نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال یازدهم | شماره چهل و چهارم | زمستان ۱۳۹۹
وصول: ۹۸/۰۹/۲۳ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۷
صص ۱۰۳-۹۱

بررسی روند تعداد روزهای گرد و خاک و غلظت نوری هواویز های حاصل از ماهواره در استان خوزستان با استفاده از آزمون ناپارامتریک من- کندال

سارا کرمی[۱]، نسیم حسین حمزه*[۲]، محمد سبزه‌زاری[۳]، محسن لو علی زاده[۴]
۱- استادیار پژوهشکده هواشناسی
۲- دانش‌آموخته دکتری هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی
۳- دانشجوی دکترای هواشناسی، دانشگاه هرمزگان
۴- کارشناسی ارشد، مهندسی محیط زیست

چکیده

پدیده گردوخاک یکی از مخاطرات طبیعی است که امروزه بخش وسیعی از کشورهای دنیا را تحت تاثیر قرار داده و سبب بروز خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود. تغییر الگوی بارش و دما و وقوع خشکسالی‌های طولانی و پی‌درپی ناشی از تغییر اقلیم در سال‌های اخیر سبب وقوع پدیده‌های شدید و فراگیر گردوخاک در کشورهای منطقه خاورمیانه شده است. استان خوزستان از دیرباز با پدیده گردوخاک مواجه بوده است. پدیده گردوخاک در استان خوزستان بویژه در سال‌های اخیر بسیاری از سازوکارهای اجتماعی، اقتصادی و حتی اداری این منطقه را دچار اخلال نموده است. در این مطالعه داده‌های ۱۱ ایستگاه هواشناسی همدیدی استان خوزستان در دوره ۲۵ ساله (سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برخی نتایج بدست آمده با داده‌های عمق نوری و شاخص NDVI *در سطح استان خوزستان مقایسه شده‌اند. از میان ۱۱ ایستگاه موردمطالعه، ایستگاه‌های اهواز، بستان و آبادان بیشترین فراوانی روزهای همراه با گردوخاک را دارا بوده در حالی که ایستگاه‌های بهبهان و رامهرمز کمترین فراوانی روزهای گردوخاک را دارند. میانگین روزهای همراه با گردوخاک سالانه در استان خوزستان در دوره ۲۵ ساله معادل ۳۷/۳ روز در سال بوده که در این راستا سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ بیشترین فراوانی روزهای گردوخاک استان را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین مقادیر* AOD *و کمترین مقدار شاخص* NDVI *نیز در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ مشاهده شده که با تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان در توافق است. همچنین در ماه‌های تیر و خرداد با بیشترین دما و کمترین مقدار بارش و رطوبت نسبی، بیشترین رخداد گردخاک و در ماه آذر کمترین تعداد پدیده گردوخاک در کل استان رخ داده است. به طور کلی ضریب روند سالانه تعداد روزهای همراه با گردوخاک استان خوزستان ۱/۳۹ بوده که بیانگر روند افزایشی است. بررسی نتایج آزمون من کندال، این روند را در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد. با بررسی فصلی نیز می‌توان نتیجه گرفت که روند تعداد روزهای همراه با گردوخاک استان خوزستان در فصل بهار در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار است. این روند در فصل تابستان معنی‌دار نبوده ولی در فصل پاییز در سطح اعتماد ۱۰ درصد و در فصل زمستان در سطح اعتماد ۱ درصد معنی‌دار است و در هر دو فصل روند مثبت بوده است.*

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، گردوخاک، روند ناپارامتریک، من کندال، سطح اطمینان.

* نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۹۲۸۸۸۷۵
Email: nasim_hh@yahoo.com

مقدمه

پدیده گردوخاک، به شکل‌های مختلف در نواحی خشک و نیمه خشک رخ می‌دهد، اما وقوع پدیده گردوخاک در سال‌های اخیر ارتباط بالایی با فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی داشته است (ژوان، ۲۰۰۴). در واقع، ایجاد گردوخاک می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد. در این رابطه نقش فعالیت‌های انسانی در کنار شرایط طبیعی ایجاد کننده توفان‌های خاک باید مد نظر قرار گیرد (رئیس پور، ۱۳۸۶).

با توجه به ماهیت زیان آور پدیده گردوخاک برای زندگی بشر، همیشه گردوخاک یک موضوع مهم در تحقیقات محققان علوم مختلف بوده و تحقیقات زیادی در این زمینه در کشورهای مختلف صورت گرفته است که به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود. کوتیبل و فورمن (۲۰۰۳) منشا توفان‌های گردوخاک در خاورمیانه را برای یک دوره آماری ۲۱ ساله مورد مطالعه قرار داده‌اند و وقوع توفان‌های گردوخاک را در ایران، شمال شرق عراق و جنوب عربستان را بیشتر به فصل تابستان نسبت داده‌اند. وانگ ژیان و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی تعداد روزهای توفان‌های گردوخاک در کشور چین طی دوره ۱۹۵۴ تا ۱۹۹۸ پرداخته‌اند. در این تحقیق روند روزهای گردوخاک دارای ۴ فاز افزایشی و کاهشی بوده است. دهه ۱۹۶۰ میلادی افزایش، دهه ۱۹۷۰ کاهش، دهه ۱۹۸۰ افزایش و دهه ۱۹۹۰ همراه با کاهش تعداد روزهای گردوخاک بوده‌اند. لووی و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و شاخص پیوند از دور (SOI) در بازه زمانی(۱۹۷۲-۲۰۰۴) رخدادهای گردوخاک را بررسی کردند. نتایج حاکی از یک روند کاهشی معنی دار در تعداد روزهای همراه با غبار در بیابان گبی است و در سال‌های آخر دوره مورد مطالعه روند افزایشی در ژاپن مشاهده شده است.

در ایران نیز مطالعات زیادی در این خصوص طی سالیان اخیر انجام شده که به بخشی از این مطالعات اشاره می‌شود. رفیعی و همکاران (۱۳۹۵) از روش ناپارامتری من-کندال و ضریب همبستگی ρ اسپیرمن برای تعیین روند معنی‌داری تعداد روزهای گردوخاک در بازه زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ در ۴۱ ایستگاه پر گردوخاک ایران مورد بررسی قرار دادند. در این میان ۲۶ ایستگاه در آزمون من‌کندال معنی‌دار بوده‌اند و ۲۷ ایستگاه در آزمون ضریب اسپیرمن معنی‌دار بودند. گودرزی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی توزیع زمانی و مکانی روزهای همراه با گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج مطالعه آنها نشان داد که تعداد روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه‌های دهلران، اهواز و دزفول در بالاترین سطح قرار دارد و در جنوب استان‌های ایلام و خوزستان بحرانی‌ترین شرایط مشاهده شده است.

