بر افزایش یا کاهش روزهای همراه با گرد و غبار، از شاخص SPEI استفاده شده است. با توجه به اینکه شاخص SPEI علاوه بر بارش، تبخیر و تعرق را نیز مد نظر قرار می‌دهد، لذا مناطقی با ناهنجاری مثبت دما، حتی در صورت بارش مناسب، ممکن است در محدوده مناطق خشکسالی قرار بگیرند. از این رو، برای بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان آذربایجان شرقی از این شاخص استفاده شده است. شاخص SPEI یک تعادل آبی اقلیمی را در مقادیر زمانی مختلف (K) استفاده می‌کند که بر مبنای اختلاف میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق می‌باشد. بر این اساس شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Di = Pi - PETi$$

(رابطه ۱)

Pi = میزان بارش بر حسب میلی‌متر و PET = میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی‌متر است

در اینجا از روش هارگریوز و بر مبنای میانگین حداقل و حداکثر دمای هوا، برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده است. محاسبه تبخیر و تعرق، بیلان آبی و نهایتاً تعیین دوره‌های تر و خشک با استفاده از شاخص SPEI در محیط برنامه R محاسبه شده است. کلاس بندی شدت خشکسالی‌های محاسبه شده مطابق با جدول (۱) انجام گرفته است.

در اینجا، ارتباط بین داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل با تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح ایستگاه‌های هواشناسی استان براساس آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی شده است.

جدول ۱: مقیاس طبقه‌بندی شدت ترسالی و خشکسالی در روش شاخص SPEI

مقدار عددی شاخص	طبقه بندی خشکسالی	ردیف
بیشتر از ۲	ترسالی بسیار شدید	۱
۱/۱ تا ۵/۹۹	ترسالی شدید	۲
۱/۱ تا ۴۹	ترسالی متوسط	۳
۰/ تا ۹۹/۹۹	سال نرمال	۴
۱- تا ۴۹	خشکسالی متوسط	۵
۱- تا ۵/۹۹	خشکسالی شدید	۶
کمتر از ۲-	خشکسالی بسیار شدید	۷

نتایج و بحث:

خلاء آماری موجود در داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های دارای خلاء آماری بر مبنای همبستگی اسپیرمن موجود بین داده‌های این ایستگاه‌ها با محاسبه رگرسیون خطی برای باز زمانی (۱۹۹-۲۰۲۰) تکمیل گردید. نتایج آزمون ران تست که به منظور بررسی همگنی داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار انجام شده در جدول (۲) ارائه شده است. براساس مقادیر، P-value محاسبه شده، مشخص شد که داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار چهار ایستگاه جلفا، مراغه، سراب و کلیبر در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، فرض همگنی آنها مورد تایید و در بقیه ایستگاه، داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار همگن نبودند.

جدول ۲: نتایج آزمون همگنی داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

Stations	Test Valuea	Cases < Test Value	Cases >= Test Value	Total Cases	Number of Runs	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Tabriz	19.00	14	17	31	10	-2.160	0.031
Jolfa	3.00	9	22	31	16	.771	0.441
Marageh	12.00	15	16	31	11	-1.823	0.068
Ahar	4.00	14	17	31	8	-2.898	0.004
Meyaneh	3.00	13	18	31	7	-3.228	0.001
Sarab	3.00	10	21	31	12	-.860	0.390
Sahand	13.00	14	15	29	7	-3.023	0.003
Marand	12.00	10	11	21	5	-2.682	0.007
Bonab	12.00	10	11	21	6	-2.234	0.026
Kaleybar	1.00	10	11	21	9	-.887	0.375

