

واکاوی فضایی مجموع فراوانی سالانه بارش‌های شدید و خیلی شدید ناحیه خزری

حسین عساکره - استاد گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان
لیلا حسینجانی - دانشجوی دکتری تغییرات اقلیم، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۴

چکیده

بارش عنصری اقلیمی با وردایی زمانی - مکانی بسیار بالاست. از جلوه‌های وردایی بارش مقادیر فرین آن است که با پیامدهای محیطی - انسانی و به سبب تأثیرات گسترده در ساختارهای فیزیکی و انسانی در کانون مطالعات اقلیمی است. بنابراین، بررسی این نوع بارش‌ها در ناحیه‌ای که قطب کشاورزی است و، از طرفی، این بارش‌ها یکی از مخاطرات طبیعی است اهمیت دارد. به منظور واکاوی فضایی مجموع فراوانی سالانه بارش شدید (آستانه‌های صدک ۹۰-۹۵، ۹۵-۹۹) و خیلی شدید (صدک ۹۹ و بیشتر)، از داده‌های میان‌یابی شده بارش روزانه طی بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶ استفاده شد. برای شناسایی الگوی پراکنش مکانی از آماره موران و G_i^* استفاده شد. با توجه به مقدار نمایه موران کلی ۰/۹ (سطح اطمینان ۹۹ درصد)، الگوی فضایی برازنده بارش‌ها الگوی خوشه‌ای است. در گروه بارشی شدید، بیشتر الگوهای خوشه‌ای مثبت در بخش‌های مرکزی و غربی و بارش خیلی شدید بیشتر در بخش شرقی، مرکزی و ناخوشه‌ها در گروه اول و دوم بیشتر در بخش شرقی و در گروه سوم در بخش‌های مرکزی و جنوب غربی ناحیه است. آزمون G_i^* فراوانی خوشه‌هایی با ارزش بالا و پایین را تأیید می‌کند. در بررسی روابط مکانی با آماره دومتغیره موران، طول جغرافیایی و ارتفاعات البرز بیشترین تأثیر را در رخداد بارش‌ها دارند.

واژگان کلیدی: بارش شدید و خیلی شدید، فراوانی سالانه، نمایه موران و G_i^* ، ناحیه خزری، واکاوی مکانی.

مقدمه

بارش عنصری اقلیمی با وردایی مکانی - زمانی بسیار بالا به لحاظ شدت، مدت، و فراوانی است. در این زمینه بارش‌های شدید و خیلی شدید جدی‌ترین درگیری جوامع انسانی در سده اخیر است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) و بسیاری از اندیشمندان اقلیمی فرین اقلیمی را به شرایط یا رویدادهای شدید و غیرمعمول فیزیکی اطلاق می‌کنند که از نظر آماری مقادیر بزرگ یا کوچک عناصر یک مجموعه را شامل می‌شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۳۷۷). تغییرپذیری این بارش‌ها، با ایجاد فرین‌هایی همانند سیل و خشک‌سالی، می‌تواند ابعاد مختلف محیط‌های طبیعی و انسانی را تحت تأثیر قرار دهد. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در گزارش (۲۰۰۷) احتمال تغییر در متوسط بارش‌های فرین (شدید- کم) به‌ویژه در عرض‌های متوسط و بالا را پیش‌بینی کرده است و بر این باور است که تا اواخر قرن بیست‌ویکم شدت و فراوانی رخداد این بارش‌ها در عرض‌های میانه و مناطق مرطوب افزایش خواهد یافت. شناخت الگوی‌های فضایی فراوانی سالانه رخداد این بارش‌ها، به‌ویژه بارش‌های شدید و خیلی شدید، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای کاهش خطر احتمالی آن باعث کاهش آسیب‌پذیری و افزایش سازگاری می‌شود. بدین دلیل، بخش درخور توجهی از مطالعات اقلیمی بر شناخت و واکاوی رفتار این بارش‌ها (بسامد، شدت، و مدت)، درک الگوهای زمانی - مکانی، تغییرات، و پیامدهای آن بر محیط و درنهایت