براتی و کرمی(۱۳۸۹) تعداد روزهای همراه با گردوخاک را طی دوره آماری ۱۳۷۸-۱۳۷۴ در استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که براساس تعداد رخداد روزهای پدیده گردوخاک، شهرهای مسجدسلیمان و دزفول را جز غبار آلوده‌ترین و شهر امیدیه را جز کم‌غبارترین شهرهای استان بوده‌اند. مبارک حسن وغفاریان (۱۳۸۹) در بررسی آمار ۲۰ ساله شهرهای اهواز و آبادان و دزفول، روند نزولی را برای تعداد روزهای گردوخاک این شهرها تشخیص داده‌اند. انصاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی روند وقوع پدیده گردوخاک در غرب کشور را طی ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق از ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در غرب کشور با دوره آماری ۵۵ سال استفاده شد. بر اساس نتایج غرب ایران از لحاظ تعداد روزهای همراه با گردوخاک منطقه همگنی نبوده و تعداد روزهای گردوخاکی سالانه از شمال به سمت جنوب کشور ایران افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز خوی، دارای روند معنی‌دار و مثبت هستند. از این میان در هشت مورد روند مشاهده شده معنی‌دار گزارش شده که در ۳ ایستگاه بندر انزلی، قزوین و آبادان به صورت کاهشی و در پنج ایستگاه تبریز، همدان، خرم-آباد، شهرکرد و اهواز افزایشی بوده است. رضایی و همکاران(۱۳۹۱) در استان کردستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Nimbus7 به برآورد میزان گردوخاک پرداختند نتایج نشان داد که میزان گردوخاک متوسط به طور کلی روندی کاهشی و گردوخاک ضعیف و شدید روندی افزایشی داشته‌اند، به‌طوری‌که گردوخاک شدید نیز بیشترین روند افزایشی را به خود اختصاص داده است.

در این مطالعه، روند میانگین ماهانه دما، دمای بیشینه و دمای کمینه، تجمعی ماهانه، میانگین رطوبت نسبی در ۱۱ ایستگاه همدیدی استان خوزستان در دوره زمانی ۲۵ سال بررسی شده است. همچنین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در بازه مورد نظر در این ایستگاه‌ها، مورد بررسی قرار گرفت که بررسی این تعداد کمیت در این دوره طولانی در تمام ایستگاه‌های هواشناسی این استان کاری منحصر به‌فرد به شمار می‌آید. همچنین میانگین شاخص‌های پوشش گیاهی و عمق نوری ذرات سنجنده مادیس ماهواره ترا در کل استان در بازه زمانی ۲۵ ساله مورد بررسی مورد ارزیابی قرار گرفته است و روند این شاخص‌ها نیز شناسایی شده است. همچنین همبستگی بین این شاخص‌ها با یکدیگر و با مقادیر غلظت گردوخاک ایستگاهی محاسبه شده است.

مواد و روش‌ها

در سال‌های اخیر، گستردگی و شدت توفان‌های گردوخاک در نواحی جنوب غرب ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص خود موجب شده است این پدیده یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست محیطی در این نواحی باشد(ولی و همکاران، ۱۳۹۳). در دهه‌های اخیر استان خوزستان به شدت تحت تاثیر پدیده گردوخاک بوده است و مرکز این استان شهر اهواز، در سال‌های مختلف مقام اول پر گردوخاک‌ترین شهر دنیا را داشته است. در این بررسی، از داده‌های بارش و دمای حداقل و حداکثر در ۱۱ ایستگاه‌های همدیدی استان استفاده شده است و میانگین ماهانه و سالانه این داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین از داده‌های مربوط به کد پدیده گردوخاک، کدهای ۰۶ ، ۰۷ و ۳۰ تا ۳۵ جداسازی شده سپس روزهایی که دیدافقی به پایین‌تر از ۵۰۰۰ متر کاهش یافته و حداقل یک گزارش کدهای ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ داشته در ۱۱ ایستگاه هواشناسی همدیدی استان خوزستان در دوره زمانی ۲۵ ساله، در نظر گرفته شده است. ضرایب خط روند میانگین روزهای همراه با گردوخاک در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به صورت فصلی و سالانه در دوره زمانی ۲۵ ساله (سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶) بدست آمده و سپس نتایج آزمون من کندال برای هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سپس به منظور بررسی عمق نوری ذرات معلق در جو، از مقادیر AOD سنجنده MODIS ماهواره Terra از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها به صورت روزانه و با تفکیک مکانی ۱ درجه در دسترس است. در مرحله بعدی شاخص پوشش گیاهی NDVI از ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ بررسی شده است. این شاخص برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد بررسی استفاده می‌شود و برای این بررسی، از باندهای نور قرمز و فروسرخ استفاده می‌کند و از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$ANDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (۱)$$

این شاخص بین ۱- تا ۱ متغیر است. هر چه پوشش گیاهی بیشتر و سبزتر باشد این شاخص مثبت بوده و به ۱ نزدیکتر است زیرا گیاهان سبز در ناحیه مرئی بازتاب بسیار کمتری از نور فروسرخ دارند. مقادیر این شاخص به صورت ماهانه و با تفکیک ۰/۰۵ درجه سنجنده MODIS ماهواره Terra تهیه شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های واقع در استان خوزستان را که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

آزمون من کندال

آزمون من کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت (سرانو و همکاران، ۱۹۹۹). این روش بطور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکارگرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (لتنماير و همکاران، ۱۹۹۴). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرشِ فرض یک و ردِ فرض صفر، دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامترS به شرح زیر:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_k) \quad (۲)$$

که n تعداد مشاهدات سری، x_k و x_j به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به شرح زیر قابل محاسبه است:

که n تعداد مشاهدات سری، x_k و x_j به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$sgn(x) = 1 \quad if \ x > 0$$
$$sgn(x) = 0 \quad if \ x = 0$$
$$sgn(x) = -1 \quad if \ x < 0$$

به دلیل اینکه طول دوره آماری مورد استفاده بیش از ۲۰ سال می‌باشد از رابطه زیر برای تعیین واریانس استفاده می‌شود:

