

بررسی تغییرات الگوی مکانی کانون‌های داخلی گردوغبار استان خوزستان طی دهه‌های اخیر

فاطمه درگاهیان^{۱*}، مهدی دوستکامیان^۲

۱. عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

smehdi67@gmail.com

۲. دانشجوی دکتری تغییر اقلیم دانشگاه زنجان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

چکیده

پدیده گردوغبار یکی از بلایای مهم آب و هوایی در بسیاری از کشورهای جهان به‌ویژه در کشورهای واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک در عرض‌های جنب حاره‌ای است. این مطالعه به بررسی و شناسایی الگوی فضایی مکانی هسته‌های گردوغبار استان خوزستان پرداخته است. برای این منظور داده‌های گردوغبار ایستگاه‌های سینوپتیکی استان از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. سپس به منظور بررسی دقیق‌تر هسته‌های گردوغبار، داده‌ها به دوره‌های آماری ۵ ساله تقسیم شدند. سپس برای بررسی الگوی خودهمبستگی فضایی از دو شاخص هات اسپات و موران استفاده شده است. همچنین برای بررسی جهش رخداد گرد و غبارها از نمایه الکساندرسون بهره گرفته شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که رخداد گرد و غبارهای استان خوزستان (محلی و فرامحلی) طی دوره‌های مختلف در بخش‌های غربی و جنوبی شدیدتر بوده است. از طرفی از دوره سوم به بعد رخداد گرد و غبارها به سمت دوره‌های اخیر روند افزایشی قابل محسوس‌تری داشته‌اند. نتایج حاصل تحلیل الگوی خودهمبستگی فضایی هات اسپات بیانگر این است که در دوره نخست تا سوم هسته‌های گردوغبار به‌صورت لکه‌هایی در بخش‌هایی از مرکز، شمال (بخش‌های از صفی‌آباد دزفول) و بخش‌هایی از جنوب و غرب استان خوزستان پراکنده شده است؛ درحالی‌که به سمت دوره‌های اخیر هسته‌های فضایی گرد و غبارها بیشتر بر محور نوار مرزی خوزستان با عراق تمرکز یافته است. نتایج حاصل از تحلیل موران وضعیت مشابهی را نشان می‌دهد. از طرفی الگوی خودهمبستگی فضایی منفی گرد و غبارها بیشتر در بخش‌های شرقی استان یعنی نواحی همجوار با ارتفاعات زاگرس تشکیل خوشه داده است.

کلیدواژه

خودهمبستگی فضایی، شاخص هات اسپات، شاخص موران، گردوغبار، نمایه الکساندرسون.

۱. سرآغاز

خساراتی به تأسیسات آب، برق، مزارع و سلامت بشر می‌شود (خسروی و سلیقه، ۱۳۸۴؛ همتی، ۱۳۷۴؛ دهقان‌پور، ۱۳۸۴ و حیدری، ۱۳۸۶). رخداد این پدیده متأثر از شرایط جوی خاص است که در صورت شناخت چگونگی پیدایش آن می‌توان از آسیب‌ها کاست (احمدی و نظری، ۲۰۱۱ و دهقان و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی خاستگاه تولید گرد و غبار مختلف در منطقه خاورمیانه

امروزه گردوغبار به‌عنوان یکی از پدیده‌های نوظهور از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود که باعث اختلال در زندگی روزمره مردمان سرزمین‌های درگیر این پدیده شده است (راشکی و همکاران، ۱۳۸۶). رخداد طوفان‌های گردوغبار معمولاً با حمل توده‌های عظیم از مواد جامد و معلق همراه است که نشست این مواد باعث

(Wang, 2005)، مدفون ساختن کانال‌ها و آلوده ساختن آب‌های سطحی، ایجاد بارش‌های رنگین، ایجاد اختلال در سیستم حمل‌ونقل، آفت‌زدگی مزارع کشاورزی و باغ‌های میوه (Koren 2006; Zia-Khan et al., 2015)، آلودگی هوا، بروز مشکلات و بیماری‌های تنفسی، شیوع بیماری‌های عفونی و ... از مهم‌ترین عوارض طوفان‌های گردوغباری است (Goudie & Midelton, 2002). از مهم‌ترین شرایط ایجاد گردوغبار در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم وجود رطوبت است؛ به طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت داشته باشد، بارش و طوفان رعدوبرق و اگر فاقد رطوبت باشد طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند (Yarnal, 1993; Hkutile & Alpert, 2005).

مطالعاتی که در ارتباط با فراوانی روزهای گردوغباری کشور ایران انجام گرفته نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی ایران بیشترین تعداد روزهای گردوغباری را دارند. به‌طور مثال در مناطق وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فراوانی وقوع روزهای گردوغباری به بیش از ۱۵۰ روز در سال می‌رسد. در مناطق جنوب‌غربی و غرب کشور، در مجاورت بیابان‌های بزرگی همچون عراق، عربستان، سوریه و ... میانگین روزهای گردوغباری نیز قابل توجه است که فراوانی وقوع آن در مردادماه بیش از ماه‌های دیگر است (علیجانی، ۱۳۷۶). از عوامل مؤثر در تکوین و ایجاد پدیده‌های ناپایدار نیز سرعت باد و جریان‌های شدید لایه زیرین تروپوسفر است (قائمی و عدل، ۱۳۷۱). هنگام طوفان گردوخاک، دید برحسب شدت پدیده در محدوده وسیعی از ۱۰ تا ۱۰۰ متر و ۴ تا ۱۰ کیلومتر تغییر می‌کند. شدت طوفان گردوخاک توسط بقاء آن و کاهش در دید تعیین می‌شود. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی (۱۹۵۵)، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز کرده و دید افقی به علت گردوخاک به کمتر از یک کیلومتر برسد، طوفان گردوخاک گزارش می‌شود.

تاکنون پژوهش‌های فراوانی در زمینه گردوغبارها در دنیا انجام شده است که در اکثر آن‌ها، نحوه انتقال، انتشار،

نشان داد که سهم کشورهای عراق، سوریه، عربستان سعودی، ایران، اردن و ترکیه در تولید طوفان گرد و غبار در خاورمیانه به ترتیب ۳۹/۲، ۲۳، ۱۴/۵، ۱۳/۸، ۵/۷ و ۳/۸ درصد است و کشورهای عراق و سوریه بیش از ۶۰ درصد گرد و غبار منطقه خاورمیانه را تولید می‌کنند (کریمی و همکاران ۱۳۹۰). این کانون‌ها منشأ اصلی گردوغبارهای ورودی به مناطق غرب و جنوب‌غرب کشور هستند (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۴).

رخداد گردوغبار پدیده تازه‌ای نیست؛ اما آنچه امروزه آن را به معضلی زیست‌محیطی در برخی از مناطق کشور از جمله خوزستان تبدیل کرده، شدت و تداوم آن و فعال شدن کانون‌های ریزگرد داخلی است. بیشترین گردوغبار موجود در جو از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نشئت می‌گیرد (Dany 1986). برحسب تداوم زمانی، این پدیده به دو نوع طوفان گردوخاک کوتاه‌مدت (تا نیم ساعت) و طولانی‌مدت (چند ساعت و حتی یک شبانه‌روز) تقسیم می‌شود (Çapraz & Doğan, 2017). به‌طور کلی طوفان گردوخاک به باد شدیدی گفته می‌شود که ذرات ماسه را در هوا با خود حمل می‌کند و آن‌ها را از مکانی به مکان دیگر منتقل می‌کند (Rodopoulou et al., 2014; Maletsika et al., 2015). قطر ذرات ماسه‌های مذکور رابطه مستقیم با سرعت باد دارد، بنابراین بادهای با سرعت بیشتر توان حمل مواد درشت‌تر را دارند (Faridi et al., 2017; Fonts et al., 2017; Wu & Wang, 2015). طوفان گردوخاک معمولاً در نواحی بیابانی که ماسه‌های سست و منفصل وجود دارد، مانند تپه‌های ماسه‌ای که با خاک مخلوط شده باشد، به وجود می‌آید (Leonard et al., 2017, Chaturvedi, 2013). در واقع ایجاد گردوغبار نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین است که در این رابطه نقش فعالیت‌های انسانی را در کنار شرایط طبیعی محیط‌های جغرافیایی باید در نظر گرفت. (Arimoto, 2000). مدفون ساختن مناطق مسکونی در زیر ماسه‌ها، از بین بردن زمین‌های کشاورزی و گسترش نواحی بیابانی

۲. داده‌ها و روش‌شناسی

در این مطالعه، داده‌های گردوغبار ایستگاه‌های سینوپتیکی استان خوزستان به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کشور از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ گرفته شده است. شکل توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. به منظور بررسی تغییرات دقیق‌تر گردوغبار، تغییرات مکانی هسته‌های گردوغبار طی شش دوره (۱۹۹۰-۱۹۸۶، ۱۹۹۵-۱۹۹۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۶، ۲۰۰۵-۲۰۰۱، ۲۰۱۰-۲۰۰۶، ۲۰۱۶-۲۰۱۱) و سه دهه (۱۹۹۵-۱۹۸۶، ۲۰۰۵-۱۹۹۶، ۲۰۱۱-۲۰۰۶) بررسی و تجزیه و تحلیل شد. هم‌چنین، به منظور یافتن داده‌های گردوغبار برخی سال‌های مفقود از روش درون‌یابی کریجینگ ساده استفاده شد. این روش در چندین پژوهش، روش کارای درون‌یابی گزارش شده است (Chipanshi et al., 1999; Cockings et al., 1997; Curic, 1992 & Dore et al., 2006). مسعودیان ۱۳۸۹؛ رضیئی، ۱۳۹۶؛ خسروی و همکاران ۱۳۹۳؛ نصرآبادی و همکاران، ۲۰۱۳). بعد از تشکیل پایگاه داده‌ای، نخست به منظور دستیابی به نمایی کلی از گردوغبارهای استان خوزستان، بعضی از مشخصات توصیفی آن‌ها بررسی شد. در ادامه، به منظور شناسایی جهش‌های حاکم بر گردوغبار خوزستان از روش الکساندرسون بهره گرفته شد. در روش الکساندرسون، میانگین k سال نخست با میانگین $n-k$ سال بعدی مقایسه می‌شود تا آماره $T(K)$ به دست آید (Alexanderson, 1986):

$$T(K) = K \times \bar{Z}_1^2 + (n - K) \times \bar{Z}_2^2 \quad (1)$$

در این فرمول \bar{Z}_1^2 و \bar{Z}_2^2 از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{Z}_1^2 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / S \quad (2)$$

$$\bar{Z}_2^2 = \frac{1}{n-K} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / S$$

که در این رابطه، Y_i مقادیر سری سالانه (از ۱ تا n) میانگین سری S انحراف معیار می‌باشد.