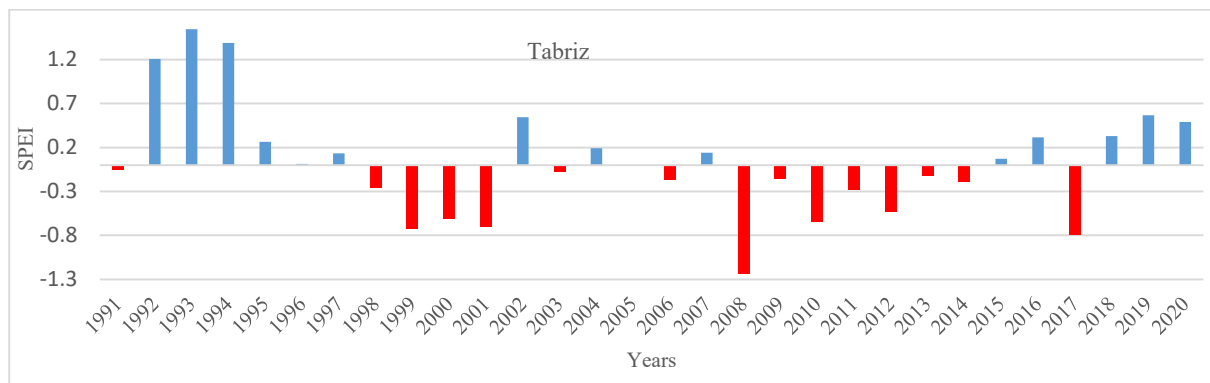
نتایج آزمون من-کندال در راستای بررسی وجود روند در داده‌های مجموع سالانه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر در جدول (۳) ارائه شده است. مطابق اطلاعات مقادیر شیب سن موجود در این جدول، به غیر از ایستگاه‌های هواشناسی جلفا و کلیبر، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در بقیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است؛ البته روند موجود در داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، تنها در ایستگاه‌های هواشناسی مراغه، اهر، میانه، سراب، سهند و مرند در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده و در بقیه ایستگاه‌ها روند مشاهداتی در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نیستند.

جدول ۳: نتایج آزمون من-کندال داده‌های تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

Series\Test	Kendall's tau	p-value	Sen's slope
Tabriz	0.197	0.126	0.563
Jolfa	-0.146	0.277	-0.056
Marageh	0.324	0.012	0.722
Ahar	0.264	0.045	0.261
Meyaneh	0.457	0.000	0.375
Sarab	0.305	0.020	0.333
Sahand	0.337	0.009	0.755
Marand	0.280	0.030	0.279
Bonab	0.231	0.074	0.372
Kaleybar	-0.009	0.958	0.000

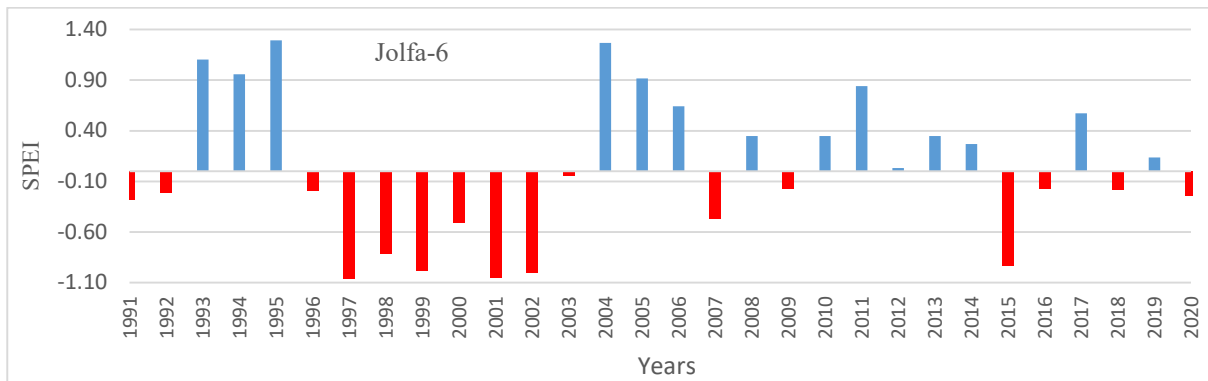
محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق پتانسیل، فراوانی و تداوم وقوع پدیده خشکسالی‌های هواشناسی با استفاده از شاخص SPEI در گام‌های زمانی مختلف و به تفکیک ایستگاه‌های منتخب استان انجام گرفته و نتایج آن در گام زمانی ۶ ماهه برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در گام زمانی شش ماهه در ایستگاه تبریز با روش SPEI در جدول (۴) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست ۲۱ سال از ۳۰ سال آماری از نظر شاخص یاد شده در وضعیت نرمال قرار داشته و ابتدا دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۹۴) و انتهای آن (۲۰۱۹) در وضعیت ترسالی قرار دارند. در میان سال‌های مورد بررسی، تنها سال ۲۰۰۸ در وضعیت خشکسالی شدید قرار گرفته است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۲) نشان داده شده است.