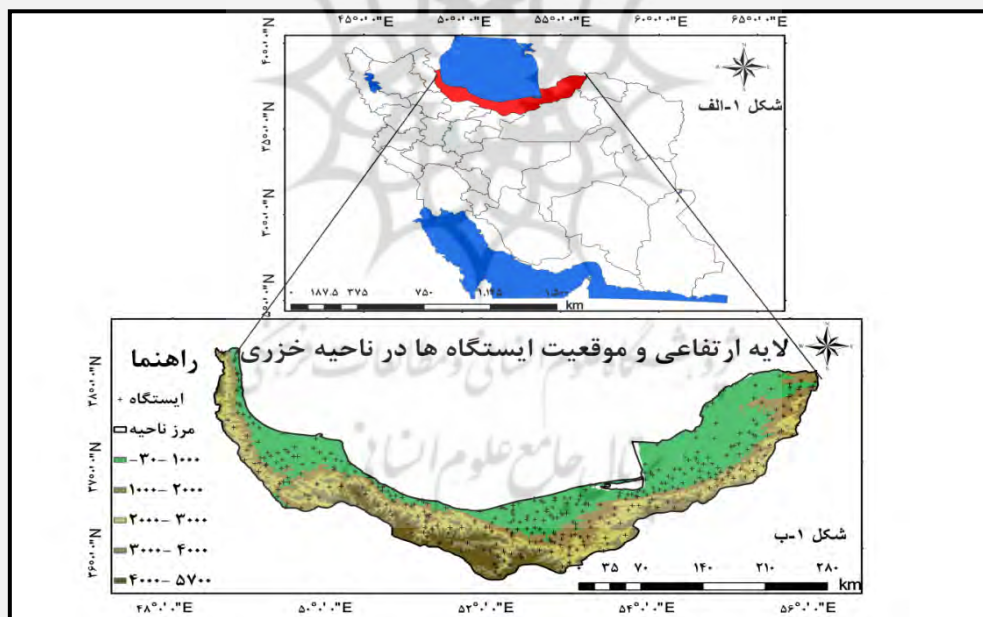
مدیریت و برنامه‌ریزی است. بدین دلیل، واکاوی مکانی (فضایی)^۱ و بررسی روابط مکانی می‌تواند شناخت دقیقی برای این هدف به‌وجود آورد. در زمین‌آمار به بررسی متغیرهایی پرداخته می‌شود که ساختار مکانی دارند. به عبارتی، به بررسی وجود یا فقدان ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود. البته، ممکن است نمونه‌های مجاور تا فاصله معین در قالب ساختار مکانی به هم وابسته باشند. در این حالت، بدیهی است که میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر احتمالاً بیشتر است، زیرا، در صورت وجود ساختار مکانی، تغییرات ایجادشده در یک فضای معین، شانس بیشتری برای تأثیرگذاری روی فضاهای نزدیک به خود نسبت به فضاهای دورتر از خود دارند (حسینی پاک، ۱۳۸۹: ۷۸). هدف از واکاوی مکانی، توصیف ساختار مکانی و استدلال این ساختارها از طریق روابط مکانی و سرانجام برنامه‌ریزی مکانی فعالیت‌های انسان است (علیچانی، ۱۳۹۴: ۶۳). اندیشمندان در نقاط مختلف جهان رفتار داده‌های بارش شدید و خیلی شدید را با تأکید بر مطالعات هم‌مدیدی و سپس بررسی روابط مکانی مؤثر بر آن‌ها مورد توجه قرار داده‌اند. مثلاً، در مطالعات با رویکرد هم‌مدیدی می‌توان اشاره کرد به جنسا و همکاران (۲۰۰۱: ۴۳) در بررسی مراکز چرخندی غرب مدیترانه بارش؛ هاند و همکاران (۲۰۰۴: ۱۵) در بررسی فرین‌های انگلستان؛ کیو و همکاران (۲۰۰۸: ۳۱۳) در بررسی روزهای بارندگی فرین کره؛ هایداگو-موز و همکاران (۲۰۱۱: ۴۹۷) در بررسی الگوهای هم‌مدید بارش فرین در شبه‌جزیره ایبری. در واکاوی فضایی داده‌های اقلیمی، روش‌های زمین‌آمار و تغییرپذیری و خودهمبستگی فضایی را می‌توان به‌عنوان رویکردی نو در ارتباط با متغیرهای محیطی مطالعات نام برد (ونگ و تینهون، ۲۰۰۵: ۳۷۹؛ مک کابی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۶۷؛ سوگوماران و همکاران، ۲۰۰۹: ۸؛ فو و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۴۰۱). چانگ (۲۰۰۷: ۱) تغییرات فضایی روند بارش‌های تابستانه (شدت و مقدار) کره جنوبی را برای سال‌های ۱۹۷۳-۲۰۰۵ بررسی و از شاخص موران برای بررسی فضایی داده‌ها استفاده کرد. نتایج کار او خودهمبستگی ضعیفی را برای بارش ماه ژوئن و آگوست نشان می‌دهد. همچنین، بجت و همکاران (۲۰۱۴: ۱) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل فضایی روند دما در صربستان (۱۹۶۱-۲۰۱۰) پرداختند. در این مطالعه از داده‌های متوسط دمای ۶۴ ایستگاه هم‌مدید استفاده شد و سپس روند دامنه‌های دما از روند خطی و همچنین روش کمترین مربعات معمولی به‌دست آمد و برای بررسی خودهمبستگی فضایی از روش موران جهانی استفاده شد. آلد و سابیرند (۲۰۱۲: ۵۰)، با بهره‌گیری از رویکرد کاربردی آمار فضایی، مناطق حساس به تغییرات آب و هوایی در منطقه کولمر واقع در شمال شرق فرانسه را مشخص کردند. روبسون و همکاران (۲۰۱۴: ۷۶) نیز در پژوهشی با استفاده از تابع K ریبلی ایستگاه‌های مهم هواشناسی جهان را بررسی و واکاوی و بهترین الگوی این تابع را برای ایستگاه‌های مورد بررسی معرفی کردند. در پژوهش‌هایی (هارتمن و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۵؛ آجنا و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۴۹) نیز به بررسی این الگوها پرداخته شده است. روستا و دوستکامیان (۲۰۱۷: ۱۰۶۹) تغییرات بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین ایران را با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی در یک دوره چهار ساله بررسی کردند. نتایج کار ایشان نشان می‌دهد که الگوهای خودهمبستگی مثبت بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین در غرب، شمال غرب، و سواحل غربی دریای خزر و خودهمبستگی منفی در ایران مرکزی و بخش‌هایی از شرق است. بارش‌های شدید و خیلی شدید در ایران و به‌ویژه ناحیه خزری بیشتر با تأکید بر مطالعات هم‌مدیدی-دینامیکی با تأکید بر گسترش و اچرخندها در مطالعات (نوری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۱؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱؛ حسینجانی، ۱۳۸۳؛ مرادی، ۱۳۸۰: ۳۳؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۵۴) بررسی شده‌اند. نوری و همکاران (۱۳۹۱: ۱)، با در نظر گرفتن شناسه هم‌مدید ابرها و بررسی مکانی آن‌ها، بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین را بررسی کردند و با تقسیم ناحیه مطالعاتی به سه بخش فراوانی ابرهای جوششی و پوششی را در

وقوع این بارش‌ها بررسی نمودند. همچنین، تحلیل همدیدی بارش‌های شدید ناحیه خزری، که به وقوع سیل منجر شده است، در برخی مطالعات (مرادی، ۱۳۸۰: ۳۳؛ مرادی، ۱۳۸۵: ۱۰۹؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۱؛ قدرتی و رحمتی، ۱۳۹۴) مورد توجه بوده است. در پژوهش‌هایی که روابط مکانی و تحلیل فضایی در معرض توجه بوده است می‌توان اشاره کرد به واکاوی مکانی پراکنش رطوبت در ایران با استفاده از شاخص موران عمومی و محلی و نیز نقاط داغ (فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۳۷)، تغییرات الگوهای خوشه‌ای فضایی بارش‌های سنگین استان گیلان (ستوده و علیجانی، ۱۳۹۴: ۶۳)، تغییرات الگوهای توزیع فضایی دما، بارش، و رطوبت نواحی مرکزی ایران با استفاده از تحلیل اکتشافی و خودهمبستگی فضایی (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۹)، بررسی تغییرات زمانی- مکانی بارش دوره سرد سال در ایران برای دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۹ با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار برای داده‌های بارش و تحلیل روند مقادیر موران عمومی با استفاده از آزمون تاو کندال (صداقت و نظری‌پور، ۱۳۹۴: ۴۲۱)، تحلیل تغییرات درون‌دهه‌ای بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین با رویکرد خودهمبستگی فضایی این تغییرات با روش‌های زمین‌آمار (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۷)، و بررسی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران با استفاده از روش‌های واکاوی مکانی (مظفری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵۴). با توجه به اهمیت بارش‌های شدید و خیلی شدید (مخاطرات طبیعی) در ناحیه خزری، شناخت و واکاوی الگوهای مکانی حاکم بر فراوانی سالانه رخداد این نوع بارش‌ها به منظور شناخت رفتار آن‌ها دارای اهمیت است. بدین منظور، آستانه‌های صدک ۹۰-۹۵ و ۹۵-۹۹ برای بارش شدید و ۹۹ و بیشتر برای بارش خیلی شدید هر روز و هر نقطه از ناحیه خزری در بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶، با به‌کارگیری روش‌های آمار مکانی، بررسی شد. موقعیت جغرافیایی ناحیه خزری شرایط مناسبی را برای شکل‌گیری این بارش‌ها به‌وجود آورده است؛ به‌طوری‌که پژوهشگران بر آن‌اند که بارش فرین جزئی از ویژگی‌های ذاتی منطقه خزری است (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳). بدین دلیل، شناخت ویژگی‌های مکانی این نوع بارش‌ها به‌صورت ماهانه و سالانه در ناحیه خزری از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. در مطالعه حاضر تلاش می‌شود فراوانی سالانه الگوهای پراکنش فضایی بارش شدید و خیلی شدید بررسی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی مجموع سالانه فراوانی وقوع بارش شدید و خیلی شدید در ناحیه خزری، از آمار بارش‌های روزانه ۳۸۵ ایستگاه، شامل ایستگاه‌های همدید، اقلیم‌شناسی، باران‌سنجی سازمان هواشناسی کشور، و باران‌سنجی وزارت نیرو، برای ناحیه خزری برای سال‌های ۱۹۶۶-۲۰۱۶ با طول دوره آماری ۵۱ سال استفاده شده است (شکل ۱- الف و ب). سواحل جنوبی خزر شامل سه استان گیلان، گلستان، و مازندران با مساحتی بالغ بر ۵۸۱۶۷ کیلومتر مربع با مختصات ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. در ابتدا، به‌دلیل یکسان نبودن طول دوره آماری ایستگاه‌ها و نایکنواختی آن‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه، اجرای میان‌یابی به روش گریجینگ، به‌عنوان روشی برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به مقادیر پهنه‌ای و حداقل بودن خطای این روش نسبت به روش‌های دیگر میان‌یابی (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۵)، بر روی داده‌های بارش روزانه در ناحیه خزری استفاده شد و همگنی داده‌های حاصل از میان‌یابی با آزمون الکساندرسون (۱۹۸۶: ۶۶۱) ارزیابی و تأیید شد و ایستگاه‌هایی با پراکنش مکانی مناسب انتخاب شد (شکل ۱- ب). با فرایند میان‌یابی داده‌های بارش روزانه، ماتریسی با ابعاد ۱۸۶۲۸ × ۶۴۷۹ (سطرها یاخته و ستون‌ها روزهای بارش) با تفکیک مکانی ۳ × ۳ کیلومتر به شبکه‌بندی منظمی تبدیل شد. برای بررسی بارش‌های فرین در آب و هواشناسی تعاریف و نمایه‌های متعدد مطلق و اختیاری (به‌صورت نمایه مساحت منحنی هم بارش خاص، نمایه آستانه درصدی، نمایه پایه صدک و ...) ارائه شده است. نمایه پایه صدک روشی برای تعیین تعداد

