

تحلیل آمار فضایی ریزگردهای استان خوزستان

دکتر مرضیه موغلی^۱ و احمدرضا نخعی نژادفرد^۲

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۰۷/۰۳، تاریخ تایید: ۱۳۹۷/۰۱/۱۷

چکیده

استان خوزستان در هم جوار با بیابان‌های بزرگی قرار دارد که ریزگردهای این بیابان‌ها به‌طور مستمر وارد این استان می‌شود. شناخت الگوی فضایی این ریزگردها در زمینه برنامه ریزی برای کاهش اثرات آن کمک شایانی به ما می‌کند. لذا هدف از پژوهش حاضر تعیین بهترین روش درون‌یابی ریزگرد و سپس تحلیل آمار فضایی ریزگردها در استان خوزستان در دوره زمانی (۱۹۹۵-۲۰۱۶) می‌باشد. نتایج نشان داد که روش که روش وزن دهی معکوس با ضریب تعیین ۰/۷۵ بهترین مدل جهت پهنه‌بندی ریزگرد می‌باشد. تحلیل آمار فضایی پدیده ریزگرد در استان خوزستان نشان می‌دهد که در تمامی سال‌ها شاهد خوشه بندی روزهای همراه با ریزگرد در این استان بوده‌ایم. نقشه‌های خوشه بندی خودهمبستگی فضایی ریزگردها با استفاده از آماره موران نشان می‌دهد که به‌طور کلی مناطق شمال غربی و غربی این استان در دوره زمانی مورد مطالعه دارای خوشه‌های بالای ریزگردها در این استان بوده‌اند و مناطق جنوبی، شرقی، جنوب شرقی، و جنوب غربی دارای خوشه‌های پایین ریزگردها بوده‌اند. در سال ۱۹۹۵، بیشترین ضریب موران (Moran's Index= 1/008797) و در سال ۲۰۰۸، کمترین ضریب موران (Moran's Index= 0/996831) روی داده است و نشان می‌دهد که به ترتیب بیشترین و کمترین خوشه‌ای بودن تعداد روزهای ریزگرد در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است. نتایج نقشه‌های لکه‌های داغ و سرد استان خوزستان در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمدتاً مناطق شمال و شمال غربی استان لکه‌های داغ را نشان داده‌اند که به معنی وقوع بیشتر روزهای توأم با ریزگرد در این مناطق از استان در دوره زمانی مورد مطالعه بوده است.

کلیدواژگان: ریزگردها، استان خوزستان، لکه‌های داغ و سرد، آماره موران، خودهمبستگی فضایی.

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان mmoghali@yahoo.com

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان
pooriax_org@yahoo.com

مقدمه

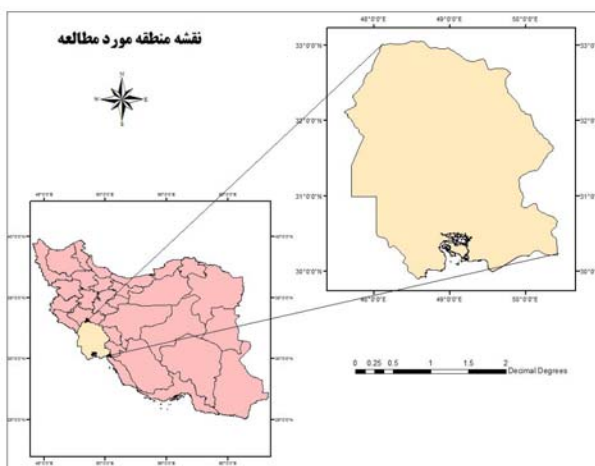
در کنار حوادث طبیعی از قبیل زلزله، آتش‌فشان، سیل، خشک‌سالی و توفان‌ها که از مهم‌ترین پدیده‌های آسیب رسان به جوامع انسانی و موجودات زنده و محیط طبیعی به شمار می‌روند و خسارات جبران ناپذیری از قبیل مرگ و میر، نابودی سکونت گاه‌ها، از بین بردن محیط زندگی و ... را به بار می‌آورند. پدیده ریزگرد نیز در جای خود باعث آسیب رسانی مخصوصاً به محیط‌های شهری، مزارع و تأسیسات مختلف می‌گردد. این پدیده در بسیاری از مناطق جهان رخ می‌دهد، ولی آمار نشان می‌دهد که فراوانی رخداد آن‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک به مراتب بیش‌تر است (عباسی و همکاران، ۱۳۷۸). پدیده ریزگرد در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی چند سال اخیر کشور ما می‌باشد که بسیاری از مکانیزم‌های اجتماعی، اقتصادی و حتی اداری مناطق مختلف را دچار اختلال نموده است. در مناطق غربی و جنوب غربی کشور که در مسیر ورود سیکلون‌ها و سیستم‌های آورنده‌ی ریزگرد قرار گرفته است که در مجاورت بیابان‌های بزرگ می‌باشند روزهای ریزگرد قابل ملاحظه بوده و از نظر نوع و عملکرد دارای تفاوت کلی با غبارهای محلی وارد شده از سایر نواحی است، زیرا غبارها و طوفان‌های وارد شده از مرزهای غربی و جنوب غرب کشور به‌صورت ستون‌های عظیم و در مقیاس صدها کیلومتر که در تصاویر ماهواره‌ای به وضوح مشاهده می‌شوند هستند. این پدیده که مساحت عمده‌ای از کشور را در بر می‌گیرد به علت گستردگی جغرافیایی، تأثیر و دخالت مستقیم در نحوه زندگی و فعالیت‌های اقتصادی عده کثیری از جمعیت کشور و پیامدهای سیاسی، امنیتی و دفاعی از اهمیت استراتژیکی برخوردار است. بحران ریزگردهای خوزستان یک بحران زیست محیطی است که در استان خوزستان وجود دارد. در حال حاضر، کانون اصلی تولید این ریزگردها، از داخل ایران است اما ریزگردهایی که از کشورهای همسایه از جمله عراق وارد خاک ایران می‌شوند شرایط را تشدید کرده‌اند. بخش‌های جنوبی تالاب هورالعظیم و محور اهواز و ماهشهر کانون‌های اصلی تولید ریزگرد در داخل، و جنوب شرقی کشور عراق به دلیل توقف کویرزدایی و نابودی تالاب‌های بین‌النهرین کانون برون مرزی ریزگردها هستند. این بحران باعث شده است شهر اهواز مرکز این استان از سوی سازمان بهداشت جهانی به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شود (شاهسونی و همکاران، ۱۳۹۱). در این پژوهش یک مجموعه تحلیل‌های آمار فضایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بر روی ریزگردهای استان خوزستان صورت می‌گیرد. آمار فضایی به ما کمک می‌کند تا رفتار پدیده‌های جغرافیایی را بهتر درک نماییم و به ما در شناسایی الگوها و روندهای موجود در پدیده‌های جغرافیایی و کشف آن‌ها کمک زیادی می‌نماید. به کمک آمار فضایی می‌توان نحوه توزیع پدیده‌های متعدد از جمله ریزگردها را در یک عدد خلاصه نمود. به طوری که بسیاری از تصمیماتی را که با ملاحظه نقشه‌ها صورت می‌گیرند با دقت علمی بیشتری اتخاذ نماییم.