علل سینوپتیکی و آثار مخرب این پدیده بیان شده است. مطالعاتی که در زمینه گردوغبارهای استان خوزستان صورت گرفته، بیشتر به بررسی الگوهای سینوپتیکی، مسیریابی الگوها و فراوانی الگوهای گردوغبار پرداخته است. برای مثال، ذوالفقاری (۱۳۸۴) با تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گردوغبار در غرب ایران مشخص کرد که پرفشار آזור همراه با سامانه‌های مهاجر بادهای غربی مهم‌ترین عوامل سینوپتیک تأثیرگذار بر سامانه‌های گردوغبار منطقه به شمار می‌روند و فرودها و سیکلون‌های مهاجر زمانی به منطقه نفوذ می‌کنند که پرفشار جنب‌حاره‌ای آזור حضور نداشته یا ضعیف شده باشد. عطایی و احمدی (۱۳۸۹) در بررسی علت رخداد طوفان‌های گردوغبار خوزستان در دو فصل سرد و گرم سال را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در فصل گرم سال نیز کم‌فشارهای حرارتی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده می‌شوند در اثر برخورد با کم‌فشارها و پرفشارهای فوقانی اختلاف فشار حاصل شده و خشکی شدید منطقه نیز مزید بر علت شده و پدیده گردوغبار در منطقه شدت می‌یابد. منشأ گردوغبار بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و الگوهای گردشی نشان می‌دهد که پدیده گردوغبار دارای دو کانون اصلی منطقه غرب بغداد و موصل تا بحرالمح و هور العظیم است. در این مطالعات کمتر به تغییرات الگوی مکانی گردوغبارها توجه شده است. بنابراین، در پژوهش حاضر، تغییرات الگوی مکانی (الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت و منفی) گردوغبارها و تغییرات جابجایی فضایی این الگوها (با توجه به تغییرات دوره‌ای الگوی خودهمبستگی فضایی گردوغبارها) طی دوره‌های مختلف بررسی و تجزیه و تحلیل می‌شود. در واقع مزیت این مطالعه، تغییرات دوره‌ای الگوهای فضایی مکانی گردوغبارهای استان خوزستان طی دوره‌های مختلف براساس شاخص‌های خودهمبستگی فضایی بوده است.

جدول ۱. کدهای گردوغبار مورد مطالعه

| توضیحات | نام علمی | کد هواشناسی |
|---|------------------------------|-------------|
| گردوخاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است. | گردوغبار معلق | ۶ |
| گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه و یا در نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است. | گرد و غبار | ۷ |
| گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن | گردباد | ۸ |
| طوفان گرد و خاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه | طوفان | ۹ |
| طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است | طوفان ملایم یا متوسط | ۳۰ |
| طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است | طوفان گردوغبار با ماسه ملایم | ۳۱ |
| طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است | طوفان گردوغبار با ماسه ملایم | ۳۲ |
| طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است | طوفان گردوغبار با ماسه شدید | ۳۳ |
| طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است | طوفان گردوغبار با ماسه شدید | ۳۴ |
| طوفان شدید گردوخاک یا شن - طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است | طوفان گردوغبار با ماسه شدید | ۳۵ |

ابزارهای مفید برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است. نمایه (GI*) میزان همبستگی که ناشی از تمرکز نقاط موزون (یا پهنه‌ای که به وسیله نقاط موزون باشد) و همه نقاط موزونی که در داخل شعاع فاصله‌ی d از نقطه موزون مبدأ باشد، را اندازه‌گیری می‌کند. فرض کنید که پهنه‌ای به n منطقه، $i=1,2,\dots,n$ تقسیم شده باشد و موقعیت هر نقطه با یک سیستم مختصات مکانی (برای نمونه سیستم متریک لامبروت مخروطی) مشخص شده باشد. هر i را یکی از یاخته درون استان خوزستان در نظر گرفته شده است. همچنین فرض کنید که هر کدام از نقاط طوری در فضا پراکنده شده‌اند که فاصله و مرز یکسانی از همدیگر دارند. اگر نقاط مستقل از همدیگر باشند، هیچ ساختار فضایی مشخصی در آنجا وجود ندارد. به بیانی دیگر استقلال نقاط از همدیگر نشانگر نبود خودهمبستگی فضایی است؛ اما برخلاف آن همیشه درست نیست. در هر حال آزمون خودهمبستگی فضایی معیار مناسبی برای ارزیابی وابستگی نقاط به حساب می‌آید. معمولاً اگر خودهمبستگی فضایی برای یک سنجه جوی (گردوغبار، بارش یا دما و غیره) در منطقه‌ای وجود داشته باشد خود را به صورت مشابهت‌های مقادیر آن سنجه مورد نظر در نقاط مجاور نشان خواهد

آماره آزمون جهت رد فرض صفر بدین صورت تعریف می‌شود:

$$T_o = \max(T(K)) = \max(\bar{Z}_1^2 + (n - K)\bar{Z}_2^2) \quad (3)$$

$$1 \leq k \leq n - 1$$

اگر T_o بزرگتر از یک سطح بحرانی مشخص باشد، می‌گوییم فرض صفر در سطح معناداری مورد نظر رد شده است. کدهای گردوغبارهای مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

در ادامه این مطالعه به منظور بررسی و تحلیل الگوی فضایی گردوغبارهای استان خوزستان از دو شاخص موران و هات اسپات استفاده شده است. ابزار آمار خودهمبستگی فضایی یکی از کاربردی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای تحلیلی برای تحقیق درباره داده‌های فضایی است. این تحلیل نه تنها به خودی خود اطلاعات مفیدی درباره ارتباط درونی عوارض به دست می‌دهد؛ بلکه نتایج آن برای بسیاری از تحلیل‌های پیچیده‌تر آماری نیز استفاده می‌شود. آخرین ابزاری که در زمینه تحلیل الگوهای پراکنش و توزیع عوارض و پدیده‌ها در فضا و مکان توضیح داده می‌شود، تحلیل خود همبستگی فضایی است که به آماره موران I (Moran s) نیز معروف است. تحلیل خوشه و ناخوشه که به شاخص انسلین موران (I) نیز شناخته می‌شود از

شده است (جدول ۲). میانگین مجموع رخداد گردو غبارها طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ به ۱۱۹۸ روز رسیده است (جدول ۱). البته این تعداد رخداد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده است به طوری که ضریب تغییرات بالای ۵۸ درصد تأییدی بر این ادعاست. همچنین نمایه‌های مرکزی (میانگین، میانه، مد) اختلاف زیادی باهم دارد که این بیانگر ناهمگون بودن توزیع رخداد گردو غبار در سطح استان است. اختلاف دامنه چارکی، تأییدی بر ناهمگون بودن و نایک‌نواخت بودن توزیع رخداد گردو غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان است (جدول ۲). چولگی و کشیدگی یکی دیگر از معیارهای توزیع عدم یکنواختی رخداد گردو غبار در سطح استان است. در صورتی که کشیدگی مثبت باشد، برآمدگی منحنی توزیع نمره‌ها در نقطه اوج قرار خواهد گرفت. در شکل توزیع مسطح که کشیدگی منفی دارد، نمرات دور از هم قرار دارند و واریانس زیاد است. در مقیاس سالانه کشیدگی رخداد گردو غبارها به ۲/۹ رسیده که بیانگر ناهمگن بودن و غیرنرمال بودن توزیع رخداد گردو غبار در سطح استان است (جدول ۱).

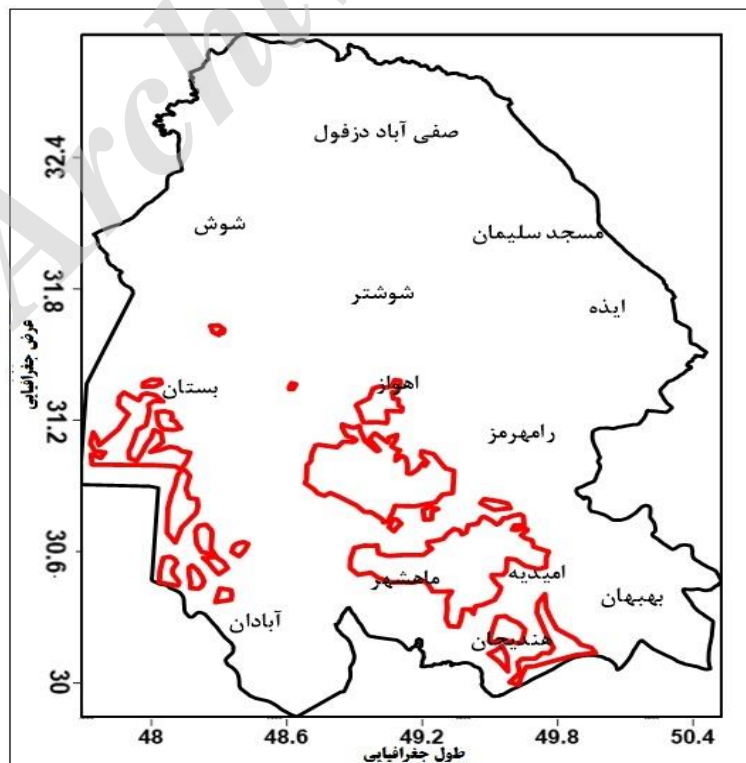
داد. گیتس و آرد در سال ۱۹۹۲ آماره G و G^* را شاخصی برای اندازه‌گیری ارتباط فضایی در حالت‌های متعدد پیشنهاد کردند. آماره $Gi(d)$ بر پایه رابطه زیر محاسبه می‌شود (آرد و گیتس، ۱۹۹۵):

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j} \quad j \neq i \quad (4)$$

که در آن $w_{ij}(d)$ متناسب با ماتریس وزن فضایی یک یا صفر خواهد بود. عبارت یاد شده در صورتی یک خواهد بود که نقطه مورد نظر در داخل فاصله (d) که برای نقطه i در نظر گرفته شده است، باشد. در غیر این صورت اگر در خارج از شعاع دایره مورد نظر باشد، وزن صفر به آن تعلق خواهد گرفت. در نمایه G ارتباط هر نقطه با خودش نیز صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳. ارزیابی نتایج و بحث و بررسی

نخست در رابطه با تحلیل الگوی خودهمبستگی فضایی گردو غبارهای استان خوزستان، به منظور نشان دادن نمای کلی از وضعیت گردو غبار استان، مشخصات مکانی فراوانی مجموع گردو غبار طی دوره‌های مختلف آورده



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه و کانون‌های محلی گردو غبار (سازمان زمین‌شناسی کشور)