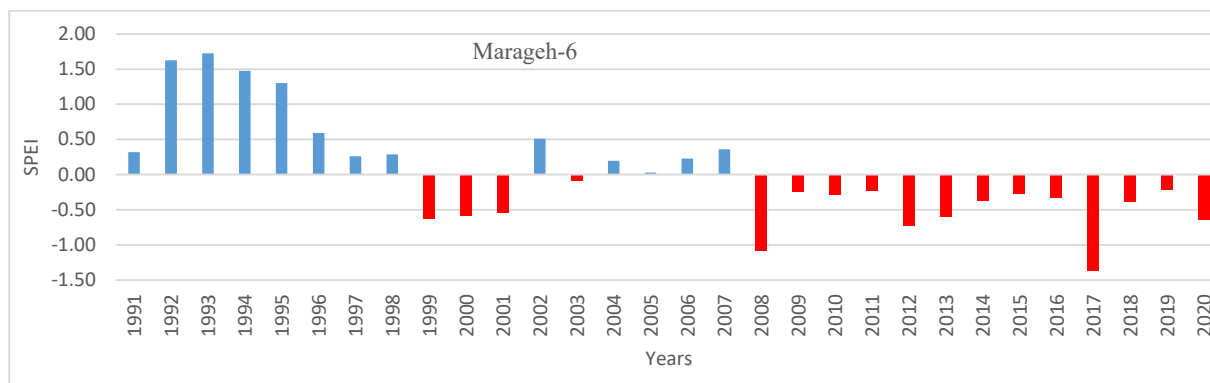
شکل ۲: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی تبریز

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه جلفا در جدول (۴) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست ۲۳ سال از ۳۰ سال آماری از نظر شاخص یاد شده در وضعیت نرمال قرار داشته و ترسالی‌ها با تداوم سه ساله در ابتدای دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۹۴) قرار گرفته است. در این میان، دو دوره خشکی در این ایستگاه مشاهده شده که اولی در سال ۱۹۹۶ اتفاق افتاده و دوره خشکی دوم با تداوم دو ساله در بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۰۱) رخ داده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۳) نشان داده شده است.



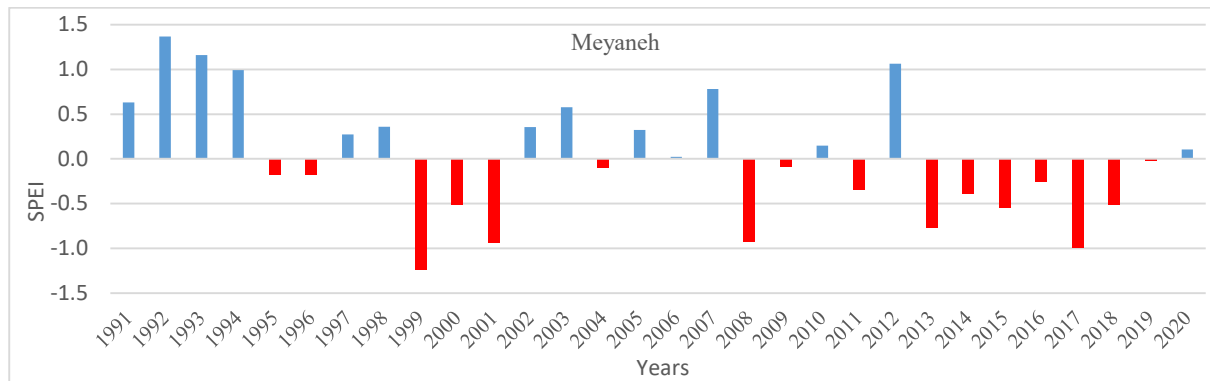
شکل ۳: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی جلفا

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه مراغه در جدول (۴) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، اکثر سال‌های آماری در وضعیت نرمال قرار داشته و ترسالی‌ها با تداوم چهار ساله در ابتدای دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۹۵) قرار گرفته است. در این میان، دو دوره خشکی در این ایستگاه مشاهده شده که اولی در سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاده و دوره خشکی دوم نیز در سال ۲۰۱۷ رخ داده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۴) نشان داده شده است.