در جهان بکارگیری تحلیل‌های فضایی (Spatial analyst) به‌سرعت در حال رشد است. نمونه‌های مطالعات انجام شده در ایران و جهان به روش تحلیل‌های فضایی در ادامه آورده شده است. Wang Shi-gong و همکاران (۲۰۰۱) تحلیل فضایی طوفان‌های گرد و غبار در چین را با استفاده از نقشه‌های هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار دادند و گرمایش زمین در بیابان مغولستان و سرمایش زمین در شمال چین را به عنوان عامل مؤثر در شکل‌گیری گرد و غبارهای شمال چین بیان کردند. Natsagdorj و همکاران (۲۰۰۳) به تحلیل فضایی طوفان‌های گرد و غبار مغولستان با استفاده از داده‌های ۴۹ ایستگاه هواشناسی در طول دوره آماری ۱۹۳۷-۱۹۹۹ پرداختند. نتایج بررسی‌هایشان نشان داد در مناطق کوهستانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار به کمتر از ۵ مورد می‌رسد، در حالی که در صحرای گبی و مناطق نیمه بیابانی ۲۰-۳۷ طوفان در سال رخ می‌دهد. Hara و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات طولانی مدت گرد و غبارهای آسیا و ارتباط آن را با فاکتورهای اقلیمی در دوره آماری ۱۹۷۲-۲۰۰۴ مطالعه کردند. نتایج نشان داد که روند روزهای گرد و غباری در نواحی بیابانی گبی بین ۱۹۸۰-۱۹۹۷ روند کاهشی داشته و برای ۲۰۰۰-۲۰۰۲ روند افزایشی داشته که در ژاپن بیشتر است. خداکرمی فرد (۱۳۹۳) در تحقیقی به ریشه‌یابی گرد و غبار در جنوب و جنوب غربی ایران با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و GIS پرداختند. نتایج نشان داد که منشأ اصلی طوفان‌های گرد و غبار در جنوب و جنوب غربی ایران مربوط به توده‌ای از گرد و غبار

واقع در شمال و شمال شرقی عراق در نزدیکی مرزهای سوریه است. و نقشه‌های زمین شناسی، توپوگرافی و پوشش گیاهی نیز مؤید این مطلب بودند. یار احمدی و خوش کیش (۱۳۹۲) در پژوهشی به پهنه بندی پدیده‌ی گرد و غبار در نیمه غربی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان گرد و غبار ورودی در طول دوره دارای یک بیشینه در استان خوزستان می‌باشد و هرچه از جنوب به سمت شمال و از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه پیش می‌رویم از میزان گرد و غبار کاسته می‌شود. ایستگاه هواشناسی دزفول با ۱۸۶۱ روز بیشترین و ایستگاه هواشناسی خوی با ۴۲ روز کمترین میزان روز گرد و غباری را در طول دوره داشته‌اند. ززولی و همکاران (۱۳۹۳) به پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: گرد و غبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲) پرداختند. در این پژوهش منشأ رخداد پدیده گرد و غبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ که در نواحی غرب و جنوب غرب کشور رخ داده است، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و با به کارگیری شاخص اکرم‌شناسایی شد. معلوم گردید منشأ اصلی آن محل اتصال رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه می‌باشد و در ادامه مشخص شد تصاویر سنجنده مادیس به دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرار پذیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت برای پایش گرد و غبار مناسب می‌باشد. همچنین تحلیل سینوپتیکی آن برای شناسایی چگونگی حرکت گرد و غبار از منشأ به داخل ایران با استفاده از داده‌های سینوپتیکی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، فشار تراز دریا و نقشه‌های جهت جریان باد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل سینوپتیکی یافتن منشأ و نحوه انتقال گرد و غبار را بهینه کرده و تصمیم‌گیری مناسب‌تری را برای پیش بینی مسیر حرکت گرد و غبار ممکن می‌سازد. در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با به کارگیری ابزار Analysis Spatial Tools نمایش حرکت آن از منشأ تا داخل ایران ره‌گیری شد. با توجه به موارد گفته شده، هدف از این پژوهش تشخیص روند و توزیع ریزگردها در استان خوزستان می‌باشد.