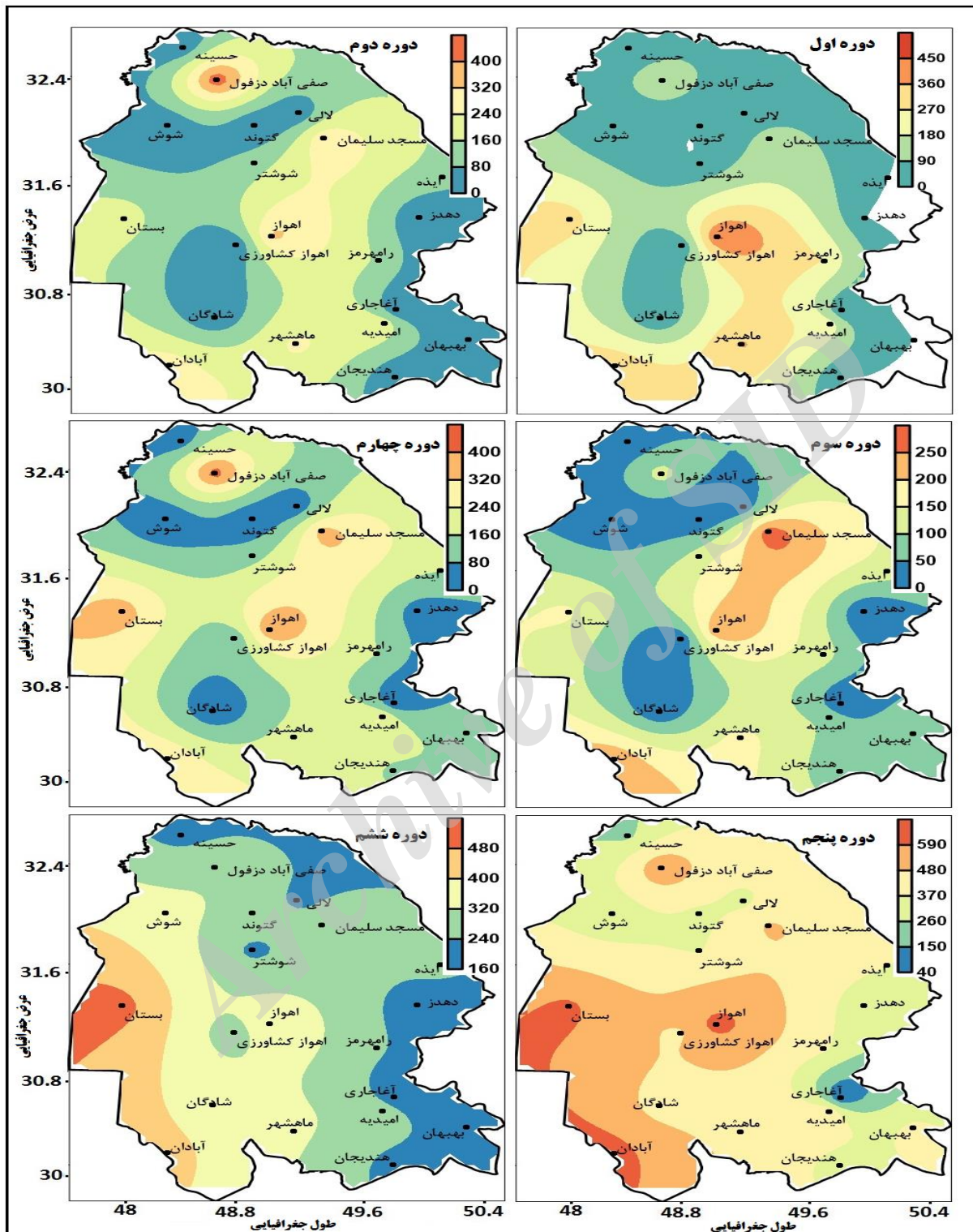
جدول ۱. مشخصات مکانی فراوانی مجموع گردوغبار طی دوره‌های مختلف در استان خوزستان

| سالانه | دوره ۱ | دوره ۲ | دوره ۳ | دوره ۴ | دوره ۵ | دوره ۶ | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| ۱۱۹۸/۷ | ۲۹۰/۶ | ۲۳۱/۷ | ۱۵۵/۱ | ۲۱۶ | ۴۰۹/۵ | ۲۹۸/۵ | میانگین |
| ۹۴۲ | ۲۹۴ | ۲۲۲ | ۱۲۵/۵ | ۱۶۳ | ۳۹۳/۵ | ۲۷۶/۵ | میانه |
| ۱۸۶ | ۱۳۴ | ۶۰ | ۱۲۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۱۶۱ | مد |
| ۷۰۲ | ۱۱۱/۶ | ۱۱۹/۴ | ۶۹/۷ | ۱۳۵ | ۱۴۸/۵ | ۸۸/۳ | انحراف معیار |
| ۵۸/۶ | ۳۸/۴ | ۵۱/۵ | ۴۵ | ۶۲/۸ | ۶۳/۳ | ۳۰/۴ | ضریب تغییرات |
| ۱/۵ | ۱ | ۱/۵ | ۱/۷ | ۳ | -/۵ | ۱/۸ | چولگی |
| ۱/۹ | ۲/۱ | ۲/۶ | ۲/۲ | ۱/۹ | ۳/۶ | ۳/۲ | کشیدگی |
| ۲۵۰۲ | ۴۷۳ | ۴۷۲ | ۲۸۳ | ۴۵۲ | ۶۴۰ | ۵۱۳ | بیشینه |
| ۱۸۶ | ۱۳۴ | ۶۰ | ۶۳ | ۲۰ | ۲۵ | ۱۶۱ | کمینه |
| ۶۴۸ | ۲۰۲/۵ | ۱۲۸ | ۱۱۲ | ۱۳۲/۵ | ۳۳۰ | ۲۲۰ | چارک اول |
| ۲۳۹۶ | ۴۷۳ | ۴۶۵ | ۲۷۹/۷ | ۴۳۸/۸ | ۶۳۹ | ۴۷۲ | چارک سوم |

(۲۰۰۱-۲۰۰۵) میانگین رخداد گردو غبارها نسبت به دوره قبل تقریباً ۵۰٪ افزایش داشته با وجود این، همانند دوره‌های قبل ضریب تغییرات مکانی گردو غبارها بسیار بالا بود تا جایی که نسبت به دیگر دوره‌ها ضریب تغییرات مکانی گردوغبار در این دوره به بالاترین مقدار خود یعنی ۶۲ درصد رسیده است.

در دوره پنجم (۲۰۰۶-۲۰۱۰) میانگین رخداد گردوغبارها جهش چشمگیری داشته است. این در حالی است که میانگین رخداد گردوغبارها در این دوره به ۴۰۹٪ روز رسیده است با وجود اینکه بالاترین میانگین رخداد گردوغبارها در این دوره رخ داده است، کمترین ضریب تغییرات مکانی مربوط به همین دوره است. حداکثر رخداد گردوغبار ۴۵۲ روز بوده است. میانگین رخداد گردو غبارها در دوره ششم (۲۰۱۱-۲۰۱۵) نسبت به دوره پنجم کاهش محسوسی را تجربه کرده است؛ اما نسبت به پنج دوره دیگر افزایش چشمگیری را داشته است (جدول ۱). با این حال سیر کلی رخداد گردوغبارها نسبت به دوره‌های اخیر سیر افزایشی داشته است. به منظور بررسی و تحلیل دقیق‌تر گردوغبارها نقشه مجموع رخداد گردوغبارها طی دوره‌های مختلف در شکل ۲ آمده است.

بررسی تغییرات دوره‌ای گردوغبار بیانگر این است که در دوره نخست (۱۹۸۶-۱۹۹۰) میانگین مجموع رخداد گردوغبار در سطح استان در این دوره در ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۲۹۰٪ روز رسیده است. با وجود این مقدار متوسط، تغییرات بسیاری داشته است. به طوری که انحراف معیار ۸۸٪ روز و ضریب تغییرات ۳۸٪ درصد تأییدی بر این گفته است (جدول ۱). در دوره دوم (۱۹۹۱-۱۹۹۵) مجموع گردوغبار کاهش چشمگیری داشته است به طوری که مجموع رخداد گردوغبارها در دوره دوم به ۲۳۱٪ روز رسیده است. با وجود اینکه از تعداد رخداد گردو غبارها کاسته شده است اما ضریب تغییرات مکانی گردو غبارها در این دوره بیشتر شده است به طوری که ضریب تغییرات در دوره دوم (۱۹۹۱-۱۹۹۵) به بالای ۵۸٪ درصد رسیده است. همچنین در این دوره اختلاف نمایه‌های مرکزی کاملاً مشهود بوده است که بیانگر افت خیز بالای توزیع گردو غبارها در سطح استان است (جدول ۱). در دوره سوم (۱۹۹۶-۲۰۰۰) میانگین رخداد گردوغبار به حداقل مقدار خود طی شش دوره رسیده به طوری که میانگین رخداد گردوغبار در این دوره ۱۵۵٪ روز است. ضریب کشیدگی ۲/۶٪ تأییدی دیگر بر یکنواخت نبودن توزیع رخداد گردوغبارهای استان است. در دوره چهارم



شکل ۲. مجموع فراوانی رخداد گردوغبار طی دوره‌های مختلف در استان خوزستان

دوره نخست بیشینه رخداد گردوغبارها در این دوره با ۴۰۰ روز در بخش‌های مرکزی استان یعنی اهواز مشاهده شده است. حداقل رخداد گردوغبار با کمتر از ۸۰ روز در

توزیع مکانی رخداد گردوغبارها طی دوره‌های مختلف بیانگر این است که بیشینه رخداد گردوغبارها در دوره‌های مورد مطالعه جابه‌جایی مکانی داشته است. برای مثال در

در دوره چهارم بیشینه رخداد گردوغبار در بخش‌هایی از اهواز، مسجدسلیمان و صفی‌آباد دزفول مشاهده شده است. در این دوره تقریباً ۳۰ درصد از سطح استان دارای رخداد گردوغبار بین ۳۰۱ تا ۴۰۰ روز بوده است و تنها ۷/۴ درصد از مساحت استان رخداد گردوغباری بالاتر از ۴۰۰ روز را تجربه کرده است. همان طوری که در بخش مشخصات توصیفی اشاره شده است رخداد گردوغبار در این دوره به بالاترین مقدار خود رسیده است به طوری که در این دوره بالای ۹۵ درصد از مساحت استان رخداد گردوغبار بالاتر از ۴۰۰ روز را تجربه کرده است (جدول ۳). بیشینه رخداد گردوغبار در نیمه غربی استان مشاهده شده است و کمینه آن در بخش‌های شرقی استان مشاهده شده است. در این دوره در بخش‌های شرقی استان یعنی مجاورت با کوه‌های زاگرس رخداد گردوغبارها به کمتر از ۱۲۰ روز رسیده است این در حالی است که در نیمه غربی استان رخداد گردوغبارها به بالای ۴۰۰ روز هم رسیده است که این بیانگر توزیع مکانی بالای رخداد گردوغبارها در این دوره در سطح استان است (شکل ۲).