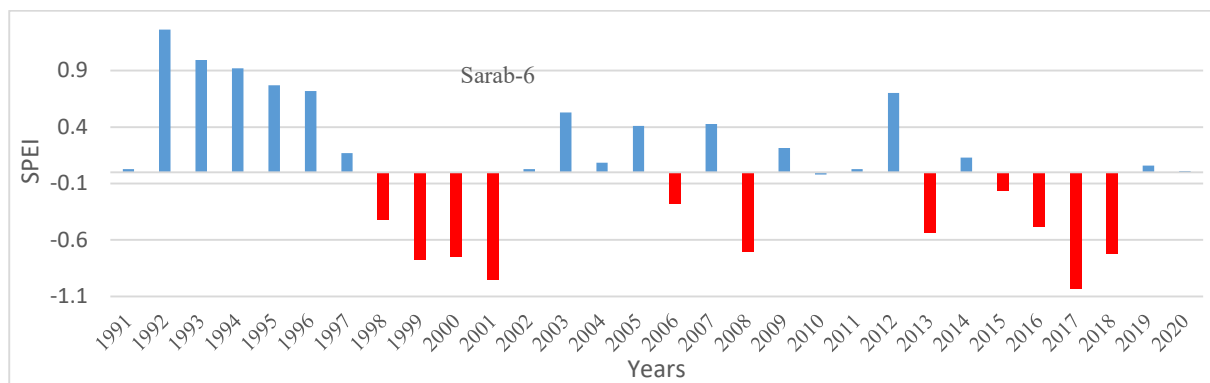
شکل ۴: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی مراغه

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه میانه در جدول (۴) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، چندین دوره متوالی خشکسالی در منطقه مشاهده می‌شود که اولین دوره به مدت سه سال (۱۹۹۹-۲۰۰۱) رخ داده و طولی‌مدت‌ترین دوره خشکی از سال ۲۰۰۸ شروع شده و تا ۲۰۱۹ طول کشیده است؛ هرچند که این دوره با ترسالی‌های منقطع شده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۵) نشان داده شده است.



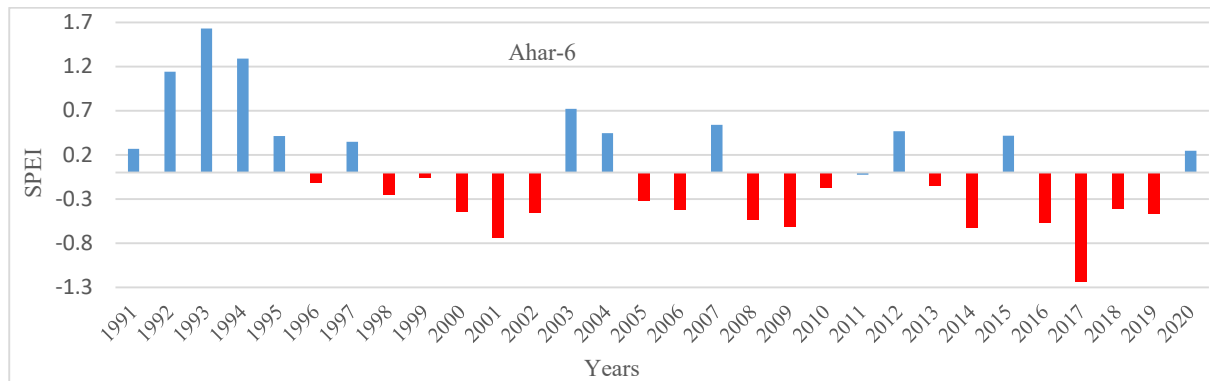
شکل ۵: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی میانه

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه سراب در جدول (۴) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، چندین دوره متوالی خشکسالی در منطقه مشاهده می‌شود که اولین دوره به مدت چهار سال (۱۹۹۸-۲۰۰۱) رخ داده و دومین دوره خشکی از سال ۲۰۱۳ شروع شده و تا ۲۰۱۹ طول کشیده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۶) نشان داده شده است.



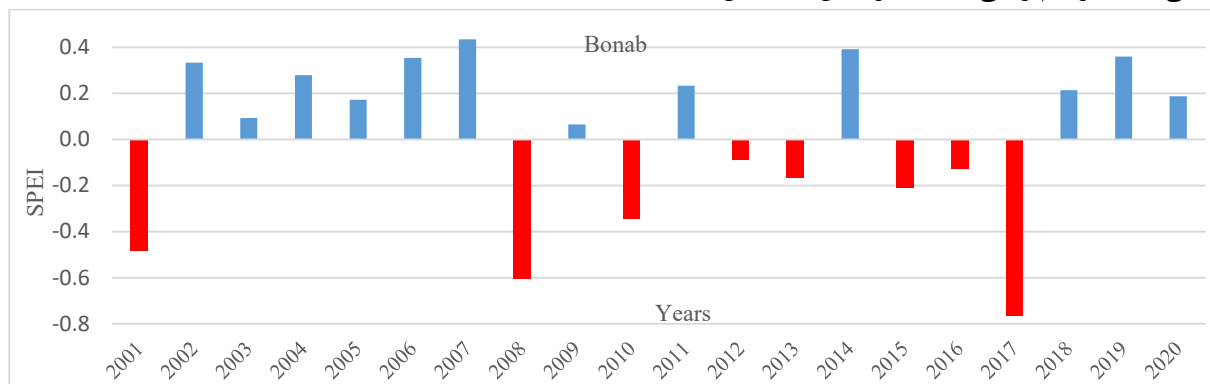
شکل ۶: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی سراب