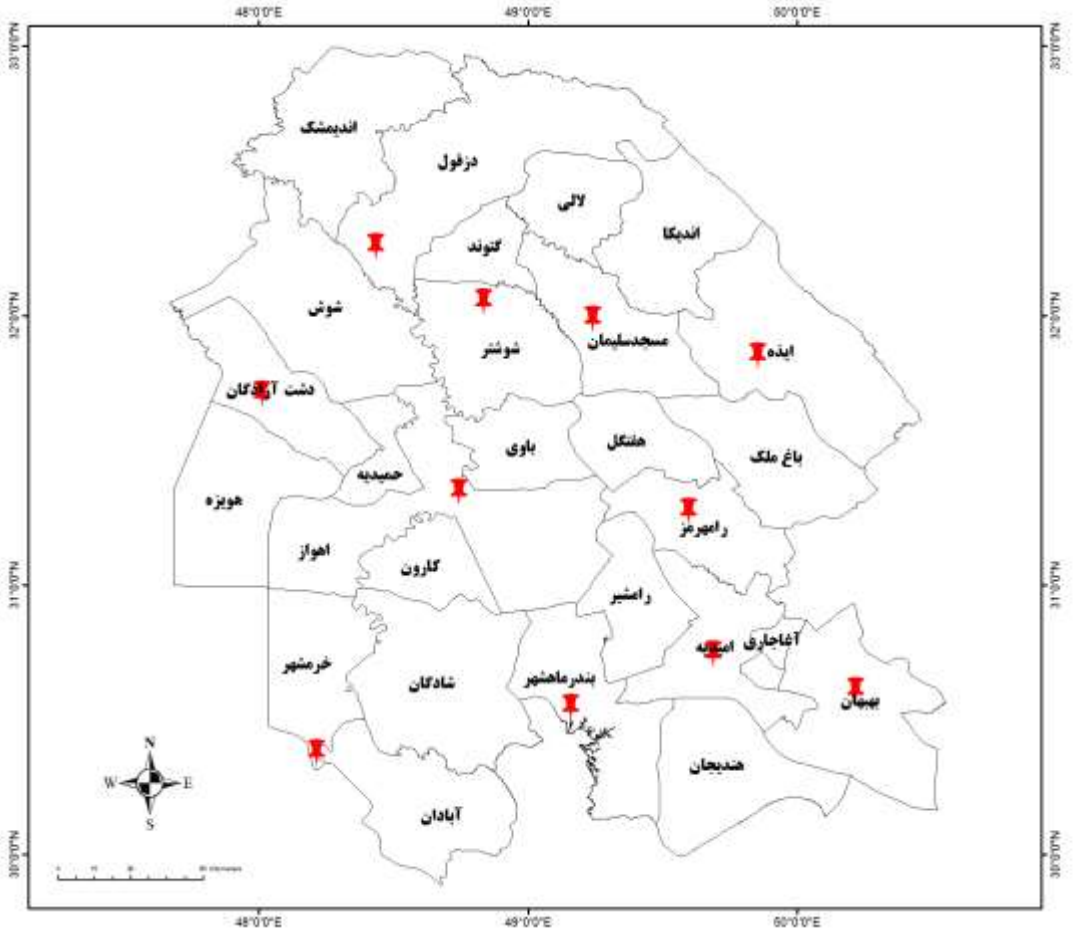
$$\mathrm{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t_i i\,(i-1)(2i+5)}{18}$$

که n تعداد داده‌های مشاهداتی و i معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

(۳)

$$z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s > 0 \\ 0 & if \quad s = 0 \\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s < 0 \end{cases}$$

اگر رابطه $z \le z_{a/2}$ درسطح اطمینان ۹۵ درصد باشد باید فرضیه H (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت. در غیر این صورت باید فرضیه H۱(وجود روند) را قبول کرد. اگر معنی داری در سطح ά=۰/۰۱ آزمون شد و z = ۲/۵۷۵ برقرار باشد مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری داده‌ها را نشان می‌دهد.



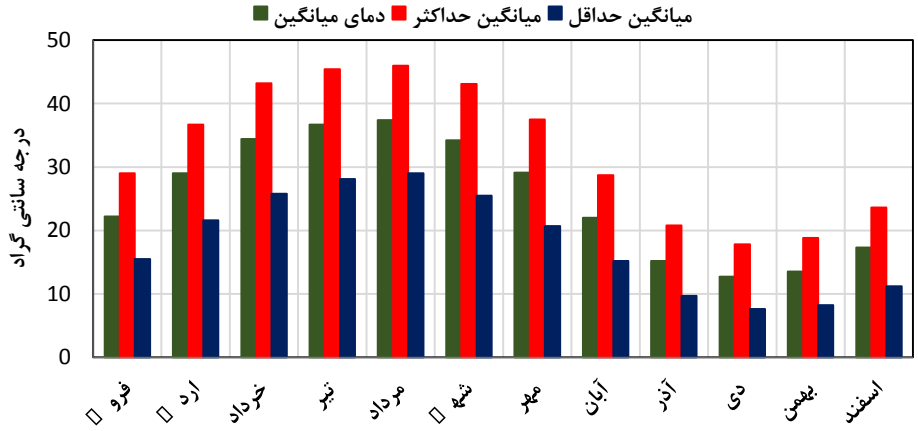
شکل ۱- ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی مورد استفاده در این مطالعه

نتایج و بحث

شکل ۲ میانگین ماهانه دما، دمای بیشینه و دمای کمینه استان خوزستان را در دوره بلندمدت ۲۵ ساله نشان می‌دهد. میانگین دمای هوای استان ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. سردترین ماه سال دی با دمای ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال مرداد با ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین بیشترین دمای بیشینه مربوط به ماه مرداد (۴۶ درجه سانتی‌گراد) و کمترین دمای کمینه مربوط به ماه دی (۷/۶ درجه سانتی‌گراد) است. به طور کلی در سطح استان خوزستان، میانگین دمای بیشینه برابر ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای کمینه برابر ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

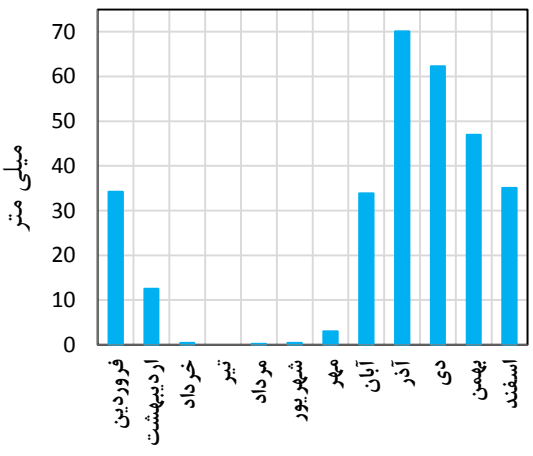
شکل ۳ میانگین بارش تجمعی ماهانه و میانگین رطوبت نسبی را در دوره ۲۵ ساله در استان خوزستان نشان می‌دهد. بیشترین میزان بارش استان خوزستان در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد. ماه آذر پر بارش‌ترین ماه سال است که معادل ۷۰/۱ میلی‌متر بارندگی در این ماه ثبت شده و ماه تیر با ۰ میلیمتر بارش، کم بارش‌ترین ماه سال است. میانگین رطوبت نسبی استان خوزستان (۱۱ایستگاه همدیدی) طی این دوره آماری معادل ۴۲/۹ درصد می‌باشد. ماه‌های دی و بهمن مرطوب‌ترین ماه‌های سال به ترتیب با ۶۸/۷ و ۶۳/۷ درصد رطوبت نسبی می‌باشند و ماه‌های خرداد و تیر نیز جز ماه‌های کم رطوبت و خشک با رطوبت نسبی ۲۳/۳ درصد به شمار می‌روند.

میانگین ماهانه تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان (۱۱ایستگاه همدیدی) به صورت ماهانه در شکل ۴ نشان داده شده است. در ماه‌های تیر و خرداد بیشترین مقدار به ترتیب با ۶/۹ و ۵/۷ روز و در ماه آذر کمترین مقدار با ۰/۷ روز اتفاق افتاده است.