روزهای دارای بارش شدید و خیلی شدید براساس آستانه صدک خاص است. این نمایه، به‌ویژه در بررسی روند تغییرات بارش‌های فرین، بسیار کاربرد دارد. براساس توافق بین‌المللی، از تعداد کل روزهای بارشی، روزهایی برابر یا بالاتر از صدک ۹۰م، ۹۵م، و ۹۹م به‌ترتیب به‌مثابه روزهای دارای بارش شدید و خیلی شدید در نظر گرفته می‌شود (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۵۴). از طرفی، برای مقادیر این بارش‌ها دو آستانه مطلق و نسبی معرفی شده است. بر این اساس، در پژوهش حاضر، این بارش‌ها با استفاده از نمایه نسبی و براساس فراسنج صدک‌ها تعریف شده است. بدین ترتیب، آستانه صدک بارش برای هر یاخته و در هر روز سال برای داده‌های بالاتر از متوسط سالانه هر یاخته در پهنه مورد بررسی در سه گروه آستانه صدک ۹۰-۹۵ و ۹۵-۹۹ برای بارش شدید و آستانه صدک ۹۹ و بیشتر برای بارش خیلی شدید محاسبه شد. در گام بعدی، مجموع فراوانی وقوع سالانه بارش‌ها برای هر یاخته در هر سه گروه بارشی محاسبه شد و نقشه مجموع سالانه فراوانی وقوع این بارش‌ها برای هر یک از آستانه‌ها تهیه شد. نقشه‌های خودهمبستگی براساس نمایه موران کلی، موران محلی انسلین، و نمایه G_i^* ترسیم و واکاوی شد. شناسایی این روابط می‌تواند تأثیر عوامل مکانی بر رفتار پدیده‌ها را مورد توجه قرار دهد. آماره موران کلی رابطه ۱ ابزاری برای تحلیل فضایی براساس مکان و ویژگی‌های پدیده مورد نظر در مکان است. نتایج این آماره نشان می‌دهد رویدادها به‌صورت الگوی خوشه‌ای^۱، تصادفی^۲، یا پراکنده^۳ در مکان پراکنش دارند و با استفاده از امتیاز استاندارد z و P-value امکان ارزیابی و معنی‌داری نمایه فراهم می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۱):



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} Z_i Z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (1)$$

1. clustered
2. random
3. dispersed

که در آن Z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن $(x_i - \bar{x})$ است، w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j است، n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده، و S_0 جمع کل وزن‌های فضایی (رابطه ۲) است.

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (2)$$

برای برآورد معنی‌داری این آماره Z استاندارد شده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۱).

$$Z_I = \frac{I \ E I}{\sqrt{V I}} \quad E I \quad \sqrt{n} \quad V I \quad E I^2 \quad E I^2 \quad (3)$$

در رابطه ۳، V پراش داده‌هاست. نمایه موران کلی الگوی عمومی رویدادها را بررسی می‌کند و هیچ مشخصه‌ای از موقعیت مکانی آن‌ها ارائه نمی‌دهد. بنابراین، برای شناخت الگوی توزیع مکانی و تغییرات موقعیت و رویداد از نمایه موران محلی رابطه ۴ استفاده شده است. این آماره محل رخداد مقادیر زیاد یا کم رویدادهای موزون در فضا نسبت به توزیع خوشه‌ای و نیز نسبت به مقادیر متفاوت از پیرامون را نشان می‌دهد (انسلین، ۱۹۹۵: ۹۳).

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_i} \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \quad s_i^2 \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_{i,j} \quad \bar{x}^2 \quad (4)$$

در رابطه ۴، x_i خصیصه عارضه i و \bar{x} میانگین خصیصه مربوطه، و $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j ، و n تعداد کل عارضه‌هاست. برای شناسایی خودهمبستگی فضایی از آماره موران محلی و در گام بعدی برای شناسایی بزرگی مقادیر الگوهای فضایی آماره G_i^* ، که گتیس و ارد و گتیس (۱۹۹۵: ۳۰۶) ارائه کرده‌اند، براساس رابطه ۵ استفاده شد.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j}^2}{n} - \frac{(\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n^2}}} \quad \bar{x}^2 \quad \bar{x} \quad \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad S \quad \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{x}^2} \quad (5)$$

در این رابطه، مقدار خصیصه برای عارضه j ، $w_{i,j}$ وزن مکانی بین عارضه i و j است. n برابر با تعداد کل عارضه‌هاست. در ادامه، ارتباط بین عوامل مکانی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، و جهت جغرافیایی شیب) و فراوانی بارش فرین برای هر ماه با استفاده از ابزار تحلیل فضایی ARCGIS براساس مراحل زیر محاسبه شد:

- تهیه DEM، با تفکیک مکانی ۵۰ متر ناحیه خزری و استخراج ارتفاع، شیب، و جهات جغرافیایی نقاط پیمونگه‌ای از مدل ارتفاعی و استفاده از آماره چندمتغیره موران عمومی^۱ (رابطه ۶) به منظور برآورد وابستگی فضایی دو متغیر x_k و x_l که در این پژوهش فراوانی سالانه بارش فرین هر یک از گروه‌های آستانه و عوامل مکانی است.

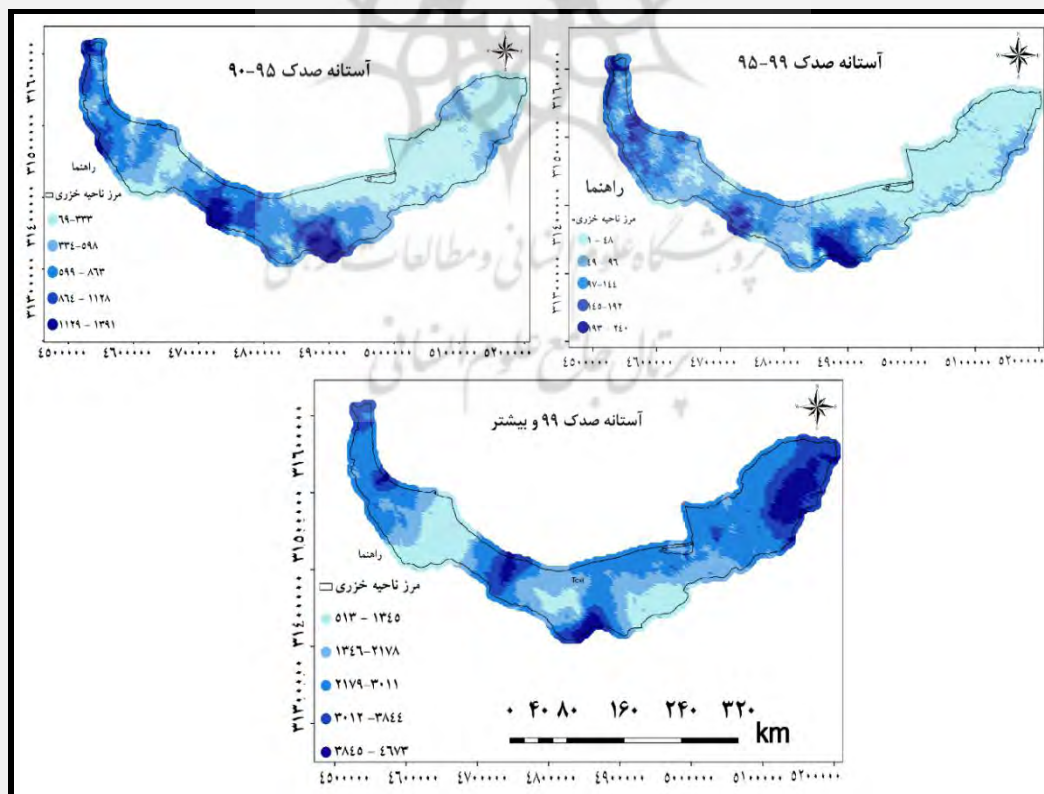
$$I_{kl} = \frac{z_k w_{zl}}{n} \quad , \quad z_k = \frac{x_k - \bar{x}_k}{\sigma_k} \quad , \quad z_l = \frac{x_l - \bar{x}_l}{\sigma_l} \quad (6)$$