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه اهر در جدول (۴) ارائه شده است. براساس اطلاعات موجود در این جدول، سه دوره خشکسالی در منطقه مشاهده می‌شود؛ اولین دوره به مدت تقریبی شش سال (۱۹۹۶-۲۰۰۲) بطول انجامیده است. دومین دوره خشکی از سال ۲۰۰۵ شروع شده و تا ۲۰۰۹ طول کشیده است. سومین دوره خشکی با تداوم شش ساله از ۲۰۱۳ شروع شده و تا ۲۰۱۹ طول کشیده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۷) نشان داده شده است.



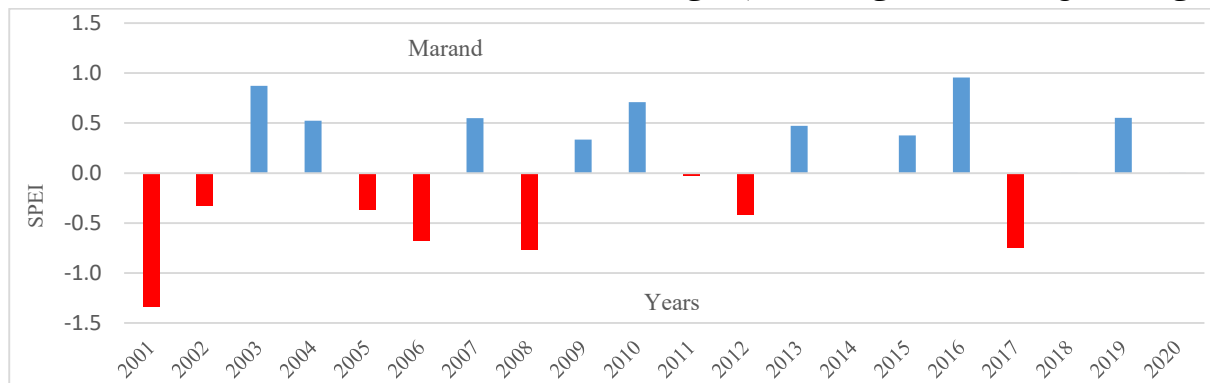
شکل ۷: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی اهر

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه بناب در جدول (۴) ارائه شده است. براساس اطلاعات موجود در این جدول، یک دوره خشکسالی شاخص در منطقه مشاهده می‌شود که از سال ۲۰۰۸ شروع شده و تا سال ۲۰۱۷ ادامه داشته است. این دوره از نظر شاخص SPEI را وضعیت منفی مشخص شده که بیانگر حالت نرمال رو به خشکی است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۸) نشان داده شده است.



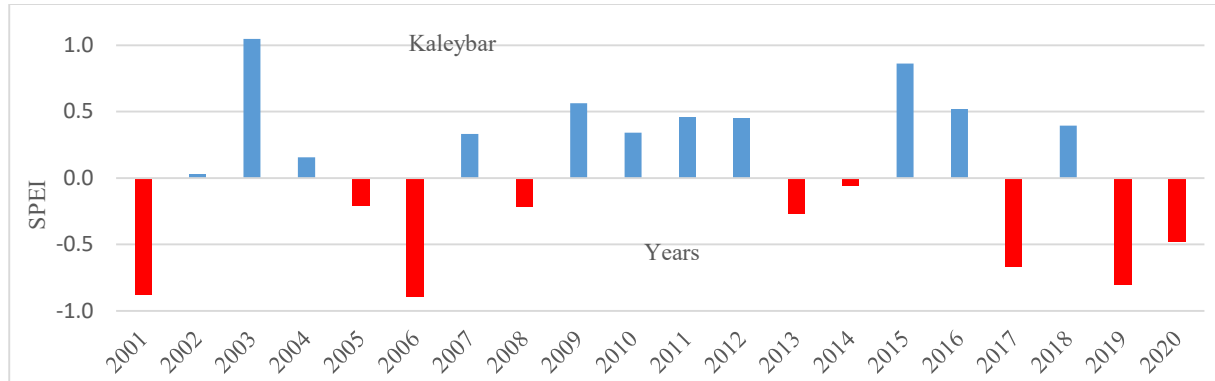
شکل ۸: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی بناب