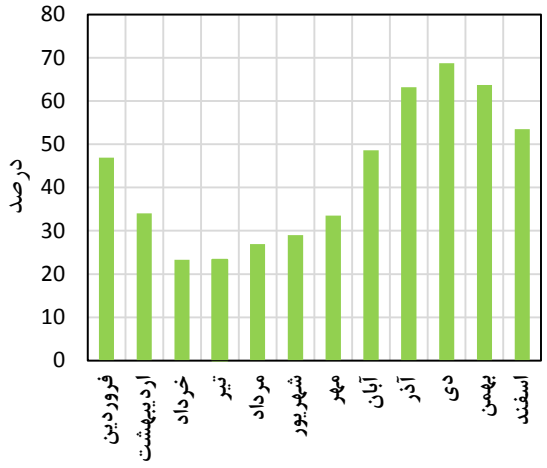


شکل ۲- میانگین ماهانه دما، دمای بیشینه و دمای کمینه استان خوزستان در ۱۱ ایستگاه همدیدی در دوره سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶

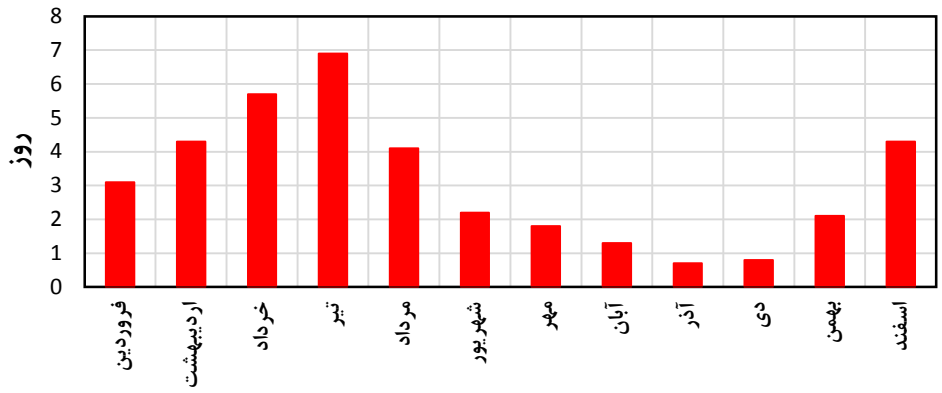
الف)



ب)



شکل ۳- میانگین بارش تجمعی ماهانه و رطوبت نسبی در استان خوزستان در دوره سال های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶

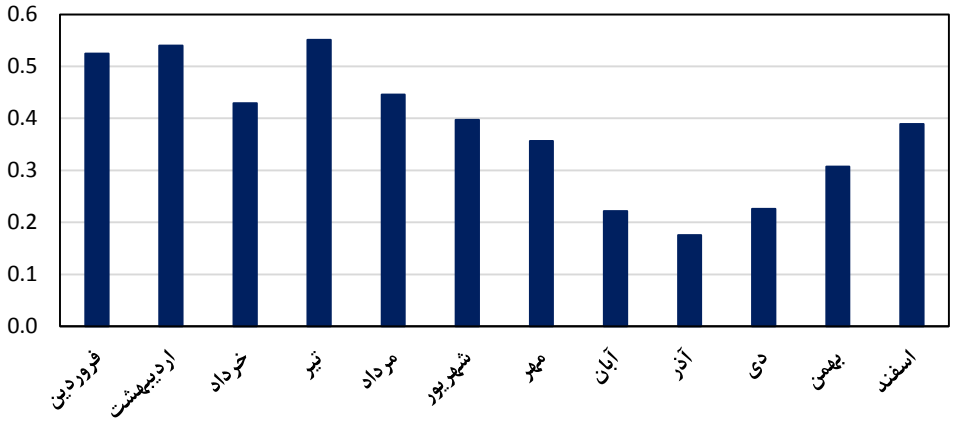


شکل ۴- میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان در دوره سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶

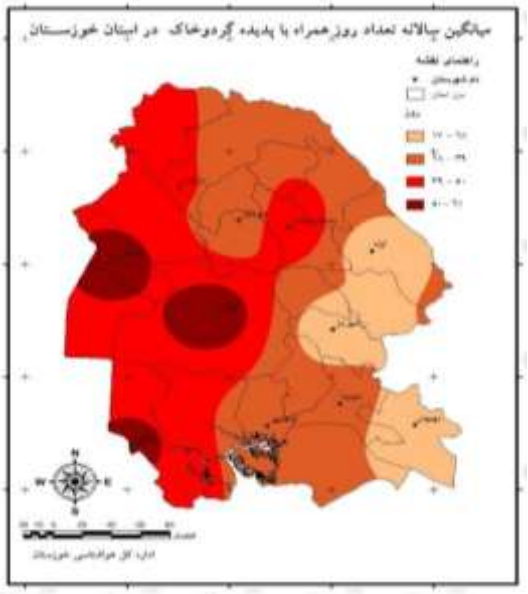
شکل ۵ میانگین ماهانه AOD استان خوزستان در دوره زمانی سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار AOD مربوط به ماه تیر است که با بیشینه میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در توافق است. مقایسه سایر ماه‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی توافق نسبی با نمودار شکل ۴ وجود دارد. بیشترین تفاوت مربوط به خرداد ماه است که مقدار AOD آن کمتر از ماه‌های فروردین و اردیبهشت بدست آمده است.

پهنه‌بندی روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان در شکل ۶ مشاهده می‌شود. به طورکلی تعداد روزهای همراه باگردوخاک در نیمه غربی استان بیشتر از نیمه شرقی است. البته با توجه به اینکه این نیمه استان بیشتر تحت تاثیر چشمه‌های گردوخاک در کشور عراق واقع می‌شود، نمی‌توان نتیجه گرفت که مناطق مستعد گسیل گردوخاک استان در این بخش از استان خوزستان واقع شده‌اند.

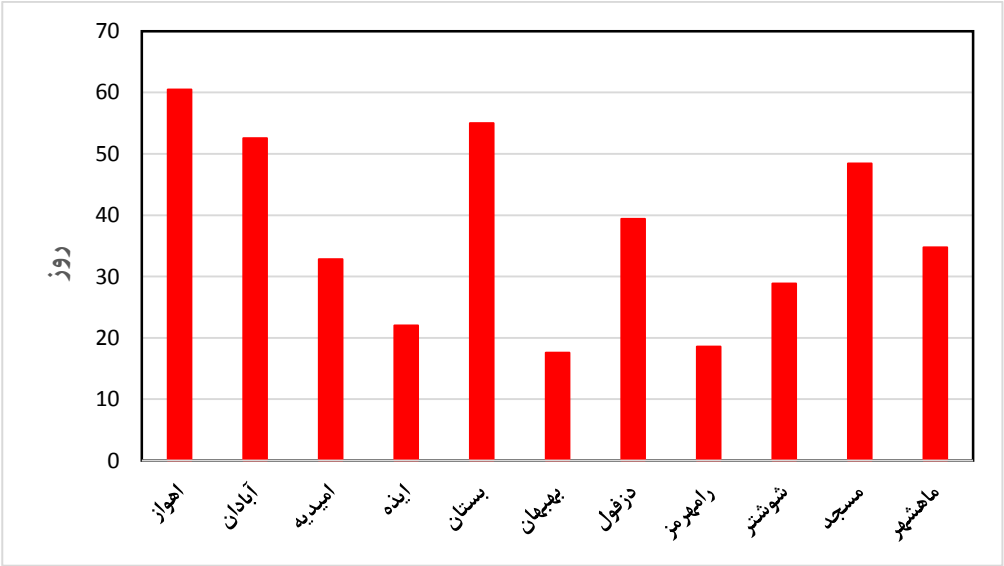
به منظور مقایسه ایستگاه‌های مختلف استان خوزستان شکل ۷ میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. از میان ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه‌های اهواز، بستان و آبادان به ترتیب با ۶۰/۵ ، ۵۵ و ۵۲/۶ روز در سال بیشترین فراوانی روزهای گردوخاک را دارا بوده درحالی‌که ایستگاه‌های بهبهان و رامهرمز با ۱۷/۶ و ۱۸/۶ روز در سال کمترین فراوانی روزهای گردوخاک را دارند.