موقعیت جغرافیائی محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان، در جنوب غربی ایران و شمال خلیج فارس، بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت این استان ۶۳۲۱۳ کیلومترمربع و مرکز آن شهر اهواز با ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا می‌باشد. این استان از غرب با کشور عراق، از شمال با استان لرستان و ایلام، از شرق با استان چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد و از جنوب با استان بوشهر و خلیج فارس همسایه است. این استان دارای ۲۳ شهرستان، ۵۱ بخش، ۱۲۷ دهستان و ۵۴ شهر می‌باشد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تمام تحلیل‌های صورت گرفته، بر مبنای نقشه ریزگردها در استان خوزستان می‌باشد. جامعه آماری این تحقیق شامل تمام تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار ARC GIS 10.3 و از ابزارهای آمار فضایی موجود در این نرم افزار استفاده گردید. تحلیل‌های آماری‌های فضایی نرم افزار ARC GIS شامل تعدادی ابزار تحلیلی و کمکی برای تهیه و پردازش داده‌های مورد نیاز برای تحلیل‌های آماری فضایی می‌باشد. آمارهای فضایی شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای شرح و مدل‌سازی داده‌های مکانی می‌باشند که در بسیاری از موارد توسط تعیین الگوهای مکانی، روند توزیع، فرایندها و روابط باعث گسترش ذهن و دید کاربر و بهبود مطالعات می‌شوند. برخلاف تکنیک‌های آماری سنتی، تکنیک‌های آماری فضایی از مساحت، طول، نزدیکی، موقعیت و یا روابط مکانی مستقیماً در محاسباتشان استفاده می‌کنند. از جمله تحلیل‌های آماری که بر روی ریزگردها استان خوزستان انجام خواهد شد شامل مرکز متوسط، توزیع جهتی و فاصله استاندارد، میانگین نزدیک‌ترین همسایه و الگوی HOT SPOT می‌باشد.

پایگاه داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از میزان دید افقی و پدیده گرد و غبار با کد (06) که به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت و مورد ارزیابی قرار گرفت و آمار مجموع سالانه آن برای هر ایستگاه جداگانه محاسبه شد. ضمناً در این تحقیق روز گرد و غباری به‌روزی اطلاق می‌شود که در ایستگاه‌های انتخابی دید افقی به کمتر از ۱۰ کیلومتر کاهش یابد و گرد و غبار با کد هواشناسی (06) گزارش گردد. دور آماری مورد مطالعه در این پژوهش شامل یک دوره‌ی آماری ۲۱ ساله از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. ایستگاه‌هایی که برای این تحقیق انتخاب شدند ایستگاه آبادان، اهواز، مسجد سلیمان و دزفول که در سطح استان فارس از موقعیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. اطلاعات مربوط به ویژگی‌ها و موقعیت ایستگاه‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
آبادان	۳۰/۲۲	۴۸/۱۵	۶/۶
اهواز	۳۱/۲۰	۴۸/۴۰	۱۲
مسجد سلیمان	۳۱/۵۶	۴۹/۱۷	۳۲۰
دزفول	۳۲/۲۴	۴۸/۲۳	۱۴۳
امیدیه	۳۰/۴۶	۴۹/۳۹	۳۴/۹

آمار فضایی و همبستگی فضایی

در اغلب روش‌های آماری فرض بر این است که مشاهدات تحت شرایط یکسان و به‌صورت مستقل از هم جمع‌آوری شده‌اند. اما اگر مشاهدات مستقل نباشند و وابستگی آن‌ها تابعی از فاصله بین موقعیت‌های مشاهدات باشد، به‌گونه‌ای که مشاهدات نزدیک به هم وابسته‌تر و مشاهدات دورتر از هم وابستگی کمتری داشته باشند، داده‌های فضایی نامیده می‌شوند (عسکری، ۱۳۹۰). مجموعه روش‌های تحلیل داده‌های فضایی، آمار فضایی نامیده می‌شود. در آمار کلاسیک فرض بر این است که مشاهدات نمونه‌های مستقل از یکدیگرند؛ اما در بسیاری از موارد، در عمل، این فرض برقرار نیست و مشاهدات به یکدیگر وابسته‌اند. نادیده گرفتن این وابستگی سبب از بین رفتن اطلاعاتی بسیار می‌شود و در نتیجه، تحلیل‌های آماری دور از واقعیت

خواهد بود. گاهی وابستگی داده‌های به وضعیتی قرار گرفتن آن‌ها در فضا بستگی دارد و در واقع وابستگی آن‌ها تابعی از فاصله‌ی قرارگیری آن‌ها از یکدیگر است. در این موارد می‌توان از آمار فضایی کمک گرفت. برای تحلیل داده‌های فضایی لازم است یک مدل آماری در نظر گرفته شود. در آمار فضایی به‌طور معمول یک میدان تصادفی به عنوان مدل آماری داده‌های فضایی در نظر گرفته می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

میدان تصادفی: میدان تصادفی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی مانند $\{Z(s); s \in D\}$ است، که در آن مجموعه اندیس گذار D زیر مجموعه‌ای از فضای اقلیدسی d بعدی، $d \geq 1$ از R^d است.

در میدان تصادفی $Z(\cdot)$ میانگین در موقعیت s و کواریانس در موقعیت‌های s_1 و s_2 به ترتیب به صورت:

$$\begin{aligned}\mu(s) &= E[Z(s)], \quad s \in D \\ C(s_1, s_2) &= Cov[Z(s_1), Z(s_2)], \quad s_1, s_2 \in D\end{aligned}$$

تعریف می‌شوند. برای $s = s_1 = s_2$ واریانس میدان تصادفی $Z(\cdot)$ در مکان s به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$Var[Z(s)] = E[Z(s) - \mu(s)]^2$$