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه مرند در جدول (۴) ارائه شده است. براساس اطلاعات موجود در این جدول، سال ۲۰۰۱ خشک‌ترین سال دوره آماری بوده در حالیکه سال ۲۰۱۶ نیز تر سالی متوسط به حساب می‌آید. در بقیه سال‌های دوره آماری، توالی دوره‌های تر و خشم قابل مشاهده است؛ هرچند که همه این دوره‌ها از نظر شاخص SPEI نرمال در نظر گرفته می‌شوند. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۹) نشان داده شده است.



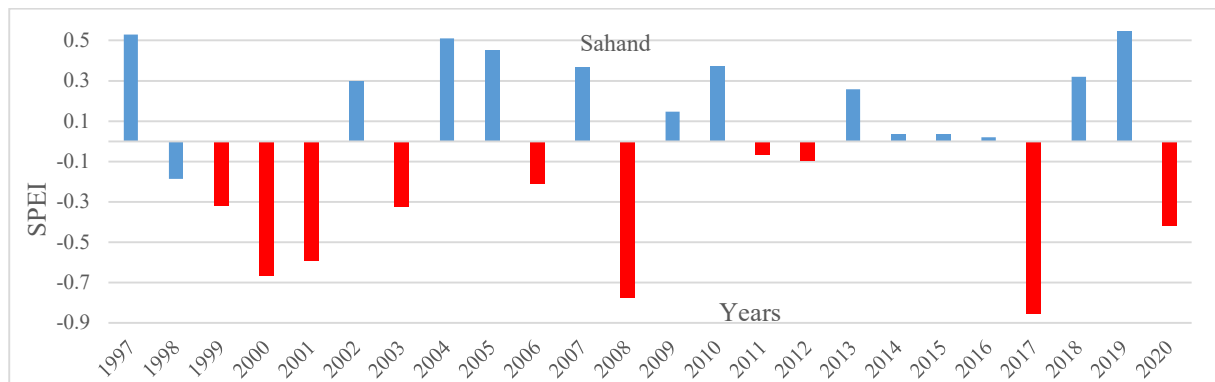
شکل ۹: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی مرند

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه کلیبر در جدول (۴) ارائه شده است. براساس نتایج موجود، تنها سال ۲۰۰۳ ترسالی متوسط بوده و بقیه سال‌ها از نظر شاخص SPEI نرمال می‌باشد؛ هرچندکه گرایش منفی در شاخص یاد شده نشانگر تمایل این سال‌ها بطرف خشکسالی است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی کلیبر

نتایج محاسبات فراوانی و تداوم دوره‌های خشکی در ایستگاه سهند در جدول (۴) ارائه شده است. براساس نتایج موجود، علیرغم اینکه از نظر شاخص SPEI تمامی سال‌های مورد بررسی در وضعیت نرمال قرار دارند؛ با این وجود، از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۰۱ وضعیت شاخص منفی بوده و گرایش به رخداد خشکسالی دارد. این توالی در بقیه سال‌ها همچنان ادامه داشته ولی در هیچ سالی وضعیت به ترسالی یا خشکسالی متوسط تبدیل نشده است. توزیع شاخص خشکسالی SPEI در گام زمانی ۶ ماهه در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱: نمودار شاخص SPEI در گام زمانی ۶ ماهه ایستگاه‌های هواشناسی سهند