شکل ۵- میانگین ماهانه AOD استان خوزستان با داده‌های سنجنده مادیس ماهواره ترا با استفاده از الگوریتم‌های dark target و deep blue در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

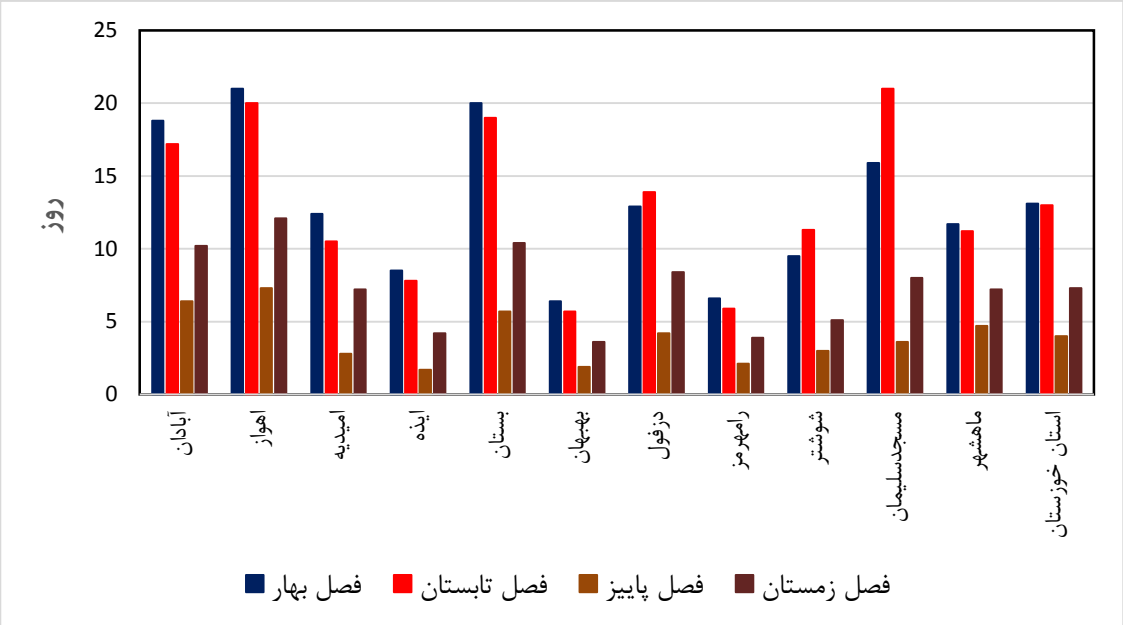


شکل ۶- پهنه بندی میانگین سالانه تعداد روزهای همراه با گردوخاک در دوره سال های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶



شکل ۷- میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌های استان خوزستان در دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶

میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت فصلی در شکل ۸ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج، در فصل بهار بیشترین و کمترین تعداد روزهای گردوخاک طی دوره مطالعاتی متعلق به ایستگاه‌های اهواز با ۲۱ روز و بهبهان با ۶/۴ روز است. همچنین میانگین روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل بهار ۱۳/۱ روز است. در فصل تابستان بیشترین و کمترین تعداد روزهای گردوخاک مربوط به ایستگاه‌های مسجدسلیمان با ۲۱ روز و بهبهان با ۵/۷ روز بوده و میانگین روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل تابستان ۱۳ روز می‌باشد. در فصل پاییز بیشترین و کمترین تعداد روزهای گردوخاک در ایستگاه‌های اهواز با ۷/۳ روز و ایذه با ۱/۷ روز ثبت شده است. میانگین روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل پاییز ۴ روز است. در فصل زمستان بیشترین و کمترین تعداد روزهای گردوخاک در ایستگاه‌های اهواز با ۱۲/۱ روز و بهبهان با ۳/۶ روز مشاهده شده و میانگین روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل زمستان ۷/۳ روز است.



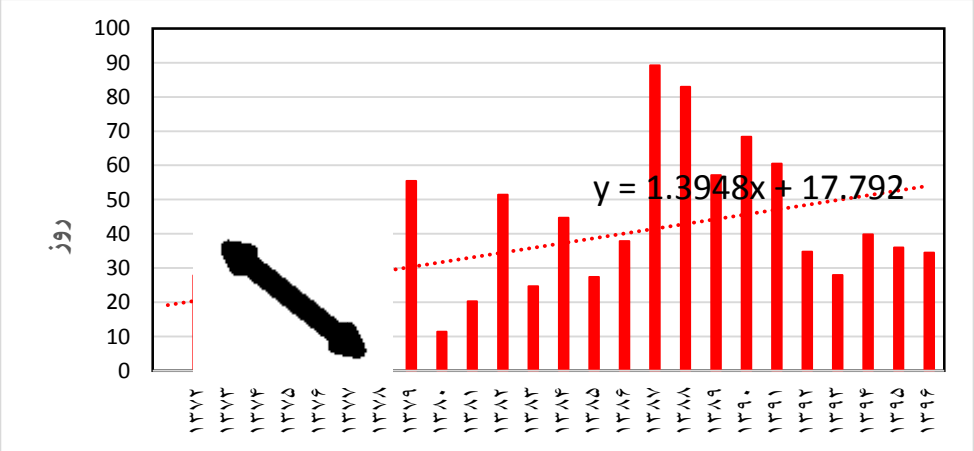
شکل ۸- میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه استان خوزستان در دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶

نمودار تعداد روزهای همراه با گردوخاک سالانه استان خوزستان در شکل ۹ نشان داده شده است. بر این اساس، میانگین روزهای همراه با گردوخاک با دید افقی کمتر از ۵۰۰۰ متر در ۱۱ ایستگاه منتخب استان خوزستان در دوره ۲۵ ساله معادل ۳۷/۳ روز در سال بوده که در این راستا سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ بیشترین فراوانی روزهای گردوخاک استان را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۴ کمترین فراوانی روزهای گردوخاک استان مشاهده شده است.