واریانس و کواریانس در آمار کلاسیک به ترتیب میزان پراکندگی و شباهت یا همبستگی داده‌ها را نشان می‌دهند. در آمار فضایی نیز مفاهیمی تعریف شده که مشابه واریانس و کواریانس بیانگر ساختار همبستگی فضایی داده‌ها باشند. واریانس تفاضل میدان تصادفی در دو موقعیت s و $s + h$ را تغییر نگار^۱ می‌نامند که به صورت

$$2\gamma(h) = Var(Z(s+h) - Z(s))$$

تعریف می‌شود. تابع $\gamma(h)$ نیز نیم‌تغییرنگار^۲ نامیده می‌شود. کواریانس $Z(s)$ و $Z(s+h)$ یعنی

$$C(h) = Cov(Z(s), Z(s+h))$$

هم‌تغییر نگار^۳ است و با شرط $C(0) > 0$ عبارت

$$\rho(s, s+h) = \rho(h) = \frac{C(h)}{C(0)}$$

همبستگی نگار^۴ نامیده می‌شود. برای تعیین ساختار همبستگی فضایی داده‌ها می‌توان از تغییر نگار، هم‌تغییر نگار یا همبستگی نگار استفاده کرد.

برآورد تجربی یا کلاسیک هم‌تغییر نگار به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن N_h تعداد زوج نقاطی است که فاصله بین آن‌ها برابر h است.

$$\hat{C}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N(h)} (Z(s_i) - \bar{Z})(Z(s_j) - \bar{Z})$$

صورت‌های زیادی برای تابع هم‌تغییر نگار $C(h)$ وجود دارد که در آمار فضایی برای برآزش به ساختار همبستگی فضایی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال، مدل یکسان همبسته^۵ به صورت:

$$\rho(h, \theta) = \begin{cases} 1, & h = 0 \\ \theta, & h \geq 0 \end{cases}$$

تابع هم‌تغییر نگار گاوسی به صورت:

$$C(h) = \sigma^2 \exp\left\{-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right\}, \quad \sigma > 0, a > 0$$

۱- Variogram

۲- Semi variogram

۳- Covariogram

۴- Correlogram

۵- Equi-correlated

است، که در آن a و σ^2 به ترتیب پارامترهای دامنه و ازاره^۱ هستند و تابع هم‌تغییر نگار نمایی به صورت:

$$C(h) = \sigma^2 a^2 \exp\left\{-\left(\frac{h}{a}\right)\right\}, \quad \sigma > 0, a > 0$$

است، که در آن a و σ^2 به ترتیب پارامترهای دامنه و ازاره هستند و تابع هم‌تغییر نگار کروی به صورت:

$$C(h) = \sigma^2 \left(1 - \frac{3h}{2a} + \frac{h^3}{2a^3}\right), \quad \sigma > 0, a \geq h$$

است و تابع هم‌تغییر نگار ماترن به صورت

$$C(h) = \frac{2\sigma^2}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{ah}{2}\right)^{\nu} K_{\nu}(ah), \quad \sigma > 0, a > 0$$

تعریف می‌شود، که در آن K_{ν} تابع بسل نوع دوم مرتبه ν و $\Gamma(\cdot)$ تابع گاما است (آبراموویتز و استیگان، ۱۹۷۲).

خودهمبستگی فضایی

مسئله مهم برای استفاده از مدل فضایی تشخیص وجود خود همبستگی فضایی^۲ است. خود همبستگی فضایی به این مفهوم است که ارزش صفت‌های مطالعه شده، خود همبسته (دارای همبستگی) هستند و همبستگی آن‌ها قابل استناد به نظم جغرافیایی پدیده‌هاست (کلارک و هوسکینگ، ۱۹۸۶). در طبقه‌بندی الگوهای فضایی خواه خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی، می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب قرارگیری واحدهای ناحیه‌ای متمرکز شد و مشابهت و عدم مشابهت‌ها برای الگوهای فضایی خلاصه شوند. خودهمبستگی فضایی قوی به مفهوم این است که ارزش صفت پدیده‌های جغرافیایی به طور قوی با یکدیگر رابطه دارند (خواه قوی یا ضعیف). اگر ضرایب ویژگی پدیده‌های جغرافیایی مجاور ارتباط و نظم ظاهری مشخصی نداشته باشند، گفته می‌شود دارای ارتباط فضایی ضعیف و یا دارای الگوی تصادفی هستند (عسگری، ۱۳۹۰). برای اندازه‌گیری همبستگی فضایی آماره‌هایی وجود دارد که به ما اجازه می‌دهند با نقاط یا پلی‌گون‌ها کار کنیم.

شاخص G_i یا لکه‌های داغ

در آمار فضایی می‌توان از شاخص G_i یا لکه‌های داغ برای تهیه نقشه خوشه‌ها استفاده کرد آماره G_i به صورت زیر معرفی کرده‌اند.

$$G_i = \frac{\sum_j \omega_{ij}(d)x_j - W_i \bar{x}}{s(i)\{[(m-1)S_{1i} - W_i^2]/m - 2\}^{1/2}} \quad j \neq i$$

و همه زها

$$G_i^* = \frac{\sum_j \omega_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}}{s\{[mS_{1i}^* - W_i^{*2}]/m - 1\}^{1/2}}$$

که در اینجا

$$W_i = \sum_{j \neq i} \omega_{ij}(d)$$

$$W_i^* = W_i + \omega_{ii} = \sum_j \omega_{ij}(d)$$

$$S_{1i} = \sum_{j \neq i} \{\omega_{ij}(d)\}^2$$

$$S_{1i}^* = \sum_j \{\omega_{ij}(d)\}^2$$

۱- Sill

۲- Spatial autocorrelation

مؤلفه $\omega_{ij}(d)$ یک وزن فضایی است که نشان‌دهنده مجاورت (نزدیکی) میان مناطق i و j است. همچنین، \bar{x} و s به ترتیب میانگین و انحراف معیار مجموعه $x_i (i = 1, \dots, m)$ مشاهده شده هستند و:

$$s^2(i) = \sum_j x_j^2 / (m-1) - \left\{ \sum_j x_j / (m-1) \right\}^2$$

جدول (۲) می‌تواند جهت تحلیل نوع پراکنش فضایی شاخص جی استار مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲: طبقه‌بندی نمره استاندارد در تحلیل نوع پراکنش داده‌های مکان محور