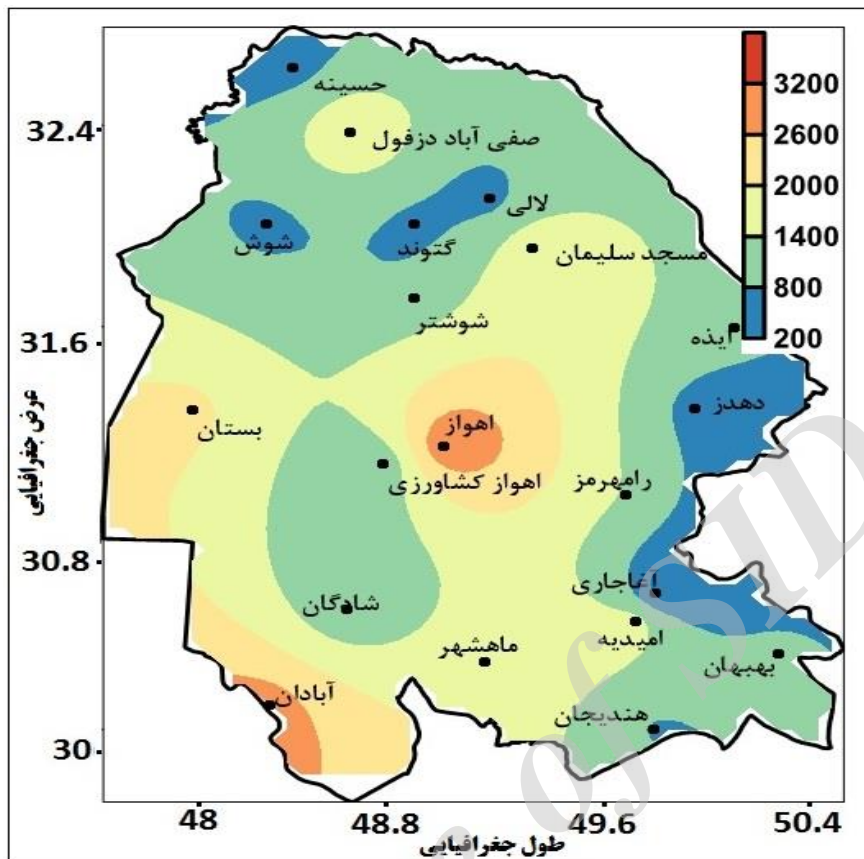
بخش‌های شمالی استان و همچنین بخش‌هایی از شادگان و بهبهان مشاهده شده است. دوره دوم (۱۹۹۱-۱۹۹۵) تقریباً وضعیتی مشابه با دوره نخست را تجربه کرده است با این تفاوت که بیشینه هسته رخداد گردوغبارها در این دوره در بخش‌های شمالی استان یعنی صفی‌آباد دزفول مشاهده شده است (شکل ۲). با وجود این کمینه رخداد گردوغبار در این دوره همانند دوره نخست در بخش‌های شرقی استان مشاهده شده است.

در این دوره بیشتر مساحت استان دارای رخداد گردوغباری بین ۲۰۱ تا ۳۰۰ روز بوده است. این در حالی است که در دوره نخست بیشتر مساحت استان یعنی ۴۳/۷ درصد دارای رخداد گردوغباری کمتر از ۲۰۰ روز بوده است (جدول ۳).

در دوره سوم بیشینه رخداد گردوغبار نسبت به دو دوره قبل تغییرات مکانی داشته است به طوری که در دوره سوم بیشینه رخداد گردوغبارها در نیمه غربی استان یعنی بخش همسایگی عراق مشاهده شده است (شکل ۲). در این دوره همانند دوره نخست بیشتر مساحت استان دارای رخداد گردوغباری کمتر از ۲۰۰ روز بوده است (جدول ۳).

جدول ۲. درصد طبقات رخداد گردوغبار طی دوره‌های مختلف

| ۱۹۹۱-۱۹۹۵ | | ۱۹۸۶-۱۹۹۰ | |
|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| درصد پوشش | طبقات میانگین به روز | درصد پوشش | طبقات میانگین به روز |
| ۳۵/۲ | >۲۰۰ | ۴۳/۷ | >۲۰۰ |
| ۴۲/۴ | ۲۰۱-۳۰۰ | ۲۴/۹ | ۲۰۱-۳۰۰ |
| ۲۰/۹ | ۳۰۱-۴۰۰ | ۲۲/۶ | ۳۰۱-۴۰۰ |
| ۱/۵ | <۴۰۰ | ۸/۸ | <۴۰۰ |
| ۲۰۰۱-۲۰۰۵ | | ۱۹۹۶-۲۰۰۰ | |
| ۱۹/۳ | >۲۰۰ | ۵۲/۸ | >۲۰۰ |
| ۴۲/۸ | ۲۰۱-۳۰۰ | ۳۹/۲ | ۲۰۱-۳۰۰ |
| ۳۰/۵ | ۳۰۱-۴۰۰ | ۷/۹ | ۳۰۱-۴۰۰ |
| ۷/۴ | <۴۰۰ | ۰ | <۴۰۰ |
| ۲۰۱۶-۲۰۱۱ | | ۲۰۰۶-۲۰۱۰ | |
| ۰ | >۲۰۰ | ۰/۲ | >۲۰۰ |
| ۲/۹ | ۲۰۱-۳۰۰ | ۱ | ۲۰۱-۳۰۰ |
| ۴۶/۳ | ۳۰۱-۴۰۰ | ۴/۵ | ۳۰۱-۴۰۰ |
| ۵۵/۸ | <۴۰۰ | ۹۴/۵ | <۴۰۰ |



شکل ۳. توزیع فراوانی سالانه گردوغبار در استان خوزستان

جدول ۴. درصد طبقات رخداد گردوغبار طی دوره‌های مختلف

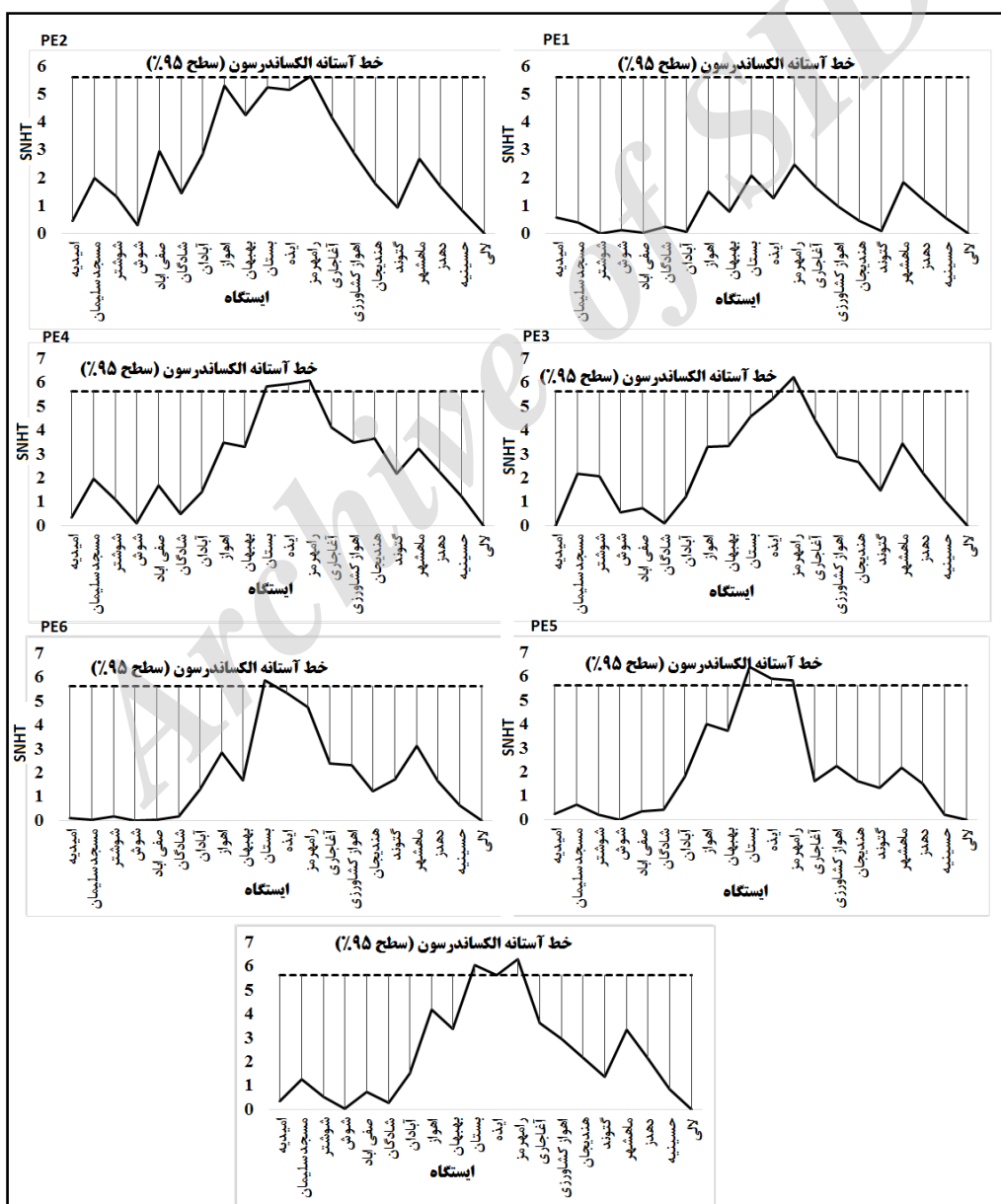
| درصد پوشش | طبقات میانگین به روز |
|-----------|----------------------|
| ۵۸ | >۷۰۰ |
| ۴۸/۶ | ۷۰۱-۱۴۰۰ |
| ۳۵/۶ | ۱۴۰۱-۲۱۰۰ |
| ۱۰/۱ | <۲۱۰۰ |

همجوار با ارتفاعات زاگرس از کمترین نواحی رخداد گردو غبارها بوده است. همان طوری که در بخش مشخصات توصیفی اشاره شده است، رخداد گردو غبارها از دوره سوم به بعد تغییرات چشمگیری داشته است، به طوری که از این دوره به بعد روند افزایشی رخداد گردو غبارها مشهود بوده است. به منظور شناسایی جهش میانگین گردو غبارها در این مطالعه از روش الکساندرسون بهره گرفته شده است

وضعیت رخداد گردوغبار در دوره ششم تقریباً وضعیتی مشابه با دوره پنجم را تجربه کرده است، با این تفاوت که در این دوره از رخداد گردو غبارها نسبت به دوره پنجم کاسته شده است. در این دوره، بیشینه رخداد گردوغبارها در نواحی مرزی مجاور کشور عراق مشاهده شده است. در مجموع در مقیاس سالانه نواحی مرزی و بخش‌هایی از اهواز دارای بیشینه رخداد گردوغبار بوده است و بخش‌های نواحی مجاور خلیج فارس و بخش‌های

شده است. در دوره ششم جهش رخداد گردوغبار تنها در ایستگاه بستان (نیمه غربی استان) رخ داده است. در مجموع در مقیاس سالانه جهش میانگین بر اساس اماره الکساندرسون در ایستگاه آغاچاری و ایذه مشاهده شده است و در دیگر ایستگاه‌ها رخداد گردوغبار فاقد جهش معناداری بوده است (شکل ۴). بنابراین نتایج حاصل اماره الکساندرسون تأیید دیگری بر رخداد جهش میانگین از دوره سوم به بعد است.

(شکل ۴). در این شکل خط‌چین بیانگر آستانه بحرانی الکساندرسون است به این معنی که اگر اماره الکساندرسون از این خط عبور کند، جهش میانگین رخ داده است. براساس شکل ۴ در دوره نخست و دوم در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها جهش میانگین در رخداد گردوغبارها رخ نداده است. در دوره سوم جهش رخداد گردوغبارها در ایستگاه رامهرمز مشاهده شده است. در دوره چهارم و پنجم جهش میانگین گردوغبارها در ایستگاه آغاچاری و ایذه مشاهده



شکل ۴. نمایه الکساندرسون برای گردوغبار طی دوره‌های مختلف در استان خوزستان

تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z کوچک‌تر باشد، به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و این‌ها در حقیقت الگوی خودهمبستگی فضایی منفی را نشان می‌دهند.