جدول ۴: نتایج شاخص SPEI در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

years	Tabriz	Ahar	Jolfa	Maragheh	Meiandeh	Sarab	Sahand	Marand	Bonab	Kalebar
1991	N+	N+	N-	N+	N+	N+				
1992	MW	MW	MW	SW	MW	MW				
1993	MW	SW	MW	SW	MW	MW				
1994	MW	MW	MW	SW	MW	N+				
1995	N+	N+	N-	MW	N-	N+				
1996	N+	N-	MD	N+	N-	N+				
1997	N+	N-	N-	N+	N+	N+	N+			
1998	N-	N-	MD	N+	N+	N-	N-			
1999	N-	N-	N-	N-	MD	N-	N-			
2000	N-	N-	MD	N-	N-	N-	N-			
2001	N-	N-	MD	N-	N-	MD	N-	MD	N-	N-
2002	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N+
2003	N-	N+	MW	N-	N+	N+	N-	N+	N+	MW
2004	N-	N+	N+	N+	N-	N+	N+	N+	N+	N+
2005	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N-
2006	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N-	N-	N+	N-
2007	N+	N+	N+	N+	N+	N+	N+	N-	N+	N+
2008	MD	N-	N-	MD	N-	N-	N-	N-	N-	N-
2009	N-	N-	N+	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+
2010	N-	N-	N+	N-	N+	N+	N+	N+	N-	N+
2011	N-	N+	N+	N-	N-	N+	N-	N+	N+	N+
2012	N-	N+	N+	N-	MW	N+	N-	N-	N-	N+
2013	N-	N-	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N-
2014	N-	N-	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N-
2015	N+	N+	N-	N-	N-	N-	N+	N+	N-	N+
2016	N+	N-	N+	N-	N-	N-	N+	MW	N-	N+
2017	N-	MD	N-	MD	MD	MD	N-	N-	N-	N-
2018	N+	N-	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+
2019	N+	N-	N-	N-	N+	N+	N+	N+	N+	N-
2020	N+	N+	N-	N-	N+	N+	N-	N+	N+	N-

در این جدول، علامت (+) گرایش به حالت تر سالی و (-) گرایش به وضعیت خشک‌سالی است. N وضعیت نرمال، MD بیانگر خشک‌سالی متوسط، MW عبارت است از ترسالی متوسط و SW بیانگر ترسالی شدید است.

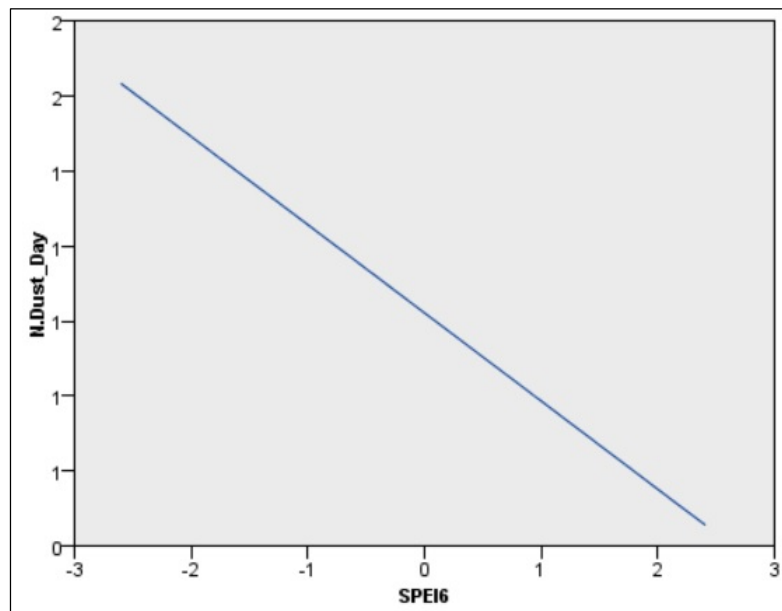
روابط همبستگی موجود بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار به عنوان متغیر وابسته با شاخص خشک‌سالی SPEI-6 به عنوان متغیر مستقل، با استفاده از روش همبستگی پیرسون بررسی شده و نتیجه آن در جدول (۵) ارائه شده است. همانطوریکه پیداست، براساس مقادیر P-value وجود همبستگی بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار یا شاخص خشک‌سالی SPEI-6 در سطح کل استان آذربایجان

شرقی در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشد؛ در این میان، همبستگی بین این دو متغیر در سطح ایستگاه‌های هواشناسی استان در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی دار بوده، حال آنکه در برخی ایستگاه‌ها از جمله: جلفا، اهر، مرند، سهند و کلیبر رابطه همبستگی معنی دار مشاهده نگردید.