ردیف	نمره استاندارد	سطح معنی‌داری	نوع الگوی پراکنش فضایی
۱	< -۲,۵۸	۰,۰۱	خوشه‌ای قوی - سرد/سرد
۲	-۲,۵۸ تا -۱,۹۶	۰,۰۵	خوشه‌ای متوسط - سرد/سرد
۳	-۱,۹۶ تا -۱,۶۵	۰,۱	خوشه‌ای ضعیف - سرد/سرد
۴	۱,۶۵ تا ۱,۶۵	تصادفی - توزیع ناموزون
۵	۱,۹۶ تا ۲,۵۸	۰,۱	خوشه‌ای ضعیف - داغ/داغ
۶	۲,۵۸ تا ۳,۱۶	۰,۰۵	خوشه‌ای متوسط - داغ/داغ
۷	> ۳,۵۸	۰,۰۱	خوشه‌ای قوی - داغ/داغ

روش وزن دهی بر اساس عکس فاصله (Inverse Distance Weighted)

روش IDW برای تعیین مقدار ارزش هر سلول لایه رستر خروجی، از ارزش‌های نقاط نمونه برداری شده مجاور استفاده نموده و با گرفتن میانگین از آن‌ها، ارزش سلول خروجی را برآورد می‌نماید. هر چه نقطه نمونه برداری شده به مرکز سلولی که قرار است ارزش آن را برآورد نماید نزدیک‌تر باشد آن نقطه با ضریب تأثیر (وزن) بیشتری در فرایند محاسبه میانگین وزنی ارزش نقاط نمونه برداری شده مجاور شرکت خواهد کرد. این روش درون‌یابی بر این فرض استوار است که پدیده‌ای که در حال تهیه نقشه توزیع مکانی آن هستیم همگام با زیاد شدن فاصله و دور شدن از یک نقطه نمونه برداری شده، مقدار درصد تأثیر (وزن) آن نقطه در برآورد ارزش سلول خروجی کاهش می‌یابد. فرمول کلی درون‌یابی به روش IDW:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(s_i)$$

که $\hat{z}(s_0)$ مقداری است که برای موقعیت s پیش‌بینی می‌کنیم.

N : تعداد نقاط نمونه اندازه‌گیری شده اطراف موقعیت مورد نظر است که در پیش‌بینی استفاده خواهند شد.

λ_i وزن‌های تخصیص داده شده به هر نقطه اندازه‌گیری شده است که استفاده خواهند شد. این وزن‌ها با فاصله کاهش می‌یابند.

$z(s_i)$ مقدار مشاهده شده در موقعیت s_i است. فرمول تعیین‌کننده وزن‌ها به صورت زیر است.

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}, \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

هر چقدر فاصله بیشتر شود وزن از طریق ضریب p کاهش می‌یابد.

کمیت d_{i0} فاصله بین مورد پیش‌بینی، s_0 و هر موقعیت اندازه‌گیری شده s_i می‌باشد.

پارامتر توان p ، وزن دهی مقدار موقعیت اندازه‌گیری شده را روی مقدار پیش‌بینی تأثیر می‌دهد. یعنی هر چقدر فاصله بین

موقعیت‌های نمونه و موقعیت مورد پیش‌بینی افزایش یابد، وزنی که نقطه اندازه‌گیری شده روی پیش‌بینی خواهد گذاشت

به صورت توانی کاهش می‌یابد. (اسمعیل زاده، ۱۳۹۲، ۱۷۱).

نتایج و بحث

تعیین بهترین مدل درونیابی فضایی ریزگردها در استان خوزستان

در این پژوهش جهت پهنه بندی ریزگردها در استان خوزستان داده‌های روزهای توأم با پدیده ریزگرد در منطقه مورد مطالعه وارد پایگاه داده اطلاعات GIS گردید و با استفاده از فنون زمین آمار اقدام به پهنه بندی فراوانی روزهای توأم با پدیده ریزگرد شد. نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که روش وزن دهی معکوس با ضریب تعیین ۰/۷۵ بهترین مدل جهت پهنه‌بندی ریزگرد می‌باشد.