بررسی نقشه الگوی خودهمبستگی فضایی رخداده گردو غبارها در دوره نخست (۱۹۸۶-۱۹۹۰) نشان می‌دهد که براساس شاخص GI^* رخداده گردو غبارها بیشتر در بخش‌های مرکزی، بخش‌های مرزی یعنی غربی استان و بخش‌هایی از جنوب یعنی ماهشهر و آبادان تشکیل الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت (الگوی خوشه‌ای بالا) را داده است (شکل ۵). این در حالی است که شاخص موران هم چنین وضعیتی را نشان می‌دهد. براساس هر دو روش موران و شاخص GI^* بخش‌هایی از شرق منطقه مورد مطالعه یعنی نواحی همجوار با کوه‌های زاگرس و بخش‌هایی از شمال استان رخداده گردو غبارها از الگوی خوشه‌ای پایین (الگوی خودهمبستگی فضایی منفی) برخوردار بوده است. که این وضعیت را می‌توان ناشی از ارتفاعات زاگرس دانست و همچنین دور بودن از منبع گردو غبارها نسبت داد. با وجود این در دوره (۱۹۸۶-۱۹۹۰) هسته‌های خوشه‌ای گردو غبار بیشتر در مرکز و بخش‌های غربی استان متمرکز است (شکل ۵). در دوره دوم الگوهای فضایی حاکم بر رخداده گردو غبارها برخلاف دوره نخست در سراسر استان به صورت هسته‌های کوچکی پراکنده شده‌اند. در این دوره رخداده گردو غبارها در شهرهای اهواز (بخش‌های مرکزی استان)، بخش‌هایی از مسجدسلیمان، صفی‌آباد دزفول (بخش‌های شمالی استان) و بخش‌هایی از ماهشهر و آبادان (بخش‌های جنوبی استان) الگوی خوشه‌ای بالایی دارد. به طوری که وسعت الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت در این دوره (۱۹۹۱-۱۹۹۵) بر اساس شاخص موران و GI^* به ترتیب ۱۷/۴۵ و ۲۳ درصد رسیده است (جدول ۵ و ۶). همانند دوره نخست الگوی خودهمبستگی فضایی منفی گردو غبارهای استان در

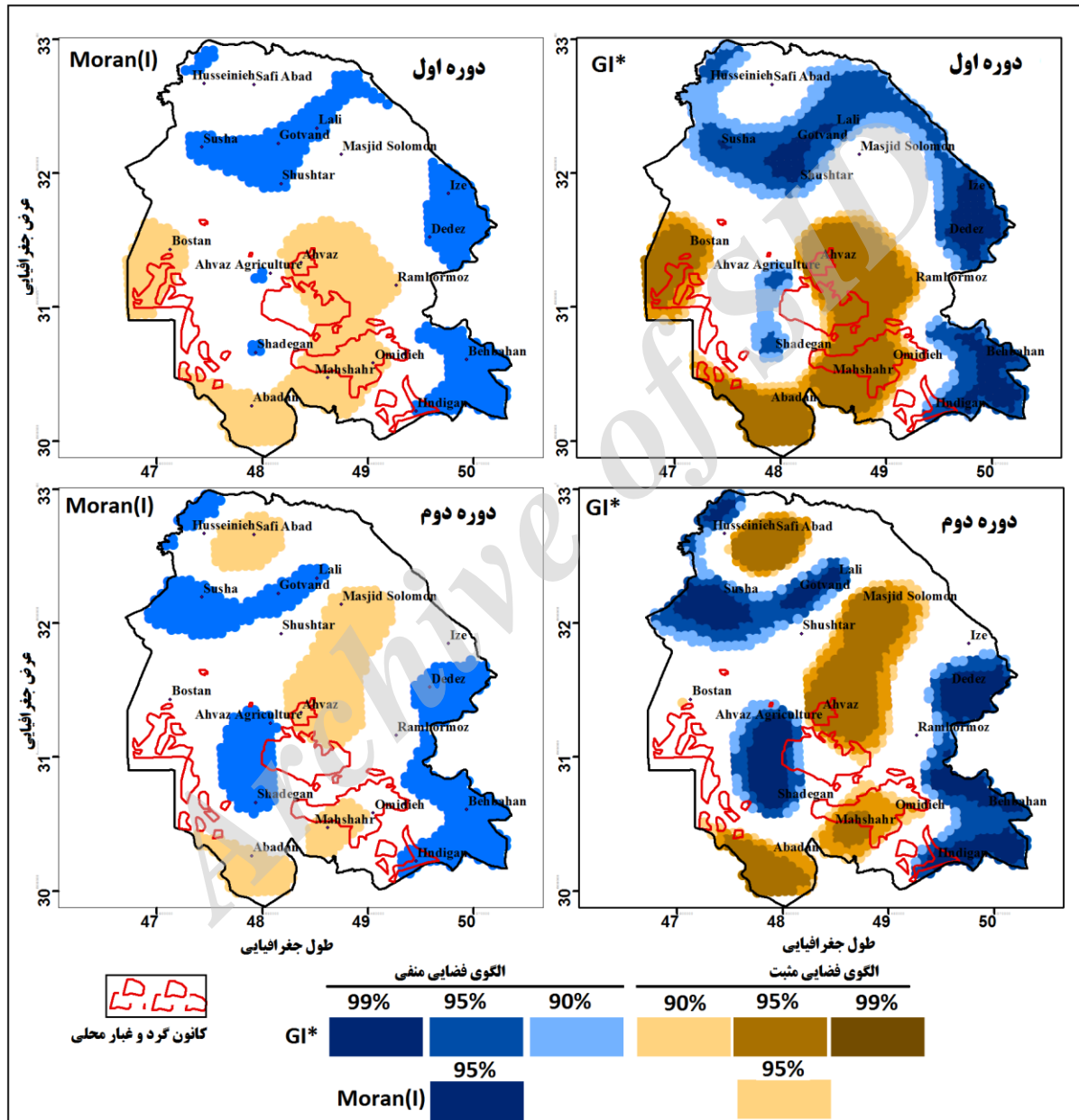
۴. تحلیل الگوی خودهمبستگی فضایی رخداده گردو غبارها

برای نشان دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر توزیع رخداده گردو غبارهای استان خوزستان، طی دوره‌های مختلف از شاخص موران محلی استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که آیا رخداده گردو غبارها به صورت تصادفی، پراکنده یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند. اگر مقدار I مثبت باشد، بدین معناست که رخداده گردو غبارها، توسط عوارض مشابه خود احاطه شده‌اند. بنابراین رخداده گردو غبارها بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد به معنای آن است که رخداده گردو غبارها توسط عوارض نامشابه محاصره شده است. این نوع عارضه در حقیقت ناخوشه نامیده می‌شود. این شاخص در چارچوب امتیاز استاندارد محاسبه شده و سطح معناداری آن قابل تفسیر و تحلیل است. در این ابزار، HH بیانگر خوشه‌های مقادیر زیاد یا خود همبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد اطمینان، LL بیانگر خوشه‌های مقادیر کم یا خود همبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد اطمینان، HL نشانگر ناخوشه‌ای بودن است که در آن مقدار زیادی توسط مقادیر کم محاصره شده‌اند و LH تک سلول‌هایی که در آن عارضه دارای مقدار کم، توسط عوارض دارای مقادیر زیاد محاصره شده‌اند و از نظر آماری معنادار (سطح ۵ درصد) هستند.

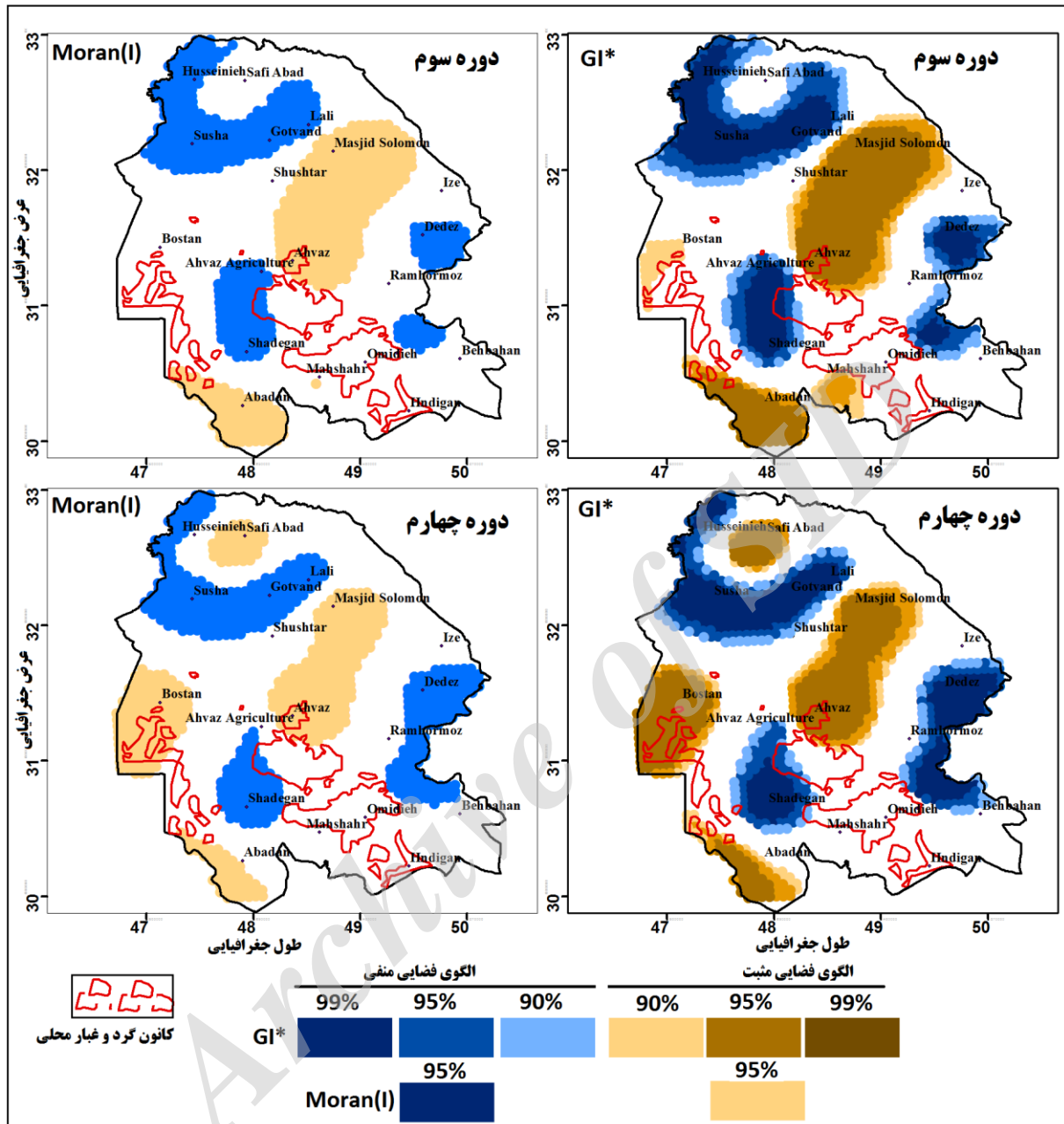
شکل ۵ (سمت چپ) تغییرات درون دهه‌ای خودهمبستگی فضایی الگوی خوشه‌ای بارش را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. به منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش بالا و پایین از شاخص GI استار یا هات اسپات استفاده شده است که نتایج آن در شکل ۵ (سمت راست) ارائه شده است. آماره GI که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت

مساحت استان الگوی حاکم بر رخداد گردوغبارها تصادفی است، به طوری که تقریباً ۴۸ درصد از مساحت استان، الگوی تصادفی دارد (جدول ۶).