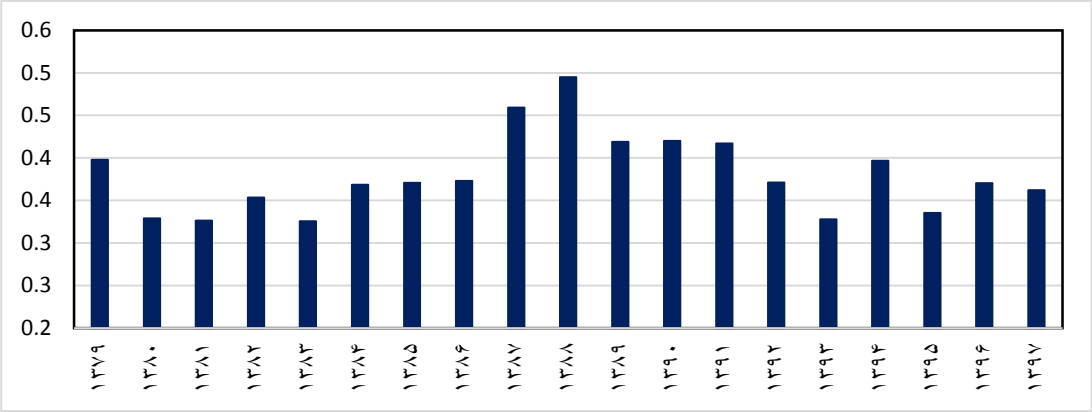
به طور کلی ضریب روند سالانه تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان ۱/۳۹ است، به این معنی که تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۲ به‌طور میانگین ۱/۳۹ روز در سال افزایش‌یافته است.

در این تحقیق روند روزهای گردوخاک دارای ۴ فاز افزایشی و کاهشی بوده است. دهه ۷۰ شمسی کاهش، دهه ۸۰ شمسی افزایش و دهه ۹۰ شمسی همراه با کاهش تعداد روزهای گردوخاک بوده‌اند.

شکل ۱۰ مقادیر میانگین سالانه AOD استان خوزستان در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر AOD در این دوره ۱۹ ساله در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ مشاهده شده است که با بیشینه تعداد روزهای همراه با گردوخاک در توافق است.



شکل ۹- نمودار تعداد روزهای گردوخاک سالانه استان خوزستان در دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶



شکل ۱۰- میانگین سالانه AOD استان خوزستان با داده‌های سنجنده مادیس ماهواره ترا با استفاده از الگوریتم‌های dark target و deep blue در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

جدول ۱ همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی را در استان خوزستان نشان می‌دهد. همبستگی بین دو کمیت PM10 و شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده مادیس ماهواره ترا بسیار بالا (۰/۸۶) و منفی است که نشان‌دهنده رابطه عکس این دو شاخص است. همچنین همبستگی بین دو شاخص AOD و NDVI سنجنده مادیس ماهواره ترا بالا بوده و ۰/۸۱ است. علامت منفی نشاندهنده رابطه عکس این دو کمیت است که مورد انتظار است. همچنین همبستگی بین AOD ماهواره‌ای و PM10 ایستگاهی بسیار بالا بوده (۰/۹۱) و علامت مثبت آن نشان‌دهنده رابطه مستقیم آنها با یکدیگر است.

جدول ۲ همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و متوسط سالانه تعداد روزهای گردوخاک در ۱۱ ایستگاه همدیدی استان خوزستان را نشان می‌دهد. همبستگی تعداد روزهای همراه با گردوخاک و شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده مادیس ماهواره ترا بسیار بالا (۰/۸۶) و منفی است که نشان‌دهنده رابطه عکس این دو شاخص است. همچنین همبستگی بین دو شاخص AOD سنجنده مادیس ماهواره ترا و تعداد روزهای همراه با گردوخاک بالا بوده و ۰/۹۱ است که نشانه ارتباط بسیار زیاد این دو کمیت با یکدیگر است.

شکل ۱۱ میانگین عمق نوری هواویزها در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۷ و بی هنجاری آن در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نسبت به میانگین ۱۵ ساله (سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۷) را نشان می‌دهد. مقادیر AOD در بخش وسیعی از کشور عراق، نیمه جنوبی عربستان، سواحل خلیج فارس و دریای عمان و همچنین استان خوزستان واقع در جنوب غربی ایران بسیار قابل توجه است. بی‌هنجاری AOD در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در بخش وسیعی از منطقه خاورمیانه مثبت است که نشان می‌دهد مقدار AOD در این دو سال بیشتر از میانگین ۱۵ ساله است. بیشترین مقادیر بی‌هنجاری در نیمه شمالی کشور عراق و همچنین بخش وسیعی از کشور ترکمنستان مشاهده می‌شود. البته در کشور ترکمنستان به طور کلی میانگین AOD کوچک است.

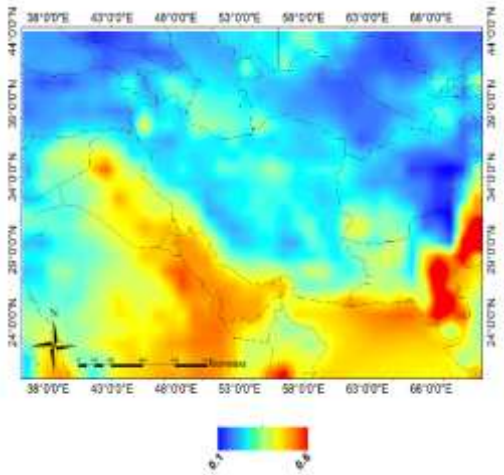
جدول ۱- هم‌بستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی

کمیت	دوره زمانی	هم‌بستگی
PM10و NDVI	۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶	- ۰/۸۶
AOD و NDVI	۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶	- ۰/۸۱
PM10 و AOD	۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶	۰/۹۱

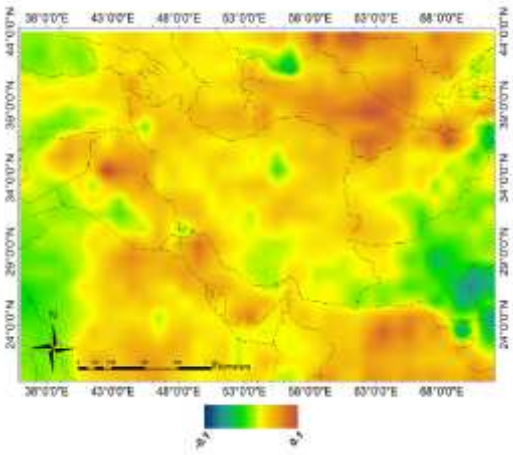
جدول ۲- هم‌بستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و متوسط سالانه تعداد روزهای گردوخاک در ۱۱ ایستگاه همدیدی استان خوزستان

کمیت	دوره زمانی	هم‌بستگی
تعداد روزهای همراه با گردوخاک و NDVI	۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶	۰/۸۶ –
تعداد روزهای همراه با گردوخاک و AOD	۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶	۰/۹۱

الف)



ب)