جدول ۳: نتایج ارزیابی نقشه‌های درون‌یابی شده با روش‌های مختلف درونیابی فضایی

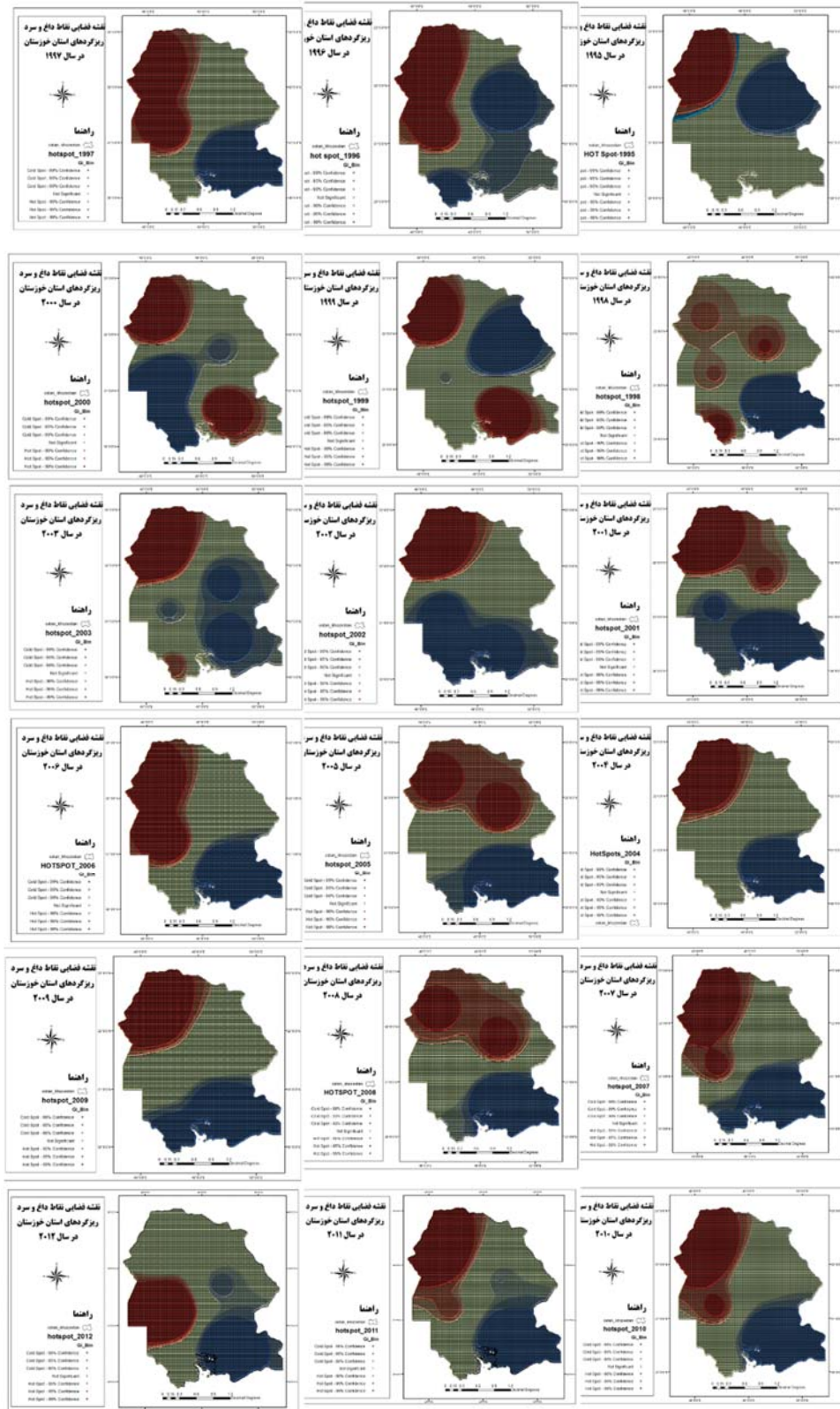
روش	مدل	MAE	RMSE	R ²
RBF	اسپیلاین کاملاً منظم	۰/۰۵	۰/۸۷	۰/۲۲
	اسپیلاین صفحه نازک	۰/۱	۰/۷۶	۰/۴۴
	مولتی کوادریک معکوس	-۰/۰۲	۰/۹۳	۰/۳۸
	مولتی کوادریک	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۴۳
	اسپیلاین با کشش	۰/۰۴	۰/۷۵	۰/۴۴
IDW	۱	۰/۰۸	۰/۷۴	۰/۷۵
	۲	۰/۱۴	۰/۸۳	۰/۳۲
	۳	۰/۱	۰/۸۲	۰/۳۱
OK	کروی	۰/۰۴	۰/۸۰	۰/۳۶
	دایره‌ای	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۲۶
	نمایی	۰/۰۸	۰/۸۰	۰/۳۵
	گوسین	۰/۰۵	۰/۷۹	۰/۳۵
SK	کروی	۰/۱۲	۰/۸۵	۰/۲۸
	دایره‌ای	۰/۱۱	۰/۸۷	۰/۲۲
	نمایی	۰/۰۹	۰/۸۶	۰/۲۷
	گوسین	۰/۰۹	۰/۸۷	۰/۲۵

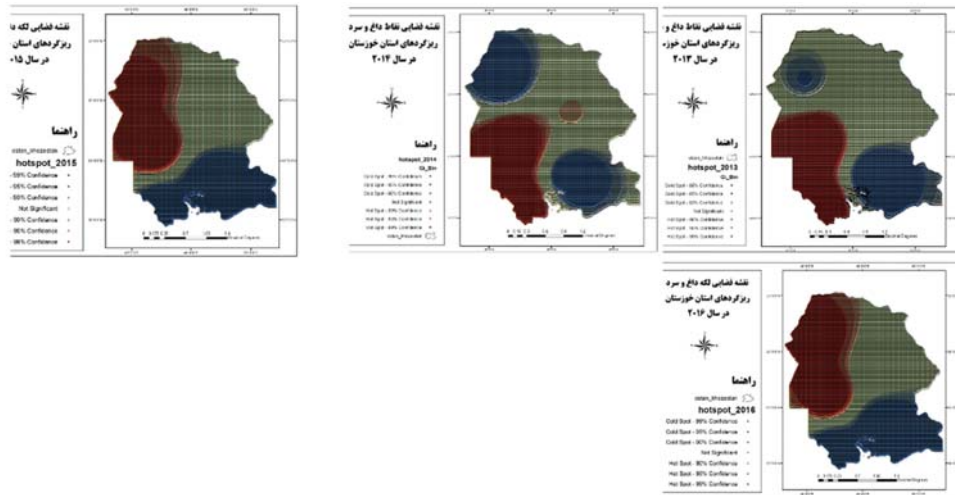
تحلیل آمار فضایی ریزگردها در استان خوزستان در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۶

نتایج شکل (۲) که بیانگر لکه داغ و سرد ریزگردها در استان خوزستان در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۵ می‌باشد، نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۵ مناطق شرق دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریزگردها دیده می‌شود و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر پایین روزهای همراه با ریزگردها دیده می‌شود و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. بعلاوه این شکل نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۶ مناطق شرق، جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و برعکس قسمت‌های شمال غربی و غرب استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن تعداد روزهای با گرد و غبار بیشتر بوده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. در سال ۱۹۹۷ مناطق جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریزگرد و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی و غرب در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریزگرد تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۸ قسمت‌های از جنوب و جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (لکه سرد) بوده که در آن مقادیر کم روزهای توأم با ریزگرد تجمع پیدا کرده است و برعکس در