بخش‌ها جنوب شرقی استان مشاهده شده است. به علاوه در این دوره، الگوی خوشه‌ای پایین در بخش‌هایی از شادگان، اهواز، شوش و گتوند مشاهده شده است (شکل ۵). با وجود این در این دوره همانند دوره نخست در بیشتر



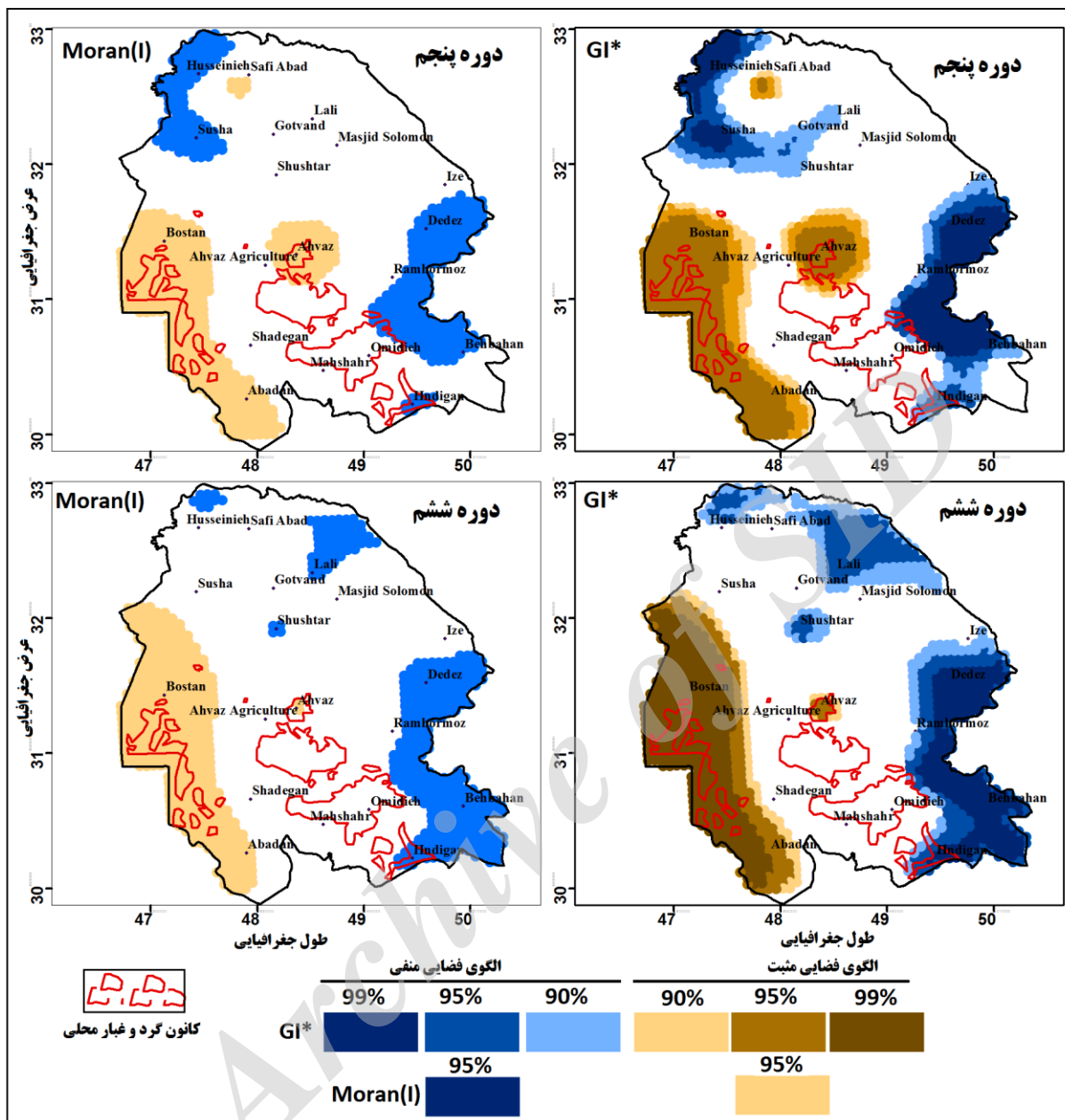
شکل ۵. الگوی خودهمبستگی فضایی گردوغبارهای استان خوزستان در دوره‌های مختلف



ادامه شکل ۵. الگوی خودهمبستگی فضایی گردوغبارهای استان خوزستان در دوره‌های مختلف

دوره دوم که الگوی خوشه‌ای پایین بیشتر در جنوب شرق استان متمرکز بوده است؛ در این دوره الگوی خودهمبستگی فضایی منفی استان بیشتر در بخش‌های شمالی استان یعنی حسینه، شوش، لالی و گتوند مشاهده شده است. این الگوها به صورت لکه‌های ناچیزی در جنوب شرق استان بیشتر در شهرهای دهدز و امیدیه مشاهده شده است (شکل ۵).

وضعیت الگوی حاکم بر رخداد گردوغبارهای استان در دوره سوم (۱۹۹۶-۲۰۰۰) تقریباً وضعیتی مشابه با دوره نخست دارد با این تفاوت که در این دوره الگوی حاکم بر بخش‌های شمال استان به خصوص صفی آباد دزفول الگوی تصادفی است. این در حالی است که در دوره قبل الگوی حاکم بر رخداد گردوغبارهای صفی آباد دزفول، الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت بوده است. از طرفی برخلاف



ادامه شکل ۵. الگوی خودهمبستگی فضایی گردوغبارهای استان خوزستان در دوره‌های مختلف

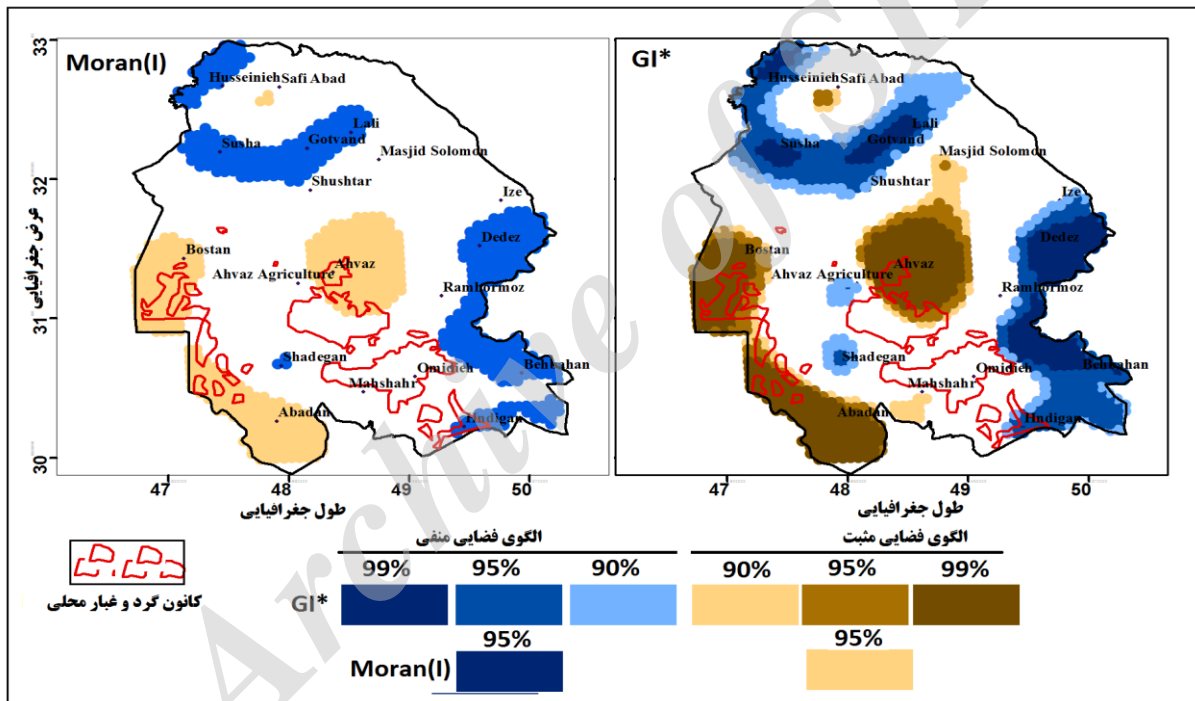
(جدول‌های ۵ و ۶). در این دوره الگوی خودهمبستگی فضایی منفی (الگوی خوشه‌ای پایین) به صورت لکه‌هایی در بخش‌هایی از شادگان، شوش، گتوند و همچنین بخش‌های ناچیزی از جنوب شرقی استان مشاهده شده است (شکل ۵).

به سمت دوره‌های اخیر الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت و منفی تقریباً به‌طور کامل تغییر مکان داده است به طوری که در دوره پنجم الگوی خودهمبستگی فضایی

وضعیت الگوی حاکم بر گردوغبار در دوره چهارم (۲۰۰۱-۲۰۰۵) تقریباً وضعیتی مشابه با دوره سوم را تجربه کرده است با این تفاوت که در این دوره از شدت الگوی خوشه‌ای بالا در نواحی مرکزی استان کاسته شده است و بر عکس بر شدت الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت نواحی غربی به‌ویژه بستان افزوده شده است. با وجود این در دوره حاضر الگوی خودهمبستگی فضایی منفی تقریباً در ۲۴ درصد از مساحت استان گسترش یافته است

وضعیت الگوی خودهمبستگی فضایی گردو غبارها در مقیاس سالانه تقریباً از الگوی حاکم بر گردو غبارهای دوره پنجم و ششم تبعیت می‌کند. در مقیاس سالانه الگوی حاکم بر گردو غبارهای استان در بخش‌های مرزی و بخش‌هایی از اهواز تشکیل الگوی خوشه‌ای بالا داده است و نواحی جنوب شرقی و بخش‌هایی از شمال استان به‌ویژه حسینه از الگوی خوشه‌ای پایین (الگوی خودهمبستگی فضایی منفی) برخوردار بوده است (شکل ۶).

مثبت براساس هر دو شاخص هات اسپات (GI*) و موران الگوی خوشه‌ای بالا در بخش‌های مرزی استان یعنی شهرهای آبادان، بستان و بخش‌هایی از اهواز تشکیل شده است و بر عکس الگوی خوشه‌ای پایین بیشتر به نواحی جنوب شرقی و شمال استان محدود شده است. در این دوره الگوی خوشه‌ای بالا تقریباً در ۲۱ درصد از سطح استان گسترش یافته است. این در حالی است که الگوی خوشه‌ای پایین ۱۳ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است (شکل ۵).