در این رابطه، n شمار مشاهدات، x_k و x_l متغیرهای مورد بررسی، و w ماتریس وزن فضایی است.

یافته‌های پژوهش

الف) فراوانی بارش‌های شدید و خیلی شدید

شکل ۲ مجموع سالانه فراوانی رخداد بارش حاصل از آستانه‌های صدک ۹۰-۹۵، ۹۵-۹۹ و ۹۹ و بیشتر را در بازه زمانی مورد بررسی به طور جداگانه نشان می‌دهد (طیف رنگ از کم‌رنگ به پُررنگ فراوانی وقوع کمترین تا بیشترین را نمایش می‌دهد)، که دو گروه اول فراوانی رخداد سالانه بارش‌های شدید و گروه سوم بارش‌های خیلی شدید را در ناحیه خزری نشان می‌دهند. در گروه اول آستانه صدک ۹۵-۹۰ بارش شدید هسته بیشینه این بارش‌ها در منتهی‌الیه بخش مرکزی (استان مازندران) و جنوب غرب ناحیه خزری و بخش‌هایی از شمال غرب ناحیه خزری قرار دارد و کمترین فراوانی وقوع بارش بیشتر در بخش‌های شرقی ناحیه مشاهده می‌شود. همین‌طور در گروه دوم بارش‌های شدید، آستانه صدک ۹۹-۹۵ هسته بیشینه بارش‌ها در بخش‌های مرکزی و غرب ناحیه خزری در استان‌های گیلان و مازندران قرار دارد و فراوانی وقوع این بارش‌ها در بخش‌های شرقی ناحیه در استان گلستان بسیار کمتر است. به لحاظ فراوانی وقوع نیز، فراوانی رخداد بارش‌های شدید آستانه صدک ۹۵-۹۰ از آستانه صدک ۹۹-۹۵ در طول دوره مورد مطالعه بیشتر است. در گروه سوم بارش‌های خیلی شدید که فراوانی رخداد آن در این ناحیه از دو گروه قبلی در این بازه زمانی بیشتر است، هسته بیشینه این بارش‌ها در بخش‌های مرکزی در غرب ناحیه (بندرانزلی)، شرق، و جنوب بخش شرقی ناحیه خزری قرار دارد. هسته‌هایی با فراوانی کم رخداد بارش در بخش‌های مرکزی و جنوب غرب این ناحیه مشاهده می‌شود. بررسی پراکنش فضایی فراوانی رخداد سالانه سه گروه بارش فرین می‌تواند در بحث مخاطرات محیطی و وقوع سیلاب در برنامه‌ریزی و آسیب‌پذیری و سازگاری با اقلیم این منطقه مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲. نقشه‌های فراوانی وقوع سالانه بارش‌های فرین ناحیه خزری در بازه زمانی ۱۹۶۶-۲۰۱۶

ب) ارزیابی روابط مکانی

نتایج آماره موران کلی به صورت گرافیکی و عددی بیان می‌شود و ضریب خودهمبستگی مقادیری بین +۱ و -۱ را دارد. مقادیر نزدیک -۱ بر خودهمبستگی منفی و الگوی پراکنده داده‌ها و مقادیر نزدیک به +۱ بر خودهمبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای داده‌ها و مقدار نزدیک به صفر گویای الگوی تصادفی و عدم معنی‌داری دلالت دارد. بیش از اهمیت آماره موران آزمون معنی‌داری آن تحت فرض صفر (هیچ نوع خوشه‌بندی مکانی بین مقادیر خصیصه مرتبط با موقعیت جغرافیایی و فراوانی بارش‌ها وجود ندارد) حائز اهمیت است. زمانی که مقدار P-value بسیار کوچک و قدر مطلق مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ باشد. برای نمونه، سطح اطمینان ۹۵ درصد، آماره Z در بازه ۱٫۹۶ است. بنابراین، اگر قدر مطلق نمره Z مشاهده شده بزرگ‌تر از نمره Z بحرانی باشد، آنگاه فرض صفر رد می‌شود و معنی‌داری روابط قابل استنباط است. جدول ۱ اعداد نمایه موران کلی را برای هر سه گروه بارش نشان می‌دهد. این آماره برای هر سه گروه آستانه‌های صدک عددی بیشتر از ۰٫۹ را نشان می‌دهد که حاکی از نزدیکی این عدد به +۱ (خودهمبستگی کامل و مثبت) در هر سه گروه است. همچنین، برای آماره Z محاسبه شده برای هر سه گروه اعدادی بین ۱۰۰ تا ۱۱۱ حاصل شده است. با توجه به مقدار بالای Z و نیز کم بودن مقادیر آماره P، فرض صفر (فقدان همبستگی مکانی) برای هر سه گروه آستانه‌ها رد می‌شود. بدین ترتیب، نمایه‌های یادشده در هر سه گروه در سطح اطمینان ۹۹ درصد به لحاظ آماری معنی‌دار است. بنابراین، مجموع فراوانی وقوع سالانه بارش حاصل از سه گروه آستانه بر رفتار خوشه‌ای تأکید دارد. این بدین معنی است که مجموع فراوانی وقوع بارش‌ها با یاخته‌های مجاور ارتباط همسایگی معنی‌دار دارد و اندازه‌های مشابه در مجاورت یکدیگر تجمع دارند. این نتیجه بر پیوستگی مکانی مجموع فراوانی وقوع بارش شدید دلالت دارد و می‌توان تصور کرد که عوامل هم‌دید و ویژگی‌های محلی به صورت توأمان بر این پدیده تأثیر دارند. با فرض پراکنش طبیعی (تصادفی)، مجموع فراوانی وقوع بارش‌های شدید و خیلی شدید نمایه موران کلی مورد انتظار مقداری برابر ۰٫۰۰۰۱۵۴- را در هر سه گروه آستانه بارشی داراست.