مناطق از مرکز، شمال غربی، غرب و جنوب غربی استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است. نقشه لکه داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۱۹۹۹ (شکل ۲) نشان می‌دهد که قسمت‌های شرق دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و برعکس در مناطق شمال غربی و جنوب استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد، تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نقشه لکه داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۰ (شکل ۲) نشان می‌دهد که قسمت‌های مرکز، غرب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (لکه سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم تعداد روزهای وجود ریز گرد در جو، تجمع پیدا کرده است و برعکس در مناطق شمال، شمال غرب و جنوب شرقی استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای تعداد روزهای وجود ریز گرد در جو تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نقشه فضایی لکه داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که تمام پهنه جنوب، جنوب شرقی، جنوب غربی و غرب دارای خوشه‌ای پایین (لکه سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که ریز گرد، در تعداد روزهای کمتری از سال، تجمع پیدا کرده است و برعکس در مناطق شمال، شمال غربی و مرکز استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن گرد و غبار در تعداد روزهای بیشتری از سال تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). نقشه لکه‌های داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۲ نشان می‌دهد که پهنه جنوب، جنوب غربی، جنوب شرقی و قسمتی از غرب دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، دیده شده است و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه‌های داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۳ (شکل ۲) نشان می‌دهد که مناطق شرقی و جنوب شرقی و قسمتی از مرکز دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن روزهای کمتری از وقوع روزگرد را شاهد بوده‌ایم. و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی و بخش کوچکی از جنوب غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نقشه لکه‌های داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۴ (شکل ۲) نشان می‌دهد که مناطق شرق و جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم ریز گرد تجمع پیدا کرده است و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای ریز گرد تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند (شکل ۲) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۵ مناطق جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و برعکس مناطق شمال، شمال غربی و قسمت‌هایی از مرکز و شرق در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نقشه لکه‌های داغ و سرد ریز گردهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۶ نشان می‌دهد که مناطق جنوب و جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریز گرد تجمع پیدا کرده است و برعکس مناطق شمال غربی و غرب در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد روی داده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). شکل (۲) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ پهنه جنوبی استان دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر کم روزهای همراه با ریز گرد در آن‌ها دیده شده است و برعکس مناطق شمال و شمال غربی و قسمتی از غرب استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن مقادیر بالای روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. لکه داغ و سرد ریز گرد در استان

خوزستان در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که پهنه جنوبی استان دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس مناطق شمال و شمال غربی و قسمتی از شرق و مرکز استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد بیشتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۹ مناطق جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد زیادتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰ مناطق جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و قسمت‌های غرب و شمال غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد بیشتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نتایج لکه داغ و سرد ریز گردها در استان خوزستان در سال ۲۰۱۱ (شکل ۲)، نشان می‌دهد که مناطق شرق و جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال و شمال غربی در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن تعداد زیادتر روزهای همراه با ریز گردها اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. شکل (۲) بیانگر لکه داغ و سرد ریز گردها در استان خوزستان در سال ۲۰۱۲ می‌باشد، نشان می‌دهد که مناطق جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های غرب در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد زیادتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نتایج شکل (۲) لکه داغ و سرد ریز گردها در استان خوزستان در سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد، نشان می‌دهد که مناطق جنوب شرقی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال و جنوب غربی و جنوب در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد زیادتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند. نتایج شکل (۲) که بیانگر لکه داغ و سرد ریز گردها در استان خوزستان می‌باشد، نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۴ مناطق جنوب شرقی و شمال غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال غربی و جنوب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال غربی و جنوب و جنوب شرقی و جنوب و جنوب غربی دارای خوشه‌ای پایین (مناطق سرد) است و این بدان معنا است که این پهنه‌ها محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد کمتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و برعکس قسمت‌های شمال غربی و غرب در استان دارای محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها تعداد بیشتر روزهای همراه با ریز گرد اتفاق افتاده است و در واقع لکه داغ را تشکیل می‌دهند.





شکل ۲: نقشه فضایی لکه داغ و سرد ریز گرد در استان خوزستان در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۵

نتیجه گیری

نتایج درون‌یابی فضایی پدیده ریز گرد در استان خوزستان نشان داد که روش که روش وزن دهی معکوس با ضریب تعیین $0/75$ بهترین مدل جهت پهنه‌بندی ریز گرد می‌باشد. مطالعات تحلیل آمار فضایی ریزگردها در استان خوزستان در دوره زمانی (۱۹۹۵-۲۰۱۶) نشان می‌دهد که در تمامی سال‌ها شاهد خوشه بندی روزهای همراه با ریز گرد در این استان بوده‌ایم. نقشه‌های خوشه بندی خودهمبستگی فضایی ریزگردها با استفاده از آماره موران نشان می‌دهد که به‌طور کلی مناطق شمال غربی و غربی این استان در دوره زمانی مورد مطالعه دارای خوشه‌های بالای ریزگردها در این استان بوده‌اند و مناطق جنوبی، شرقی، جنوب شرقی، و جنوب غربی دارای خوشه‌های پایین ریزگردها بوده‌اند. در سال ۱۹۹۵، بیشترین ضریب موران ($Moran's\ Index = 1/008797$) و در سال ۲۰۰۸، کمترین ضریب موران ($Moran's\ Index = 0/996831$) روی داده است و نشان می‌دهد که به ترتیب بیشترین و کمترین خوشه‌ای بودن تعداد روزهای گرد و غبار در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است. نتایج نقشه‌های لکه‌های داغ و سرد استان خوزستان در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمدتاً مناطق شمال و شمال غربی استان لکه‌های داغ را نشان داده‌اند که به معنی وقوع بیشتر روزهای توأم با ریز گرد در این مناطق از استان در دوره زمانی مورد مطالعه بوده است. برعکس در مناطق شرق و جنوب شرقی استان خوزستان، لکه‌های سرد وقوع ریزگردها در دوره آماری مورد مطالعه اتفاق افتاده است که بیانگر وقوع کم‌تر روزهای همراه با ریز گرد در این مناطق از خوزستان می‌باشد.