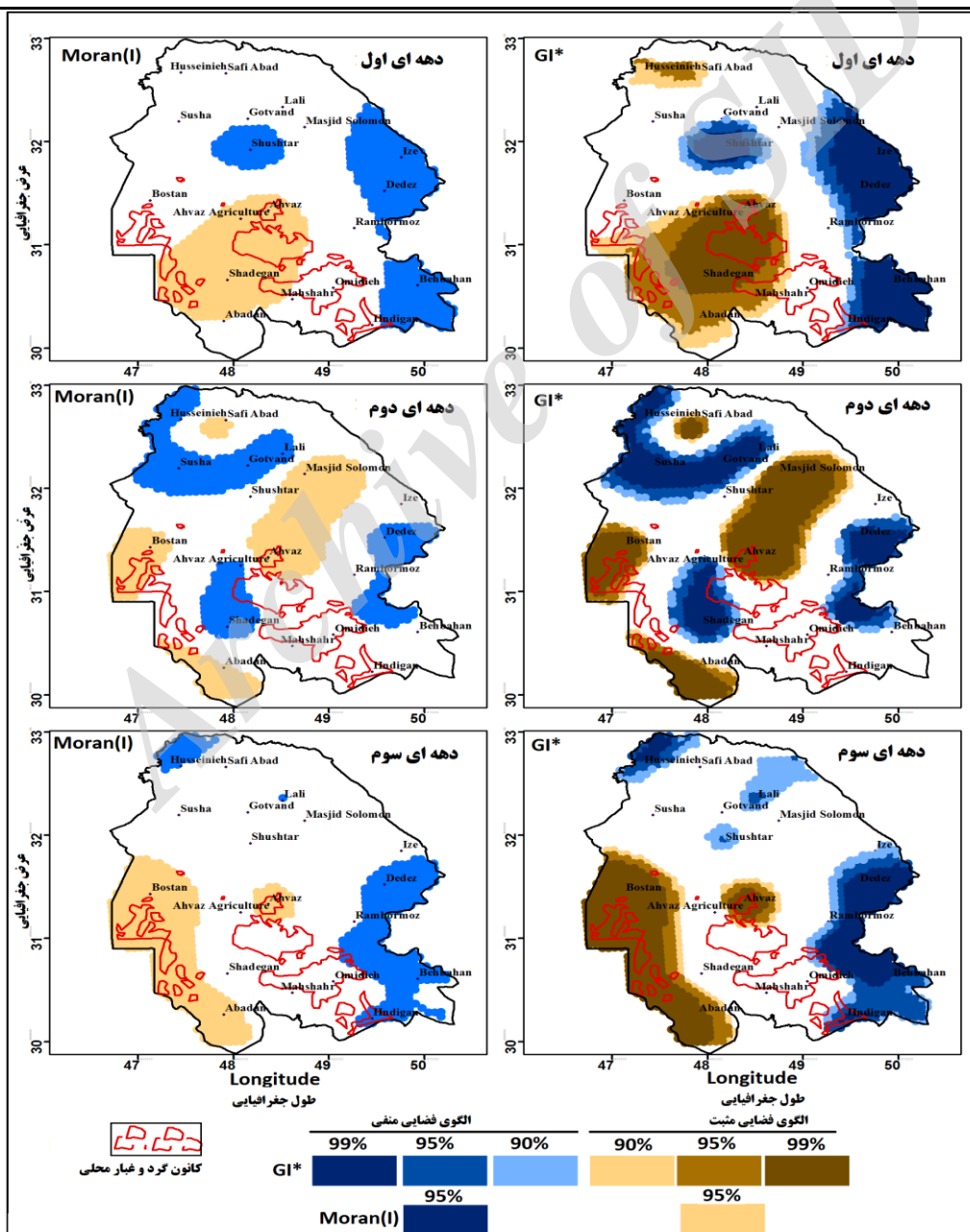
شکل ۶. الگوی خودهمبستگی فضایی سالانه گردو غبارهای استان خوزستان در دوره‌های مختلف

جدول ۵. درصد مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی براساس شاخص موران

| دوره | خودهمبستگی فضایی مثبت | خودهمبستگی فضایی منفی |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| دوره ۱ | ۲۱/۹۵ | ۱۷/۱ |
| دوره ۲ | ۱۷/۴۵ | ۲۱/۳۲ |
| دوره ۳ | ۱۶/۹۸ | ۱۸ |
| دوره ۴ | ۱۷/۸۸ | ۱۸/۷۸ |
| دوره ۵ | ۱۶/۹ | ۱۳/۴۲ |
| دوره ۶ | ۱۶/۹۴ | ۱۶/۲۴ |
| سالانه | ۱۶/۱۲ | ۱۶/۰۸ |

جدول ۶. درصد مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی براساس شاخص GI*

| خودهمبستگی مثبت | | | فاقد الگو | خودهمبستگی منفی | | | |
|-----------------|-------|-----|-----------|-----------------|-------|-------|--------|
| %۹۰ | %۹۵ | %۹۹ | | %۹۰ | %۹۵ | %۹۹ | |
| ۱۸/۲۳ | ۸/۴۹ | ۴۳ | ۴۰/۴۹ | ۸/۸ | ۱۵/۳۸ | ۸/۱ | دوره ۱ |
| ۱۳/۳۴ | ۱۰/۴۵ | ۵۱ | ۴۷/۳۰ | ۴/۱۵ | ۹/۳۵ | ۱۴/۹۱ | دوره ۲ |
| ۱۴/۴۴ | ۸/۲۶ | ۵۹ | ۴۹/۲۶ | ۵/۲۸ | ۸/۱ | ۱۴/۰۸ | دوره ۳ |
| ۱۴/۳۶ | ۸/۲۲ | ۳۹ | ۵۲/۱۹ | ۳/۹۱ | ۶/۶۹ | ۱۴/۲۴ | دوره ۴ |
| ۱۳/۸۵ | ۸/۰۲ | ۵۹ | ۵۵/۳۲ | ۶/۰۶ | ۵/۴۸ | ۱۰/۶۸ | دوره ۵ |
| ۱۴/۳۲ | ۷/۲۰ | ۲۷ | ۵۱/۰۲ | ۶/۳۸ | ۱۰/۶۸ | ۱۰/۱۳ | دوره ۶ |
| ۱۳/۳۸ | ۷/۹۴ | ۳۹ | ۵۱/۰۶ | ۶/۳ | ۱۱/۰۷ | ۹/۸۶ | سالانه |



شکل ۷. الگوی خودهمبستگی فضایی دهه‌های گردوغبارهای استان خوزستان

GI* الگوی خوشه‌ای پایین به صورت لکه‌هایی در شادگان، بخش‌های جنوبی اهواز، شوش، گتوند و بخش‌هایی از حسینیه مشاهده شده است (شکل ۶). در این دوره الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت براساس شاخص GI* در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد در ۲۳ درصد از سطح استان گسترش یافته است (جدول ۶). در دهه سوم وضعیت الگوهای خودهمبستگی فضایی گردو غبارهای استان تقریباً وضعیتی مشابه با الگوی فضایی سالانه و دوره ششم (۲۰۱۱-۲۰۱۶) را تجربه کرده است به طوری که در این دهه الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت (الگوی خوشه‌ای بالا) بیشتر در نواحی مرزی استان در همسایگی کشور عراق تمرکز یافته است و الگوی خوشه‌ای پایین در بخش‌های جنوب شرقی در امتداد کوه‌های زاگرس گسترش یافته است که تقریباً از الگوی سالانه گردو غبارهای استان تبعیت می‌کند. با وجود این در این دوره (۲۰۰۶-۲۰۱۶) الگوی خوشه‌ای بالا براساس شاخص موران در ۱۸ درصد از مساحت استان گسترش یافته است (جدول ۸). در حالی که الگوی خوشه‌ای پایین ۱۳ درصد از مساحت استان را در بر گرفته است. در مجموع بر اساس تغییرات دهه‌ای می‌توان گفت که همانند تغییر پنج‌ساله به سمت دوره‌های اخیر الگوی فضایی گردو غبارهای استان تغییرات مکانی زیادی را تجربه کرده است، به طوری که به سمت دوره‌های اخیر الگوی خوشه‌ای بالا بیشتر در نواحی مرزی با کشور عراق تمرکز یافته است.

به منظور بررسی و تحلیل دقیق‌تر تغییرات مکانی الگوهای مکانی گردو غبار، الگوهای فضای در سه دوره ده ساله بر اساس شاخص فضایی موران و GI* ترسیم شده است که نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. براساس شکل ۶ در دوره اول (۱۹۹۵-۱۹۸۶) گردو غبارهای استان خوزستان به صورت هسته بیشتر در نواحی مرکزی متمایل به جنوب غربی استان یعنی بخش‌های از آبادان و شادگان از الگوی خوشه‌ای بالا برخوردار بوده است. علاوه بر این در این دوره براساس شاخص GI* بخش‌های از شمال استان گردو غبارها الگوی خوشه‌ای بالا را تشکیل داده است این در حالی می‌باشد که این منطقه از استان بر اساس شاخص موران از الگوی تصادفی برخوردار بوده است (شکل ۶). مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت در این دوره بر اساس شاخص GI* تقریباً به ۲۸ درصد رسیده است این در حالی است که این مقدار براساس شاخص موران تقریباً به ۱۷/۳۷ درصد رسیده است (جدول‌های ۶ و ۷). در دهه دوم الگوی حاکم بر گردو غبارهای استان وضعیتی متفاوت با دهه نخست را تجربه کرده است، به طوری که در این دوره الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت و منفی به صورت لکه‌هایی در سراسر استان گسترش یافته است. برای مثال الگو خوشه بالا گردو غبارها بیشتر در بخش‌هایی از اهواز، مسجد سلیمان، بخش‌هایی از آبادان و بستان مشاهده شده است این در حالی است که براساس هر دو روش موران و

جدول ۷. درصد مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی براساس شاخص GI*

| | خودهمبستگی منفی | | | فاقد الگو | خودهمبستگی مثبت | | |
|-------|-----------------|------|------|-----------|-----------------|-------|-------|
| | %۹۹ | %۹۵ | %۹۰ | | %۹۹ | %۹۵ | %۹۰ |
| دهه ۱ | ۱۴/۶۳ | ۴/۸۵ | ۳/۶۳ | ۴۸ | ۰/۷۰۴ | ۱۸/۱۱ | ۱۰/۰۵ |
| دهه ۲ | ۱۴/۴۷ | ۷/۱۲ | ۳/۶۷ | ۵۱/۰۱ | ۰/۳۱۳ | ۸/۳ | ۱۵/۰۶ |
| دهه ۳ | ۱۰/۰۱ | ۶/۰۲ | ۶/۵۷ | ۵۶/۰۲ | ۰/۳۹۱ | ۶/۷ | ۱۴/۲۴ |

جدول ۸. درصد مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی براساس شاخص موران

| | خودهمبستگی مثبت | خودهمبستگی منفی |
|-------|-----------------|-----------------|
| دهه ۱ | ۱۷/۳۷ | ۱۷/۰۵ |
| دهه ۲ | ۱۸/۵۸ | ۱۸/۷۴ |
| دهه ۳ | ۱۸/۱۹ | ۱۲/۸۳ |