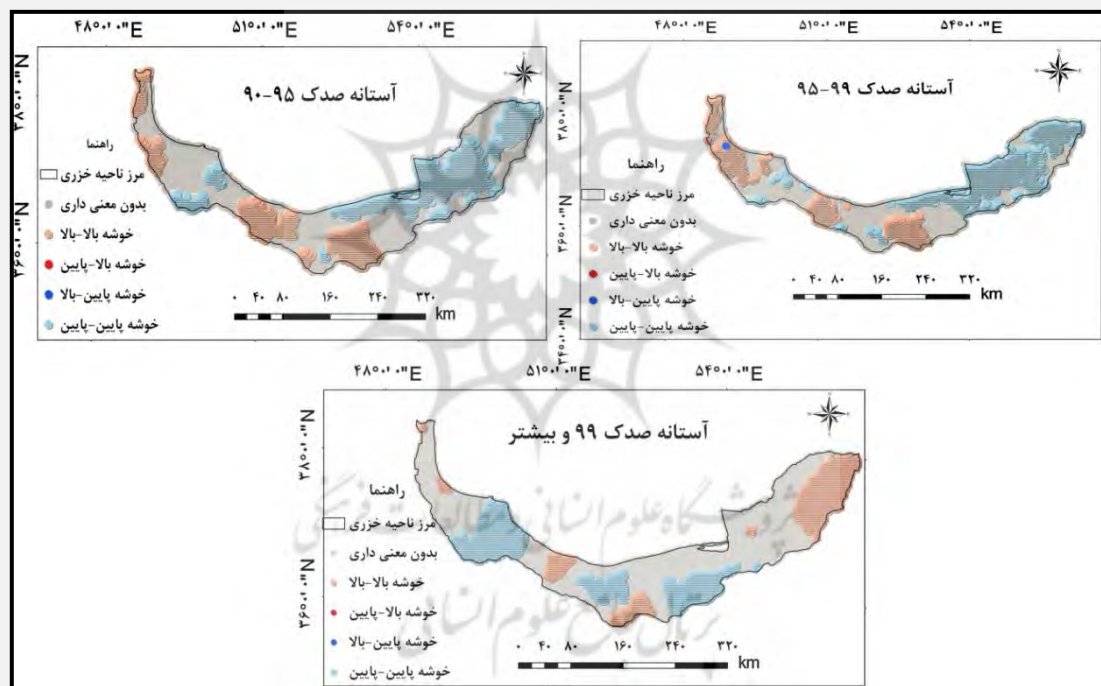
جدول ۱. خروجی سالانه آماره موران کلی برای مجموع فراوانی وقوع بارش‌های حاصل از آستانه‌های صدک در بازه ۱۹۹۶-۲۰۱۶ ناحیه خزری

آستانه‌ها	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	آماره Z	آماره P
آستانه صدک ۹۵-۹۰	۰٫۹۱۱	-۰٫۰۰۰۱۵۴	۰٫۰۰۰۰۸۰	۱۰۲٫۰۵	۰٫۰۰۰
آستانه صدک ۹۹-۹۵	۰٫۹۵۳	-۰٫۰۰۰۱۵۴	۰٫۰۰۰۰۸۰	۱۰۶٫۷۴	۰٫۰۰۰
آستانه صدک ۹۹ و بیشتر	۰٫۹۹۳	-۰٫۰۰۰۱۵۴	۰٫۰۰۰۰۸۰	۱۱۱٫۲۶	۰٫۰۰۰

ج) توزیع جغرافیایی روابط مکانی

توزیع خودهمبستگی مکانی موران محلی و G_i^* برای فراوانی رخداد هر سه گروه بارشی در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. براساس نمایه موران محلی، اگر مقادیر I مثبت باشد، نشان می‌دهد که عارضه مورد نظر توسط عوارض مشابه محاصره شده و بنابراین بخشی از آن خوشه است و اگر مقادیر I منفی باشد، به معنای آن است که عارضه توسط عوارضی که اصلاً شباهتی به آن ندارند محاصره شده است (ناخوشه). لایه خروجی ایجادشده با این نمایه خوشه‌هایی با مقادیر زیاد (HH)، که نشان‌دهنده نواحی با بالاترین فراوانی وقوع بارش فرین خودهمبستگی فضایی مثبت، خوشه مقادیر کم (LL)،

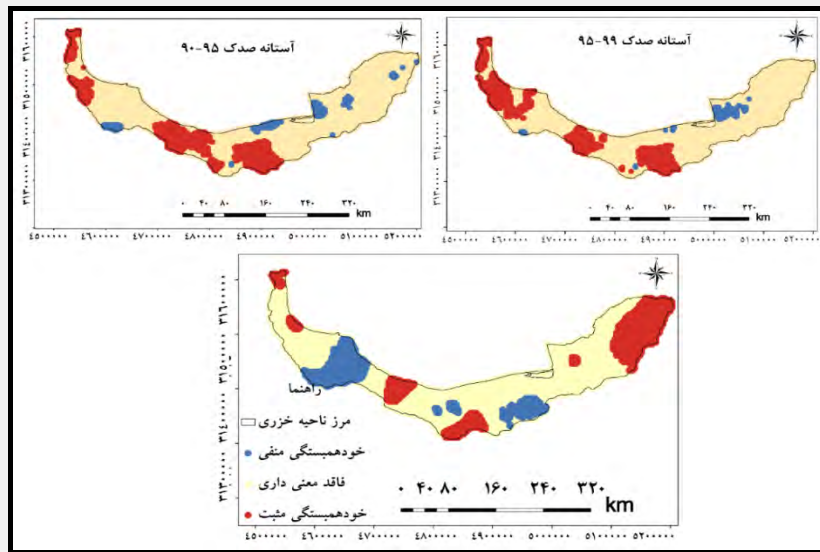
خودهمبستگی فضایی منفی، خوشه‌هایی با فراوانی وقوع کم‌بارش، ناخوشه که در آن یک مقدار زیاد با مقادیر کم محاصره شده‌اند (HL)^۱. نقاطی با فراوانی رخداد بارش بالا که با مقادیر کم احاطه شده است و نقاط منفرد توأم با مقدار کم و محصور با مقادیر زیاد (LH)^۲ - نقاطی با رخداد بارش پایین که اطرافشان را نقاطی با رخداد بارش بالا احاطه کرده‌اند از یکدیگر جدا می‌کند. در شکل ۳ براساس نمایه موران محلی برای گروه بارشی اول و دوم، خوشه‌های بالا (HH) در بخش‌های مرکزی و با هسته‌های کوچک‌تر در بخش غربی قرار دارد و خوشه‌های پایین (LL) بیشتر در بخش‌های شرقی و بخش‌های کوچکی را در جنوب غربی ناحیه به صورت پراکنده شامل می‌شود، الگوهای خوشه‌های بالا - پایین (HL) و پایین - بالا (LH) در این گروه بارشی اول در نقشه ترسیم شده مشاهده نشد؛ درحالی‌که در گروه دوم ناخوشه‌ها در بخش‌های غربی خزر کوچک‌تر و پراکنده‌تر است. علاوه بر این، الگوی خوشه‌های پایین - بالا - LH (لکه آبی‌رنگ) در بخش غربی ناحیه (استان گیلان) قرار دارد. در گروه بارشی سوم، برخلاف دو گروه اول، خوشه‌های بالا بیشتر در بخش‌های مرکزی، شرقی، و بخش‌های خیلی کوچکی از غرب ناحیه را شامل می‌شود و خوشه‌های پایین بیشتر در بخش‌های مرکزی و غرب ناحیه متمرکز است. الگوهای خوشه‌های بالا - پایین و پایین - بالا در این گروه در نقشه مشاهده نشد.