جدول ۵: همبستگی موجود بین شاخص SPEI و تعداد روزهای خمره با گرد و غبار در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان

نام ایستگاه	Correlation	شاخص SPEI	نام ایستگاه	Correlation	شاخص SPEI
تبریز	Pearson Correlation	-0.235**	مرند	Pearson Correlation	-0.101
	p value	0.000		p value	0.12
سراب	Pearson Correlation	-0.130*	سهند	Pearson Correlation	-0.067
	p value	0.013		p value	0.259
جلفا	Pearson Correlation	-0.098	کلیبر	Pearson Correlation	-0.101
	p value	0.063		p value	0.118
اهر	Pearson Correlation	-0.036	بناب	Pearson Correlation	-0.193**
	p value	0.501		p value	0.003
مراغه	Pearson Correlation	-0.281**	میانه	Pearson Correlation	-0.110*
	p value	0.000		p value	0.038
کل استان	Pearson Correlation	-0.137**			
	p value	0.000			

رابطه بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و شاخص خشکسالی SPEI-6 در سطح کل استان آذربایجان شرقی در شکل (۱۲) نشان داده شده است؛ همانطوریکه پیداست، رابطه بین این دو متغیر معکوس می باشد، به عبارت دیگر، با کاهش مقدار شاخص SPEI-6 که به نوبه خود بیانگر وقوع خشکسالی است، تعداد روزهای همراه با گرد و غبار افزایش می یابد و بالعکس.



شکل ۱۲: نمودار همبستگی بین شاخص SPEI و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طوفان‌های گرد و غبار از پدیده‌های متداول در بسیاری از نقاط جهان است که خطرات جدی برای محیط‌زیست، اقتصاد و بهداشت به همراه دارد. وقوع پدیده گرد و غبار عمدتاً در قلمروهای اقلیمی خشک و نیمه خشک مشاهده می‌شود؛ این پدیده همبستگی مستقیمی با متغیرهای اقلیمی داشته و امروزه با قبول رخداد تغییر اقلیم، انتظار می‌رود فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای همچون ایران که در کمربند نیمه خشک قرار گرفته است افزایش یابد.

وقوع حوادث گرد و غبار تحت تأثیر فعل و انفعالات پیچیده زمین و جوی است که عمدتاً به دلیل سرعت زیاد باد، پراکندگی یا کمبود پوشش گیاهی، فرسایش زمین و رطوبت کم از دیگر عوامل تأثیرگذار است (Csavina et al 2014). بنابراین، انجام پژوهش‌های لازم در زمینه تعیین خصوصیات زمین-جو در مناطق مستعد گرد و غبار در یک منطقه فعال این پدیده ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین فراوانی و شدت خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر وقوع پدیده گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است؛ نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که وقوع پدیده گرد و غبار در طول ۳۰ سال اخیر در کلیه ایستگاه‌های هواشناسی استان آذربایجان شرقی روند افزایشی دارد. از طرف دیگر، وجود همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی و شاخص خشکسالی SPEI-6 مشاهده گردید؛ این رابطه حالت معکوس داشته بطوریکه با کاهش مقدار شاخص خشکسالی، به تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی افزوده می‌شود.

از آنجاییکه وقوع و انتشار پدیده گرد و غبار در یک منطقه یک فرایند پیچیده‌ای بوده که تحت تأثیر عوامل مختلفی اقلیمی و مشخصات سطح زمین است؛ از این رو، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیشتری در ارتباط با تأثیرپذیری این پدیده با دیگر متغیرهای اقلیمی و تغییرات پوشش سطح زمین انجام گیرد.

منابع

- قویدل رحیمی، ی. فرج زاده، م. لشنی زند، ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات زمانی توفان‌های گردوغباری خرم‌آباد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۱۵، زمستان.
- Csavina J, Field J, Felix O, Corral-Avitia AY, Saez AE and Betterton EA (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates *Sci. Total Environ.* 487 82–90
- Javadian, M., et al. (2019). "Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran." *Environmental Research Letters* 14.(۱۲)
- Mostafazadeh, R. and M. Zabihi (2016). "Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province)." *Journal of the Earth and Space Physics* 42(3): 633-643.
- Nabavi SO, Haimberger L and Samimi, C. (2016). Climatology of dust distribution over West Asia from homogenized remote sensing data *Aeolian Res.* 21 93–107
- Nosrati, k. (2013). "Evaluation of standardized precipitation-evapotranspiration indices (SPEI) to identify drought in different climates of Iran." *Environmental Science* 12(4): 63-74.
- Velayatzadeh, M. (2020). "Introducing the causes, origins and effects of dust in Iran." *Air Pollution and Health* 5(1): 63-70.
- Zoljoodi M, Didevarasl A and Saadatabadi, A. (2013). Dust events in the Western Parts of Iran and the relationship with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria *Atmos. Clim. Sci.* 03 321–36