شکل ۱۱. الف) میانگین عمق نوری هواویزها در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۷ ب)بی هنجاری میانگین عمق نوری هواویزها در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نسبت به میانگین ۱۵ ساله (سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۷)

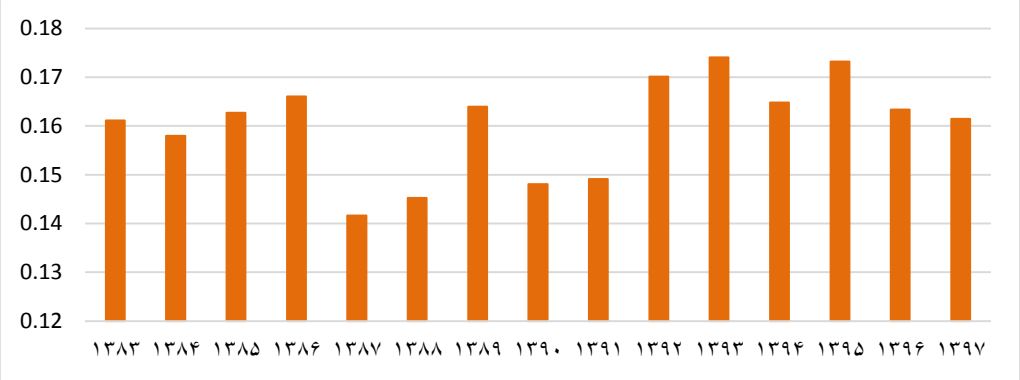
میانگین سالانه شاخص NDVI استان خوزستان در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مقادیر این شاخص در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نسبت به سایر سال‌ها بسیار کمتر است که با بیشینه مقادیر AOD و تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان در توافق است.

جدول ۳ میانگین تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل‌های مختلف در دوره ۲۵ ساله به همراه خط روند و ضریب آن را نشان می‌دهد. میانگین تعداد روزهای گردوخاک فصل بهار و تابستان معادل ۱۳ روز است. ضریب روند روزهای گردوخاک فصل بهار در استان خوزستان ۰/۵ می‌باشد، بدین معنی که تعداد روزهای گردوخاک فصل بهار استان خوزستان در این دوره مطالعاتی به‌طور میانگین ۰/۵ روز افزایش‌یافته است. در حالی‌که ضریب روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان درفصل تابستان ۰/۳۶ است. میانگین تعداد روزهای گردوخاک فصل پاییز ۴ روز بوده و ضریب روند آن ۰/۱۲ است. تعداد روزهای گردوخاک در فصل زمستان ۳/۷ بوده و به‌طور میانگین ۰/۴ روز در سال افزایش‌یافته است.

بررسی نتایج آزمون من کندال روزهای همراه با گردوخاک ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۷۲ (جدول۴) معنی‌دار بودن روند مشاهداتی را در ۷ ایستگاه، در سطوح اعتماد ۱ تا ۱۰ درصد تائید می‌نماید درحالی‌که روند مشاهداتی در ۴ ایستگاه معنی‌دار نبوده است. روند روزهای گردوخاک (بازه سالانه) در ایستگاه‌های ایذه، بستان، شوشتر و ماهشهر در سطح اعتماد ۱ درصد معنی‌دار شده است. این روند در ایستگاه‌های امیدیه و بهبهان در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار بوده و در ایستگاه آبادان در سطح اعتماد ۱۰ درصد معنی‌دار است. روزهای گردوخاک در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان فاقد روند معنی‌دار می‌باشد. همچنین روند روزهای گردوخاک در استان خوزستان در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۵ نتایج آزمون من کندال جهت تعیین معنی‌داری روند روزهای گردوخاک استان خوزستان طی دوره ۱۳۹۶-

۱۳۷۲ را به صورت فصلی نشان می‌دهد. روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل بهار در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار بوده است. این روند در فصل تابستان معنی‌دار نبوده ولی در فصل پاییز در سطح اعتماد ۱۰ درصد معنی‌دار بوده است. روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل زمستان در سطح اعتماد ۱ درصد معنی‌دار بوده است. به طور کلی روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در بازه سالانه در سطوح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار بوده است.



شکل ۱۲. میانگین سالانه شاخص NDVI سنجنده مادیس ماهواره ترا

جدول ۳- معادلات و ضرایب خط روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۲

ایستگاه	میانگین بلندمدت روزهای گردوخاک	معادله خط روند	ضریب خط روند
فصل بهار	۱۳	y = 0/5046x + 6.494	۰/۵۰
فصل تابستان	۱۳	y = 0/3632x +۸/۳۱۸	۰/۳۶
فصل پاییز	۴	y = 0/1256x + 2/32	۰/۱۲
فصل زمستان	۳,۷	y = = 0/4006x +۲/۰۸	۰/۴۰

جدول ۴. نتایج آزمون من کندال روزهای گردوخاک ایستگاه‌های هواشناسی خوزستان

ایستگاه	آبادان	اهواز	امیدیه	ایذه	بستان	بهبهان	دزفول	رامهرمز	شوشتر	ماهشهر	مسجدسلیمان	خوزستان
سطح اعتماد ۱۰ درصد	*											
سطح اعتماد ۵ درصد			*			*						*
سطح اعتماد ۱ درصد				*	*				*	*		
فاقد روند معنی‌دار		*					*	*			*	

جدول ۵. نتایج آزمون من کندال تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۲

ردیف	بازه زمانی	z-static	نتایج	سطح اعتماد		
				۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱
				۱/۶۴	۱/۹۶	۲/۵۷۶
۱	فصل بهار	۲/۰۰	روند معنی دارو مثبت		*	
۲	فصل تابستان	۱/۳۰	فاقد روند معنی‌دار			
۳	فصل پاییز	۱/۷۳	روند معنی‌دار و مثبت	*		
۴	فصل زمستان	۲/۷۴	روند معنی‌دار و مثبت			*
۵	سالانه	۲/۳۷	روند معنی دارو مثبت		*	

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پدیده گردوخاک در استان خوزستان به صورت اقلیمی در دوره زمانی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان به صورت ماهانه نشان می‌دهد که در ماه‌های تیر و خرداد با بیشترین دما و کمترین مقدار بارش و رطوبت نسبی، بیشترین رخداد گردخاک و در ماه آذر کمترین تعداد پدیده گردوخاک اتفاق افتاده است. بیشترین مقدار میانگین ماهانه AOD استان خوزستان در دوره زمانی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ نیز مربوط به ماه تیر است که با بیشینه میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در توافق است و با بررسی دانیالی و همکاران (۱۳۹۷) که به تحلیل زمانی و مکانی گردوخاک در استان خوزستان در بازه زمانی ۱۷ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵) پرداختند در توافق است. از میان ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه، ایستگاه‌های اهواز، بستان و آبادان بیشترین فراوانی روزهای همراه با گردوخاک را دارا بوده درحالی‌که ایستگاه‌های بهبهان و رامهرمز کمترین فراوانی روزهای گردوخاک را دارند که در توافق با بررسی طاووسی و همکاران (۱۳۹۰) در تحلیل آماری پدیده گردوخاک در بازه زمانی ۱۰ ساله (۱۳۷۴ تا ۱۳۸۴) در استان خوزستان است.