شکل ۳. نقشه‌های موران محلی بارش‌های شدید و خیلی شدید ناحیه خزری در بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶

در مرحله بعدی، به منظور کسب اطمینان از نواحی با خوشه‌هایی با ارزش بالا و پایین از نمایه G_i^* طبق رابطه ۵ استفاده شد. نتایج بررسی معنی‌داری این نمایه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد برای هر سه گروه بارشی در شکل ۴ ارائه شده است که معنی‌داری الگوهای خوشه‌ای حاصل شده از موران محلی را تأیید می‌کند. همه خوشه‌ها در هر سه گروه آستانه‌های بارشی توسط ناخوشه‌هایی که عارضه به لحاظ آماری معنی‌دار نیست احاطه شده‌اند. همچنین، جدول ۲ تغییرات درصد مساحت تحت پوشش آستانه‌های بارشی را در هر سه گروه بر اساس نمایه G_i^* نشان می‌دهد.

1. High-Low
2. Low-High



شکل ۴. نقشه‌های G_i^* بارش‌های شدید و خیلی شدید ناحیه خزری در بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶

جدول ۲. درصد تغییرات مساحت تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی مجموع فراوانی وقوع سالانه بارش‌های شدید و

خیلی شدید ناحیه خزری در بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶

نوع الگو	آستانه صدک ۹۵-۹۰	آستانه صدک ۹۹-۹۵	آستانه صدک ۹۹ و بیشتر
خودهمبستگی منفی	۵,۹۶	۱,۶۲	۱۱,۸۴
فاقد معنی داری آماری	۷۷,۸۶	۸۲,۲۵	۷۱,۶۵
خودهمبستگی مثبت	۱۶,۱۸	۱۶,۱۳	۱۶,۵۱

جدول ۳. روابط مکانی بین بارش شدید و خیلی شدید با عوامل جغرافیایی در ناحیه خزری برای بازه ۱۹۶۶-۲۰۱۶

(اعداد داخل پرانتز آماره D (میزان خطای) رد کردن فرض صفر را نشان می‌دهد)

آستانه‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	شیب	جهت جغرافیایی شیب
آستانه صدک ۹۵-۹۰	۰,۴۲ (۰,۰۰۰)	-۰,۳۷ (۰,۰۰۰)	-۰,۱۵ (۰,۰۰۰)	-۰,۱۱ (۰,۰۰۰)	-۰,۰۰۵ (۰,۰۶۶)
آستانه صدک ۹۹-۹۵	-۰,۵۴ (۰,۰۰۰)	-۰,۲۲ (۰,۰۰۰)	-۰,۱۴ (۰,۰۰۰)	-۰,۰۶۲ (۰,۰۰۰)	-۰,۰۰۴ (۰,۰۷۳)
آستانه صدک ۹۹ و بیشتر	۰,۴۲ (۰,۰۰۰)	۰,۳۵ (۰,۰۰۰)	۰,۲۱ (۰,۰۰۰)	۰,۱۰ (۰,۰۰۰)	۰,۰۰۱۵ (۰,۰۸۹)

بر طبق این جدول، خوشه‌های مثبت (خودهمبستگی مثبت) بیشترین مساحت تحت پوشش را در هر سه گروه بارشی داراست و خوشه‌هایی با خودهمبستگی منفی بارش‌های خیلی شدید بیشترین درصد مساحت را داراست.

در نهایت، به منظور تعیین روابط بین عوامل جغرافیایی (نظیر طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، و جهت جغرافیایی) با مجموع فراوانی سالانه هر سه گروه بارش آستانه‌های صدکی از آماره چندمتغیره موران عمومی استفاده شد. نتایج این بررسی در جدول ۳ برای هر گروه آمده است. اعداد بالایی مقدار آماره و اعداد داخل پرانتز در زیر آماره‌ها میزان خطای رد کردن فرض صفر (فقدان رابطه بین فراوانی بارش با عامل ارائه شده) را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در این جدول ذکر شده است، بارش‌های شدید و خیلی شدید آستانه صدک ۹۵-۹۰ و صدک ۹۹ و بیشتر

با طول جغرافیایی رابطه مثبت و معنی‌دار و آستانه صدک ۹۵-۹۹ رابطه منفی معنی‌دار دارد، ولی آستانه صدک ۹۰-۹۵ و آستانه صدک ۹۵-۹۹ با عرض جغرافیایی و ارتفاع رابطه منفی معنی‌دار دارد، ولی با جهات جغرافیایی شیب حتی برای آستانه صدک ۹۹ و بیشتر روابط ایجاد شده به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. همچنین، عرض جغرافیایی، ارتفاع، و شیب رابطه مثبت معنی‌دار برای آستانه صدک ۹۹ و بیشتر دیده می‌شود. در بین عوامل جغرافیایی، طول و عرض و ارتفاع نقش قوی‌تری در این بارش‌ها دارند. به‌رغم معنی‌داری آماری روابط ارائه شده در جدول ۳، بررسی این روابط نشان می‌دهد که تأثیر عوامل جغرافیایی در فراوانی رخداد بارش‌ها ضعیف‌تر از عملکرد و نفوذ سامانه‌های هم‌دید است، زیرا طول مسیر سامانه‌های هم‌دید از روی دریا و جهت‌گیری این سامانه‌ها نسبت به رشته‌کوه‌های البرز نقش اساسی در فراوانی رخداد فرین‌ها می‌تواند ایفا کند.

نتیجه‌گیری

واکاوی روابط فضایی به‌منظور شناخت پراکنش فضایی عارضه‌ها و خودهمبستگی مکانی یکی از روش‌های بهینه در شناخت رفتار مکانی عارضه‌هاست. هدف از این پژوهش تبیین فضایی الگوی مجموع فراوانی سالانه بارش‌های شدید و خیلی شدید حاصل از صدک ۹۰-۹۵ و ۹۵-۹۹ برای بارش‌های شدید و آستانه صدک ۹۹ و بیشتر برای بارش‌های خیلی شدید با کاربرد آماره موران کلی، موران محلی، و نمایه G_i^* است. بدین‌منظور، از داده‌های میان‌یابی‌شده بارش‌های روزانه ایستگاه‌های ناحیه خزری به طول آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶ برای ۵۱ سال استفاده شد. نقشه‌های فراوانی رخداد مجموع سالانه بارش‌ها نشان می‌دهد بیشترین رخداد این بارش‌ها در مرتبه اول مربوط به گروه سوم (صدک ۹۹ و بیشتر) و سپس گروه اول بارش‌ها (صدک ۹۵-۹۹) است و گروه دوم بارش‌ها (صدک ۹۰-۹۵) رخداد فراوانی کمتری دارد. همچنین، هسته‌های بیشینه این بارش‌ها در گروه اول و دوم در بخش‌های مرکزی و غربی و در گروه سوم در بخش‌های شرقی نیز دیده می‌شود که این نشان‌دهنده گستره نفوذ بیشتر بارش‌های گروه سوم است. در بررسی خودهمبستگی‌های مکانی، نمایه موران کلی بالای ۰/۹ است که معنی‌داری آماری این ضریب را در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان می‌دهد و الگوی حاکم بر رفتار این سه گروه بارشی الگوی خوشه‌ای بالاست. براساس نقشه‌های موران محلی، نواحی الگوهای خوشه‌ای (خودهمبستگی فضایی مثبت) و ناخوشه‌ها به تأثیر از سامانه‌های هم‌دید و آرایش ارتفاعات البرز در بخش‌های مختلف ناحیه خزری دیده می‌شود که در گروه اول و دوم بیشتر الگوهای خوشه‌ای در بخش‌های مرکزی و غربی، در گروه سوم بیشتر در بخش شرقی و مرکزی ناحیه خزری قرار دارد. همچنین، ناخوشه‌ها در گروه اول و دوم بیشتر در بخش شرقی و در گروه سوم در بخش‌های مرکزی و جنوب غربی ناحیه مشاهده می‌شود. نقشه‌های نمایه G_i^* تأییدی بر الگوهای خوشه‌ای خودهمبستگی حاصل از نمایه موران محلی در سطح اطمینان ۹۹ درصد برای گروه‌های بارشی است. همچنین، در بررسی روابط عوامل جغرافیایی و بارش‌ها، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقش قوی‌تری در ناحیه خزری، علاوه بر نقش سامانه‌های هم‌دید، دارد. چنان‌که در مطالعات علیجانی (۱۳۷۴: ۳۷) و بیات اینچه‌برون (۱۳۹۰) بر نقش کوه‌های البرز در بارش‌ها تأکید شده است. همچنین، بر گستره سامانه‌های هم‌دید در مطالعات مفیدی و همکاران (۱۳۸۷)، مفیدی و همکاران (۱۳۸۶: ۱۵۴)، جلالی و همکاران (۱۳۹۶: ۳۹)، و جهان‌بخش و کریمی (۱۳۷۸: ۱۰۷) تأکید شده است. در مجموع، ناحیه خزری بیشتر تحت تأثیر بارش‌های گروه سوم و اول قرار دارد که گستره زیادی از منطقه را خصوصاً در بخش‌های غربی و مرکزی دربر می‌گیرد و، با توجه به فراوانی رخداد این نوع بارش‌ها در نواحی مستعد سیلاب، براساس مطالعات مرادی (۱۳۸۰: ۳۳)، کردجزی و همکاران (۱۳۹۳: ۳)، عزیززی و صمدی (۱۳۸۶: ۱)، و قدرتی و رحمتی (۱۳۹۴) واکاوی دقیق پراکنش و روابط مکانی این عارضه می‌تواند در شناسایی مکان‌هایی که بروز سیلاب در آن‌ها بیشتر است مؤثر واقع شود و در مدیریت و برنامه‌ریزی مخاطرات محیطی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و افزایش سازگاری استفاده شود.