۵. نتیجه گیری

هدف از این مطالعه، بررسی و تحلیل خودهمبستگی فضایی گردوغبارهای استان خوزستان طی چند دهه اخیر بود. برای این منظور، داده‌های گردوغبار روزانه استان از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. به منظور بررسی وضعیت جهش‌های گردوغبار از نمایه الکساندرسون استفاده شد. سپس به منظور توزیع الگوی خودهمبستگی فضایی گردوغبارها از شاخص فضایی موران و هات اسپات کمک گرفته شد. نتایج حاصل از توزیع فراوانی گردوغبارها طی دوره‌های مختلف نشان داد که در دوره نخست (۱۹۸۶-۱۹۹۰)، هسته رخداد گردوغبارها بیشتر در بخش‌های مرکزی استان خوزستان و جنوب آن بود. در مقابل، در دوره دوم (۱۹۹۱-۱۹۹۵) هسته رخداد گردوغبارها به صورت لکه‌هایی در بخش‌های شمالی استان تشکیل شد. در دوره سوم (۱۹۹۶-۲۰۰۰)، این هسته، تقریباً وضعیتی مشابه با دوره نخست را تجربه کرد، با این تفاوت که در این دوره، از شدت رخداد گردوغبارها کاسته شد. توزیع رخداد گردوغبارها در دوره چهارم (۲۰۰۱-۲۰۰۵) تقریباً وضعیتی مشابه با دوره دوم (۱۹۹۱-۱۹۹۵) را تجربه کرد. با این تفاوت که هسته‌های گردوغبار بیشتر به سمت نواحی مرزی ایران و عراق تمایل پیدا کرد. در دوره پنجم (۲۰۰۶-۲۰۱۰) و دوره ششم (۲۰۱۱-۲۰۱۶)، فراوانی رخداد گردوغبارها نسبت به دوره‌های قبل افزون شده و به لحاظ مکانی بیشتر در نواحی مرزی ایران و عراق مشاهده شد. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که رخداد گردوغبارهای استان خوزستان علاوه بر اینکه به سمت دوره‌های اخیر روند افزایشی داشته، به لحاظ مکانی نیز،

هسته‌های آن در نواحی مرزی ایران و عراق تمرکز یافته است. این وضعیت را شاید بتوان به دلیل فعالیت‌های سدسازی در ترکیه، اردن، سوریه و ایران و در نتیجه کاهش محسوس دبی رودخانه‌های دجله، فرات و کرخه در پایین دست و در پی آن کم آب شدن یا خشک شدن مناطق پایین دست این رودخانه‌ها دانست. علاوه بر این افزایش عرصه بیابانی جنوب کشور عراق ناشی از جنگ و در نهایت خشک شدن قسمت‌های زیادی از تالاب هورالعظیم در عراق و ایران، خاک بستر این تالاب و بیابان‌های جنوب عراق که دارای خاک نرم و بسیار ریزی است با وقوع هرگونه عارضه ناپایدار جوی به آسمان برخاسته و در کوتاه‌ترین زمان با افزایش فشار و افت دما به زمین فرود می‌آید. همچنین وقوع خشکسالی‌های مکرر در دهه اخیر و سوء مدیریت آب در استان خوزستان از جمله عوامل مهم و مؤثر در توزیع مکانی گردوغبارها بوده است.

بررسی جهش میانگین رخداد گردوغبارها بر اساس آماره الکساندرسون بیانگر این است که رخداد گردوغبارهای استان خوزستان از دوره سوم به بعد جهش میانگین داشته است به طوری که توزیع فراوانی رخداد گردوغبارها تأییدی بر این یافته‌ها است

نتایج حاصل از تغییرات الگوی فضایی گردوغبارهای حاکم بر استان خوزستان نشان داد که الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت حاکم بر گردوغبارهای استان در سه دوره نخست بیشتر به صورت پراکنده به‌ویژه در بخش‌های مرکزی، بخش‌های جنوب و بخش‌های ناچیزی از شمال استان استقرار یافته‌اند. این در حالی است که از دوره سوم به بعد تغییرات مکانی الگوهای گردوغبار استان

عکس بر شدت الگوی خودهمبستگی فضایی منفی افزوده می‌شود. از طرفی در سال‌های گذشته به دلیل بحران جنگ در منطقه و خشک شدن تالاب‌های جنوب کشور عراق به دلایل مختلف از جمله از بین بردن نیزارها و پوشش‌های گیاهی تالاب، فعالیت میدان‌های نفتی مستقر در تالاب، وقوع دوره خشکسالی همراه با کاهش رطوبت نسبی محیط و کاهش قابل توجه بارندگی در سال‌های اخیر، وقوع پدیده گردوخاک را تشدید کرده است.

خوزستان کاملاً مشهود بوده و به سمت دوره‌های اخیر الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت گردوغبارها بیشتر در نواحی مرزی ایران و عراق و بخش‌های جنوبی استان خوزستان تمرکز یافته است. این در حالی است که الگوی خوشه‌ای پایین (الگوی خودهمبستگی فضایی منفی) بیشتر در امتداد کوه‌های زاگرس و نواحی جنوب شرقی استان استقرار یافته است. بنابراین می‌توان گفت به سمت دوره‌های اخیر هر چه از نواحی مرزی دورتر می‌شویم از شدت الگوهای خودهمبستگی فضایی مثبت کاسته و بر

منابع

- بروغنی، م.، مرادی، ح.، زنگنه اسدی، م. ۱۳۹۴. تحلیل وقوع گردوغبار و پهنه‌بندی آن در استان خراسان رضوی. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی. ص ۴۵-۵۷.
- حیدری، م. ۱۳۸۶. غبار و الگوی جوی مولد آن در غرب کشور، نشریه هواشناسی کرمانشاه، تابستان ۱۳۸۶، شماره ۱۱.
- خسروی، م.، سلیقه، م. ۱۳۸۴. اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- مسعودیان، س.ا.، دارند، م. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۴۳(۲): ۴۳-۵۴.
- خسروی، م.، دوستکامیان، م.، میرموسوی، س.ح.، بیات، ع.، بیگ رضایی، ا. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای. فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۴(۱۳): ۱۲۱-۱۳۲.
- دهقان بنادکی، س.، زارع ارنانی، م.، خجسته، م.، صباغ زاده، س. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات اجتماعی، اقتصادی گردوغبار بر زندگی مردم، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، یزد، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران.
- دهقان‌پور، ع. ۱۳۸۴. تحلیل آماری و سینوپتیکی طوفان‌های خاک در فلات مرکزی ایران، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ذوالفقاری، ح.، عابدزاده، ح. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های گردوغباری در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، ۸۴: ۱۷۳-۱۸۷.
- راشکی، ع.، زرین، ه. ۱۳۸۶. پیامدهای بادهای ۱۲۰ روزه در خشک‌سالی‌های اخیر دشت سیستان، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند.
- رضیئی، ط. ۱۳۹۶. شناسایی رژیم‌های دمایی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۱(۲): ۱۵-۳۵.
- رئیس‌پور، ک. ۱۳۸۷. تحلیل آماری و همدیدی پدیده گردوغبار در استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی به راهنمایی دکتر تقی طاووسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۸۱. اقلیم و گردشگری استان خوزستان، انتشارات سازمان هواشناسی، تهران.

- سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۳۹۴. طرح شناسایی کانون‌های گرد و غبار در استان خوزستان. علیچانی، بهلول. ۱۳۷۶. آب‌وهوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران.
- عطایی، ه.، احمدی، ف. ۱۳۸۹. بررسی گردوغبار بعنوان یکی از معضلات زیست‌محیطی جهان اسلام، مطالعه موردی: استان خوزستان، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ایران.
- قائم‌ی، ه.، محمود، عدل. ۱۳۷۱. ناپایداری و طوفان‌های رعدوبرق، سازمان هواشناسی کشور، صص ۷-۱۰.
- کریمی، خ.، طاهری شهرآیینی، ح.، حبیبی نوخندان، م.، حافظی مقدس، ناصر. ۱۳۹۰. شناسایی خاستگاه‌های تولید طوفان‌های گرد و غبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش از دور، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۷-۸): ۵۷-۷۲.
- همتی، ن. ۱۳۷۴. بررسی فراوانی وقوع طوفان‌های خاک در نواحی مرکزی و جنوب کشور، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- یارنال، ب. ۱۳۸۵. اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه سید ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان
- Ahmadi, H. and Nazari, A. 2011. Investigate dust storms in the southern and south-western provinces of the country, GIAN International Conference 2011.
- Alexandersson, H. and Moberg, A. 1997. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of climatology*, 17(1), 25-34.
- Arimoto, R. 2000. Relationships to source, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth science*, 30
- Çapraz, Ö., Deniz, A. and Doğan, N. 2017. Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015. *Chemosphere*. 181:544-550.
- Chaturvedi, R.K., Prasad, S., Rana, S., Obaidullah, S.M., Pandey, V. and Singh, H. 2013. Effect of dust load on the leaf attributes of the tree species growing along the roadside, *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (1): 383-391.
- Chipanshi, A.C., Ripley, E.A. and Lawford, R.G. 1999. Large-scale simulation of wheat yield in a semi-arid environment using a crop-growth model. *Agricultural systems*. 59: 57-66.
- Cockings, S., Fisher, P.F. and Langford, M. 1997. Parameterization and visualization of the errors in areal interpolation, *Geographical Analysis*, 29, 314-328.
- Curić, M. and Janc, D. 1992. Mountain influence on the areal characteristics of types of convective precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 45(1): 71-76 online publication date: 1-Mar-1992.
- Dayan, U. and Koch, J.A. 1986. Synoptic analysis of the meteorological conditions affecting dispersion of pollutants emitted from tallstacksin the coastal plain of Israel, 537 - 543.
- Dore, A.J., Mousavi Baygi M., Smith, R.I., Hall, J., Fowler, D. and Choularton, T.W. 2006. A model of annual orographic precipitation and acid deposition and its application to Snowdonia. *Atmospheric Environment*, 40(18): 3316-3326. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.01.043.
- Faridi, S., Naddafi, K., Kashani, H., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., Momeniha, F. and Hoseini, M. 2017. Bioaerosol exposure and circulating biomarkers in a panel of elderly subjects and healthy young adults. *Science of the Total Environment*, 593: 380-389.
- Fontes, T., Li, P., Barros, N. and Zhao, P. 2017. Trends of PM_{2.5} concentrations in China: A long term approach. *Journal of environmental management*, 196: 719-732.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56(1-4): 179-204.

- Kutieli, H. and Alpert, P. 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe, 1- 4.
- Leonard, R.J., McArthur C. Hochuli D.F. 2017. A multistressor, multitrait approach to assessing the effects of wind and dust on eucalyptus tereticornis, *American Journal of Botany*, 103(8): 1466-1471.
- Maletsika, P.A., Nanos G.D. and Stavroulakis G.G. 2015. Peach leaf responses to soil and cement dust pollution, *Journal of Environmental Science and Pollution Research International*, 22:15952–15960.
- Nasrabadi, E., Masoodian, S. A. and Asakereh, H. 2013. Comparison of gridded precipitation time series data in APHRODITE and Asfazari databases within Iran's territory. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(02): 235.
- Ord, J.K. and Geties, A. 1995. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application, *Geographical Analysis*, 27(4): 286-306.
- Rodopoulou, S., Chalbot, M.C., Samoli E., DuBois, D.W., San Filippo, B.D. and Kavouras, IG. 2014. Air pollution and hospital emergency room and admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Doña Ana County, New Mexico. *Environmental research*, 129:39-46.
- Wang, J.X. 2015. Mapping the global dust storm records: Review of dust data sources in supporting modeling/climate study. *Current Pollution Reports*, 1(2): 82-94.
- Wu C. and Wang X. 2015. Effect of different foliar dust contents on reflectance spectroscopy of euonymus japonicus, *Journal of Scientia Silvae Sinica*, 51:49–56.
- Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X. and Muller J. 2015. Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in Northwest China, 7(1): 116-31.

Archive of SID