میانگین تعداد روزهای همراه با گردوخاک به صورت فصلی نشان می‌دهد که بیشترین رخدادهای گردوخاک استان خوزستان در دو فصل بهار و تابستان و کمترین آن در فصل پاییز گزارش شده است. نبوی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی ۱۶ ساله پدیده گردوخاک (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) نتیجه گرفتند که بیشترین رخدادهای گردوخاک استان خوزستان در دو فصل بهار و تابستان رخ داده است. میانگین روزهای همراه با گردوخاک سالانه در استان خوزستان در دوره ۲۵ ساله معادل ۳۷/۳ روز در سال بوده و سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ بیشترین فراوانی روزهای گردوخاک استان را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین مقادیر AOD در دوره ۱۹ ساله (سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷) نیز در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ مشاهده شده است. میانگین سالانه شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نسبت به سایر سال‌ها بسیار کمتر است که با بیشینه مقادیر AOD و تعداد روزهای همراه با گردوخاک در استان خوزستان در توافق است.

به طور کلی ضریب روند سالانه تعداد روزهای همراه با گردوخاک استان خوزستان ۱/۳۹ است که روند افزایشی را نشان می‌دهد. بررسی نتایج آزمون من کندال روزهای همراه با گردوخاک ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان معنی‌دار بودن روند مشاهداتی را در ۷ ایستگاه، در سطوح اعتماد ۱ تا ۱۰ درصد تائید می‌نماید، درحالی‌که روند مشاهداتی در ۴ ایستگاه معنی‌دار نبوده است. به طور کلی روند روزهای گردوخاک در استان خوزستان در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار شده است. بررسی فصلی نیز نشان می‌دهد که روند تعداد روزهای گردوخاک استان خوزستان در فصل بهار در سطح اعتماد ۵ درصد معنی‌دار بوده است. این روند در فصل تابستان معنی‌دار نبوده ولی در فصل پاییز

در سطح اعتماد ۱۰ درصد و در فصل زمستان در سطح اعتماد ۱ درصد معنی‌دار و مثبت بوده است.

سپاسگزاری

این مقاله بر اساس پژوهشی با همین نام به شماره ۰۰۱۵۱۳۲۹۹۶۶۷۶L۲۹۶۷۳۴۱ که مجری آن پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو و کارفرما اداره کل هواشناسی استان خوزستان بوده، تهیه شده است. از کلیه همکاران محترم در آن اداره کل تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abbas Ali, Wali, Khamooshi, Sajjad, Mousavi, Seyed Hojjat, Panahi Fatemeh, Tamaski Ehsan. Climatic analysis and tracing of dust storm in the south and center of Iran. Journal of Environmental Science, 40: 972-961.

2. Ansari Renan, Marzieh. Statistical-Climatic Analysis of Soil Dust in Zahedan Province in the Time Period (1986-2005) The First International Congress on Dust Phenomena and Coping with Its Harmful Effects February 17-18, 2011 Ahvaz.

3. Barati, Gholamreza, Karami Fariba. Equations of air pressure and visibility in selected cities of Khuzestan province - The second national conference on wind erosion in Yazd,2011.

4. Daniali, M., Mohamadzhad, B. and Karimi, N., 2018. Spatial analysis of dust in Khuzestan province using satellite imagery.

5. Farajzadeh, M. and Alizadeh, K., 2011. Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran. The Journal of Spatial Planning, 15(1), pp.65-84.

6. Goodarzi, M., Hosseini, S.A. and Ahmadi, H., 2018. Investigation of temporal and spatial distribution of days with dust in the west and southwest of Iran.

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

8. Lettenmaier, D. P. E. F. Wood, and J. R. Wallis, 1994: Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948–88. J. Climate, 7: 586–607.

9. Levy, R.C. Remer, L.A. Dobovik, O. 2007. Global aerosol optical properties and application to Moderate Resolution Imaging spectro radiometer aerosol retrieval over land. J. Geophys. Res. 112, D13210. doi:10. 1029/2006JD007815.

10. Mobarak Hassan, Elham: Parvin Ghafayan. Investigation of dust formation mechanism in Khuzestan province in cold season: a case study January 2005, 2nd National Conference on Wind Erosion in Yazd

11. Nabavi, S.S., Moradi, H. and Shrifikia, M., 2019. Evaluation of dust storm temporal distribution and the relation of the effective factors with the frequency of occurrence in Khuzestan Province from 2000 to 2015. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 28(111), pp.191-203.

12. Namdari, S. K. K. Valizade, A. A. Rasuly, and B. Sari Sarraf. 2016. "Spatio-Temporal Analysis of MODIS AOD over Western Part of Iran. Arabian Journal of Geosciences 9 :3-17.

13. Raeispour, K., 2008. Statistical Analysis of Dust Phenomenon in Khuzestan Province (Doctoral dissertation, Master thesis, Sistan and Baluchestan University).

14. Rafiei, Zohreh; Yazdani, Mohammad Reza; Rahimi, Mohammad. 2016. Trend analysis of the

number of days with dust in Iran. Dry Boom Scientific-Research Quarterly, 6 (2).

15. Rahimzadeh, Fatemeh, 2011. Statistical Methods in Meteorological and Climatological Studies, Aban Publications.

16. Raispour, Kuhzad. Statistical and Synoptic Analysis of Dust Phenomenon in Khuzestan Province in 2008-2009, Master Thesis in Climatology, Sistan and Baluchestan University.

17. Rezaei, Banafsheh, Sharifi Majid, Pirkhezrian Leila. 2012. Estimation of dust by using satellite images in Kurdistan province. Quarterly Journal of Natural Geography, 13: 4-1.

18. Serrano, A. Mateos, V.L. Garcia, J.A. 1999. Trend analysis ofmonthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995.Physics and Chemistry of the Earth. Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere 24: 85–90

19. Shoai, Zia al-Din: Nowruz Akbar. Statistical study of dust events in Ilam province during the statistical period of 2000-2015, the second international conference on dust, May 1997, Ilam University.

20. Tan, M. Li, X. Xin, L. 2014. Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition, Atmospheric Environment, 215-222.

21. Wang X, Dong Z, Yan P, Yang Z, Hu Z, Surface sample collection and dust source analysis in northwestern China, Catena 2005; 59: 35-53

22. Xuan, T. D., E. Tsuzuki, T. Hiruki, M. Mitsuhiro, T.D. Khanh and I.M. Chung. 2004. Evaluation of phyto toxicity of neem (Azadirachta indica A. Juss) to crops and weeds. Crop Protection, 23: 335- 345.

23. Yazdani, Mohammad Reza; Rahimi, Mohammad, 2016. Trend analysis of the number of days with dust in Iran. Dry Boom Scientific-Research Quarterly, 6 (2).

24. Zarasvandi, Alireza, Farid Nazarpour, Ahad, 2011, Mineralogical and morphological composition of the dust constituents in Khuzestan province relying on XRD analysis and SEM images, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, No. 3, Page 511 - 518 29.