منابع

- بیات اینچه‌برون، ع. (۱۳۹۰). مطالعه نقش رشته‌کوه‌های البرز در توزیع بارش‌های منطقه خزری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- جهان‌بخش اصل، س. و کریمی، ف. (۱۳۷۸). تحلیل سینوپتیکی تأثیر پُرفشار سیبری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۴(۵۴-۵۵): ۱۰۷-۱۳۱.
- جلالی، م.؛ شاهبایی، ع. و کمریان، و. (۱۳۹۶). شناسایی الگوهای همید بارش‌های شدید تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۵۹): ۲۳-۳۹.
- حسینجانی، ل. (۱۳۸۳). شناسایی تیپ‌های هوای مؤثر بر بارش سواحل جنوبی خزر (گرگان- بندرانزلی) برای دوره (۱۹۹۱-۲۰۰۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، تهران.
- حسینی پاک، ع. (۱۳۸۹). زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
- ستوده، ف. و علیجانی، ب. (۱۳۹۴). رابطه پراکندگی فضایی بارش‌های سنگین و الگوهای فشار در گیلان، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۱): ۶۳-۷۳.
- صداقت، م. و نظری‌پور، ح. (۱۳۹۴). تغییرات زمانی- مکانی بارش‌های دوره سرد سال در ایران (۱۹۵۰-۲۰۰۶)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۳): ۴۲۱-۴۳۳.
- عزیزی، ق. و صمدی، ز. (۱۳۸۶). تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۶۰): ۶۱-۷۴.
- علیجانی، ب. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۳): ۱-۱۴.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۴). نقش کوه‌های البرز در توزیع ارتفاعی بارش، مجله تحقیقات جغرافیایی، ش ۳۸، اصفهان.
- عساکره، ح.؛ خوش‌رفتار، ر. و ستوده، ف. (۱۳۹۱). بارش‌های سنگین روزانه سپتامبر در ارتباط با الگوهای همید در استان گیلان (۱۹۷۶-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۶۶): ۲-۵۱.
- عساکره، ح. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، جغرافیا و توسعه، ۶(۱۲): ۲۵-۴۲.
- عساکره، ح. ۱۳۹۰. مبانی اقلیم‌شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان.
- عسگری، ع. (۱۳۹۰). تحلیل‌های آمار فضایی با ArcGIS، سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- فلاح قاهره، غ.؛ اسدی، م. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴): ۶۳۷-۶۵۰.
- قدرتی، ع. و رحمتی، س. (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های رگباری منجر به سیل در غرب گیلان، سومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب، ۲۱-۲۳ مهرماه ۱۳۹۴.
- کردجی، م.؛ رحمن‌نیا، م. و باقری، س. (۱۳۹۳). بررسی وقوع سیلاب در استان گلستان، مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۳-۲۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۳.

- مظفری، غ؛ مزیدی، ا. و شفیعی، ش. (۱۳۹۶). واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران، جغرافیا و توسعه، ۱۵(۴۶): ۱۸۴-۱۹۶.
- مفیدی، ع؛ زرین، آ. و جانباز قبادی، غ. (۱۳۸۷). تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید زمستانه و مقایسه آن با الگوی بارش‌های شدید پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، اولین کنفرانس بین‌المللی تغییرات زیست‌محیطی منطقه خزر، ۳ تا ۴ شهریورماه ۱۳۸۷، دانشگاه مازندران، بابلسر.
- مفیدی، ع؛ زرین، آ. و جانباز قبادی، غ. (۱۳۸۶). تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳(۳): ۱۳۱-۱۵۴.
- مرادی، ح. (۱۳۸۰). بررسی سینوپتیک سیلاب ۲۱ آبان‌ماه سال ۱۳۷۵ نواحی مرکزی مازندران، مجله رشد آموزش جغرافیا، ۵۶: ۳۳-۴۱.
- مرادی، ح. (۱۳۸۵). پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها بر اساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸(۵۵): ۱۰۹-۱۳۱.
- میرموسوی، ح؛ دوستکامیان، م. و ستوده، ف. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل الگوی فضایی تغییرات درون‌دهه‌ای بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۹۳(۳): ۶۷-۷۶.
- نظری‌پور، ح؛ دوستکامیان، م. و علیزاده، س. (۱۳۹۴). بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران)، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۱(۱): ۹۹-۱۱۷.
- نوری، ح. و ایلدرمی، ع. (۱۳۹۱). الگوهای همدید فشار تراز دریا در رخدادهای بارشی سنگین و فوق‌سنگین سواحل جنوبی خزر، فضای جغرافیایی، ۳۹: ۱۲۱-۱۳۷.
- نوری، ح؛ غیور، ح؛ مسعودیان، ا. و آزادی، م. (۱۳۹۱). بررسی ابرهای مولد بارش‌های فوق‌سنگین و سنگین سواحل جنوبی خزر، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۷(۳): ۱-۲۲.
- نوری، ح؛ غیور، ح؛ مسعودیان، ا. و آزادی، م. (۱۳۹۲). تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت و منابع رطوبتی بارش سواحل جنوبی خزر، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۴(۵۱): ۱-۱۴.
- Agena, I.; Macdonald, N. and Morse, A.P. (2014). Variability of maximum and mean average temperature across Libya (1945–2009), *Theoretical and Applied Climatology*, 117: 549-563.
- Alexandersson, H. (1986). A Homogeneity Test Applied to precipitation data, *Journal of Climatology*, 6: 661-675.
- Alijani, B. (1995). The Role of Alborz Mountains in Rainfall Elevation Distribution, *Geographical Research Magazine*, No. 38, Isfahan.
- Alijani, B. (2015). Spatial Analysis, *Journal of Environmental Risks*, 2(3): 1-14.
- Allard, D. and Soubeyrand, S. (2012). Skew-normality for climatic data and dispersal models for plant epidemiology: when application fields drive spatial statistics, *Spatial Statistics*, 1: 50-64.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association-LISA, *Geographical Analysis*, 27: 93-115.
- Asakereh, H. (2008). Application of the Kriging method for precipitation interception, *Geography and Development*, 6(12): 25-42.
- Asakereh, H.; Khosh Raftar, R. and Sotoudeh, F. (2012). Heavy rainfall in September in relation to the patterns in the Gilan province (1976-2005), *Natural geography studies*, 42-46: 2-51.