کتابشناسی

۱. اسمعیل زاده، حامد. شاه زمانی، کیانا. بازوند، محمد. خداکریمی فرد، علی. (۱۳۹۲). تعیین منشأ گرد و غبارهای غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنجنده ی MODIS و GIS Arc. اولین همایش بین‌المللی ریز گردها ۲۴ الی ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲. دانشگاه لرستان. ص ۱۰.
۲. ززولی، محمدفلاح. وفایی نژاد، علیرضا. خیرخواه زرکش، میرمسعود. احمدی دهکاء، فریبرز. (۱۳۹۳). پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار با استفاده از سنجنش از دور و GIS (مطالعه موردی: گردوغبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲). فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). دوره ۲۳. شماره ۹۱. پاییز ۹۳.
۳. شاهسونی، ع. یاراحمدی، م. مصداقی نیا، ع. یونسیان، م. جعفرزاده، ن. ا. نعیم آبادی، ا. ا. ثالثی، م. و ندافی، ک. (۱۳۹۰). تحلیل روند گرد و غبار ورودی به ایران با تاکید بر استان خوزستان. مجله پژوهشی حکیم. ۱۹۲-۲۰۲.
۴. عباسی، حمیدرضا. رفیعی امام، عمار و حسن روحی پور (۱۳۷۸) تحلیل منشأ گرد و غبارهای بوشهر و خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۴۸-۵۱.
۵. عسگری، علی. (۱۳۹۰). تحلیلهای آمار فضایی با ArcGIS. چاپ تهران: انتشارات شرکت پردازش و برنامه ریزی شهری. تهران.
۶. یاراحمدی، داریوش. خوش کیش، اسدالله. (۱۳۹۲). پهنه بندی پدیده‌ی گرد و غبار در نیمه غربی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۳۱. زمستان ۹۲.
7. Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., (2006). Long-term variation of Asian dust and related climate factors, *Atmospheric Environment* 40, 6730-6740.
8. Natsagdorj, L., Jugder, D., Chung, Y.S., (2003) Analysis of dust storms observed in Mongolia during ۱۹۳۷-۱۹۹۹, *Atmospheric Environment* 37, ۱۴۰۱-۱۴۱۱.
9. Weihong, Q., Lingshen, Q., Shaoyin, S. (2001). Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control. *Journal of Climate* 15, ۱۲۱۶-۱۲۲۹.
10. Ahrens, C. D. *Essentials of Meteorology.: An Invitation to the Atmosphere*: Cengage Learning, (2010).
11. Baddock, M. C., Bullard, J. E., & Bryant, R. G. (2009). Dust source identification using MODIS: A comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1513-1525 .
12. Basart, S., Perez, C., Nickovic, S., Cuevas, E., & Baldasano, J. M. (2012). Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East. *Tellus B*, 64 , v64i0.18539,1-23.
13. Gyargy, V. A. (2012). Spatio-temporal distribution of dust storms “a global coverage using NASA TOMS aerosol measurements. *Hungarian Geographical Bulletin*, 61(4), 275-298 .
14. Heinold, B., Tegen, I., Esselborn, M., Kandler, K., Knippertz, P., Müller, D., . . . Ansmann, A. (2009). Regional Saharan dust modelling during the SAMUM 2006 campaign. *Tellus B*, 61(1), 307-324 .
15. Griesfeller, J., Prospero, J., Kinne, S., . . . Dentener, F. (2011). Global dust model intercomparison in AeroCom phase I. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(15), 7781-7816 .
16. Kim, D., Chin, M., Bian, H., Tan, Q., Brown, M. E., Zheng, T., . . . Kucsera, T. (2013). The effect of the dynamic surface bareness on dust source function, emission, and distribution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.
17. C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneus, N., Baldasano, J. M., . . . Miller, R. L. (2011). Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust mode-Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10.5194/acp-11-13001-2011 , 13001-13027 .
18. Redelsperger, J.-L., Thorncroft, C. D., Diedhiou, A., Lebel, T., Parker, D. J & .
19. Polcher, J. (2006). African Monsoon Multidisciplinary Analysis: An international research project and field campaign. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(12), 1739-1746 .

20. Rodwell, M. J., & Jung, T. (2008). Understanding the local and global impacts of model physics changes: An aerosol example. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 10.1002/qj.298,1479-1497 .
21. Shannon, S., & Lunt, D. J. (2011). A new dust cycle model with dynamic vegetation: LPJ-dust version 1.0. *Geoscientific Model Development*, 4(1), 85-105 .
22. Shao, Y. (2001a). A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research*, 20239-20220,20254 .
23. VanCuren, R. A. (2003). Asian aerosols in North America: Extracting the chemical composition and mass concentration of the Asian continental aerosol plume from long-term aerosol records in the western United States. *Journal of Geophysical Research*, 108(D20), 4623 .
24. Vautard, R., Beekmann, M., Roux, J., & Gombert, D. (2001). Validation of a hybrid forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area. *Atmospheric Environment*, 35(14), 2449-2461 .
25. Washington, R., Todd, M., Lizcano, G., Tegen, I., Flamant, C., Koren, I., . . . Zender, C. (2006). Links between topography, wind, deflation, lakes and dust: The case of the Bodélé Depression, Chad. *Geophysical Research Letters*, 33(9), L09401