- Asgari, A. (2011). Geostatistical Analysis with ARCGIS, Tehran Information and Communication Technology Organization, Tehran Municipality.
- Azizi, GH. and Samadi, Z. (2007). Synoptic Pattern Analysis of the Flood October 28, 2003 Gilan and Mazandaran Provinces, Geographical Research, Tehran, Iran. PP. 61-74.
- Bajat, B.; Blagojevic, D.; Kilibarda, M.; Lukovic, J. and Tomic, I. (2014). Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961-2010, Theoretical and Applied Climatology: 1-13.
- Bayat Inchebron, A. (2011). Study of the role of the Alborz Mountain Range in distribution of precipitation in the Caspian region, Master's Thesis, Professor Abbas Mofidi, Ferdowsi University of Mashhad.
- Chang, H, Kwon, W, 2007. Spatial variations of summer precipitation trends in South Korea, 1973–2005, Environmental Reserch letters 2, 045012. pp. 1-9.
- Cordjzi, M.; Rahmannaya, M. and Bagheri, S. (2014). Investigating the occurrence of flood in Golestan province, Proceedings of the 16th Iranian Geophysical Conference, May 23 to 25, 93.
- Chang, H, Kwon, W (2007). Spatial variations of summer precipitation trends in Sout Korea, 1973-2005, Environmental research letters 2, pp:1-9.
- Fallah Qalhari, GH.A.; Asadi, M. and DadashiRoodbari, A. (2015), Spatial Analysis of the Dispersion of Humidity in Iran, Natural Geography Research, 46(4): 637-650.
- Fu, W.J.; Jiang, P.K.; Zhou, G.M. and Zhao, K.L. (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China, Biogeoscinces, 11(8): 2401-2409.
- Godrati, A. and Rahmati, S. (2015). Synoptic Analysis of Flood in West Gilan, Third National Conference on Flood Engineering and Management, October 21-23, 2013.
- Hand, W.; Fox, N. and Collier, C. (2004). A study of twentieth-century extreme rainfall events in the United Kingdom with implication for forecasting, Meteorol. Appl, 11, 15-31.
- Hartmann, H. ; Becker, S. and King, L. (2008). Quasi-Periodicities in Chinese Precipitation Time Series, Theoretical and Applied Climatology, 92: 155-163.
- Hidalgo-Muoz, J.M.; Argueso, D.; Gmiz-Fortis, S.R.; Esteban-Parra, M.J. and Castro-Dez, Y. (2011). Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula, Journal of Hydrology, 409: 497-511.
- IPCC (2007). The physical science basis, Contribution of Working Group I to Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom, and Cambridge University Press.
- Jahanbakhsh Asl, S. and Karimi, F. (1999). Synoptic Analysis of the Effect of Siberian High Pressure on the Precipitation of the South Coast of the Caspian Sea, Journal of Geographic Research, 14(54-55): 107-131.
- Jalali, M.; Shabahi, A. and Kamareyan, V. (2017). Identification of the patterns of summer severe rainfall in the southern coast of the Caspian Sea, Geography and Planning, 23(59): 23-39.
- Jansa, A.; Genoves, A.; Picornell, M.; Angeles, C.; Joan, R. and Carretero, Olinda (2001). Western Mediterranean cyclones and heavy rain, Meteorol. App., 8: 43-56.
- Killeen, T.J.; Douglas, M.; Consiglio, T.; Jorgensen, P.M. and Mejia, J. (2007). Dry spots and wet spots in the Andean hotspot, Journal of Biogeography, 34(8): 1357-1373.
- Kyou, L.; Gyun, P. and Wan, K. (2008). Heavy rainfall events lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea, J. of the Meteorological Society of Japan, 86: 313-333.

- Mc Cabe, M.F.; Kalma, J.D and Franks, S.W. (2005). Spatial and temporal patterns of land surface fluxes remotely sensed surface temperatures within an uncertainty modelling framework, *Hydrology and Earth system Sciences*, 9(5): 467-480.
- Mirmosavi, H.; Dostkamian, M. and Sotoudeh, F. (2015). Investigation and analysis of the spatial pattern of intra-decade changes of heavy and super heavy rainfall in Iran, *Geography and environmental planning*, 93(3): 67-76.
- Mofidi, A.; Zarrin, A. and Janbaz Ghobadi, GH. (2007). Determination of the pattern of precipitation and extreme rainfall in the southern coast of the Caspian Sea, *Journal of Earth and Space Physics*, 3(3): 131-154.
- Mofidi, A.; Zarrin, A. and Janbaz Ghobadi, GH. (2008). Determining the pattern of extreme winter rainfall and comparing it with the pattern of heavy precipitation in the southern coast of the Caspian Sea, *The first international conference on ecological changes in the Caspian region*, September 3 to 4, 2008, Mazandaran University, Babolsar.
- Moradi, H. (2001). Synoptic Flood Investigation, November 21, 1996, Mazandaran Central Districts, *Geography Education Growth Magazine*, 56: 33-41.
- Moradi, H. (2006). Prediction of flood events based on synoptic locations on the southern coast of the Caspian Sea, *Geographic Research*, 39(55): 109-131.
- Mozafari, GH.; Mazidi, A. and Shafiee, SH. (2017). Analysis of the Relationships of Iran's extreme Rainfall, *Geography and Development*, 15(46): 184-196.
- Nori, H.; Ghayour, H.; Massoudian, A. and Azadi, M. (2013). Frequency Analysis of the Convergence Function of Moisture Flux and Moisture Resources in Precipitation of South Caspian Sea, *Geography and Environmental Planning*, 24(51): 1-14.
- Nozari Pour, H.; Dostkamian, M. and Alizadeh, S. (2015). Investigating patterns of spatial distribution of temperature, precipitation and humidity using exploratory analysis of land statistics (case study: central regions of Iran), *Journal of Earth and Space Physics*, 41(1): 99-117.
- Ord, J.K. and Getis, Arthur (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application, *Geographical analysis*, 27(4): 286-306.
- Robeson, S.M.; Li, A. and Hunang, C. (2014). Point- pattern analysis on the sphere *Statistics, Spatial Statistics*, 10: 76-86.
- Rousta, I.; Doostkamian, M.; Haghghi, E.; Ghafarian, H. and Yarahmadi, P. (2017). A Analysis of Spatial Autocorrelation Patterns of Heavy and Super-Heavy Rainfall in Iran, *Advances in Atmospheric Sciences*, 34: 1069-1081.
- Sedaghat, M. and Naziripour, H. (2015). Time-temporal variations of rainfall in the cold season in Iran (1950-2006), *Natural Geography Research*, Tehran, Iran. PP. 421-433.
- Sotoudeh, F. and Alijani, B. (2015). Spatial Spread Distribution of Heavy Rainfall and Pressure Patterns in Gilan, *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 2(1): 63-73.
- Sugumaran, R.; Larson, S.R. and DeGroote, J.P. (2009). Spatial-temporal cluster analysis of county-based human West Nile Virus incidence in the continental United States, *International journal of health geographice*, 8(1): 8-43.
- Wang, Q; Ni, J. and Tenhunen, J. (2005). Application of a geographically weighted regression analysis to estimate net primary production of Chines forest ecosystems, *Global Ecology Biogeography*, 14(4): 379-393.