



تعیین الگوی پراکنش و همبستگی مکانی وقوع سیلاب استان اردبیل با استفاده از شاخص موران در سامانه اطلاعات جغرافیایی



امیرحسین قربانی^۱، رئوف مصطفی زاده^{۲*}، محسن ذبیحی^۳

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷ / پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

چکیده

نمایش الگوهای توزیع مکانی و تعیین روند تغییرات مکانی داده‌های هیدرواقليمی دارای اهمیت بالایی است. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف تعیین همبستگی مکانی و الگوی وقوع داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب تعداد ۳۲ ایستگاه در یک دوره آماری ۴۳ ساله در استان اردبیل با دوره بازگشت‌های مختلف و استفاده از شاخص موران برنامه‌ریزی شده است. با استفاده از نرم‌افزار CumFreq مقادیر دبی سیلاب در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله محاسبه شدند. همبستگی مکانی از طریق شاخص موران محلی محاسبه شد و در ادامه الگوی وقوع خوشه‌ای سیلاب با استفاده از شاخص موران محلی انسلین تعیین شدند.

امیرحسین قربانی^۱، رئوف مصطفی زاده^۲ (✉)، محسن ذبیحی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری- سیستم‌های اطلاعات مکانی،

موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی، گرگان، ایران

۲. دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه

تربیت مدرس، تهران، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.1977963.2036

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: raofmostafazad

براساس نتایج، مقادیر شاخص موران عمومی، در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر ۰/۱۶۸، ۰/۲۰۱، ۰/۲۶۸، ۰/۱۱۵ محاسبه شده است. کم‌ترین همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۵۰ ساله و بیش‌ترین همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۲۵ ساله مشاهده شده است. در دو ایستگاه هیدرومتری گیلانده و پل الماس، دارای الگوی خوشه‌ای زیاد-زیاد (HH) مشاهده شد. از طرفی، برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری دامنه کوهستان سبلان و نیز محدوده شمال‌شرقی استان اردبیل دارای مقادیر آماره Z غیرمعنی‌دار است که به معنی عدم وجود الگوی خوشه‌ای در داده‌های ایستگاه‌های مذکور با ایستگاه‌های مجاور است. در مجموع می‌توان گفت که تفاوت در الگوی خوشه‌ای بودن دبی حداکثر لحظه‌ای می‌تواند با شرایط متفاوت اقلیمی، توپوگرافی و تفاوت در عوامل ایجاد سیل در حوزه‌ها مرتبط باشد. مطالعه تغییر الگوی مکانی و روند ویژگی‌های بارش مولد سیلاب (شدت، مدت، فراوانی)، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی و تجاوز به حریم رودخانه‌ها از پیشنهادها پژوهشی است. وقوع برخی سیلاب‌ها در اثر تغییر در ویژگی‌های بارش است که در اثر تشدید وقایع حدی و تغییر اقلیم اتفاق افتاده است، لذا ارزیابی الگوی وقوع بارش‌ها و نیز شرایط مؤثر بر تشدید سیلاب نیازمند ارزیابی جامع‌تری است.

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: نقشه‌بندی الگوهای توزیع مکانی و تعیین روند تغییرات مکانی داده‌های محیطی دارای اهمیت بالایی است. درک ویژگی‌های مکانی و زمانی سیلاب به‌منظور آگاهی و فهم مکانیسم‌های وقوع سیل و در نتیجه برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر آن در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی ضروری است. وقوع سیلاب می‌تواند ناشی از فرآیندهای مختلف موجود در اکوسیستم آبخیز باشد. شایع‌ترین دلیل طبیعی وقوع سیلاب ناشی از بارندگی شدید، ذوب برف و یا بارش در شرایط خاک مرطوب است. لذا، براساس زمان یا فصل وقوع سیلاب، می‌توان خصوصیات هیدرولوژیکی را که در ایجاد و وقوع سیلاب دخیل هستند، تعیین نمود. از آنجایی که الگوهای وقوع بارندگی و فرآیندهای هیدرولوژیکی دارای الگوهای مکانی مشخصی هستند، جریان‌های شدید رودخانه‌ای که از این فرآیندها ناشی می‌شوند، نیز دارای ساختار مکانی خواهند بود. به‌ویژه اینکه الگوی مکانی دوره‌های بازگشت حداکثر سیل ناشی از یک واقعه آب و هوایی منفرد در یک منطقه، معمولاً دارای وابستگی مکانی هستند. به عبارت دیگر، زمانی که یک سیلاب در یک منطقه خاص اتفاق می‌افتد، به احتمال زیاد در مناطق همجوار نیز در نتیجه یک رگبار بارش یکسان، جریان‌های اوج سیلاب نیز اتفاق خواهد افتاد که نشان دهنده همبستگی مکانی است. شاخص موران شباهت بین مکان‌ها را به‌عنوان تابعی از فاصله توصیف و کمی می‌کند و این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی مکانی بین متغیرها از طریق تأخیر با فواصل مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. پویایی جریان و ویژگی‌های حوزه آبخیز نیز به عنوان محرک رفتار سیل شناخته می‌شوند. وقوع و شدت رویدادهای شدید اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌عنوان شاخص تغییرات اقلیمی در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله استان اردبیل در ایران رو به افزایش است. باید اشاره می‌شود که هر ساله در بخش‌های مختلف استان اردبیل سیلاب‌های مهمی اتفاق می‌افتد که با توجه به وجود تنوع توپوگرافی و اقلیمی، انتظار می‌رود که وقوع سیلاب دارای الگوهای متفاوتی باشد و نیاز است تا این امر مورد بررسی و مطالعه بیش‌تر قرار گیرد. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف تعیین همبستگی مکانی و الگوی وقوع داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب استان اردبیل در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از شاخص موران برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌منظور بررسی الگوهای تغییرات مکانی وقوع سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل صورت پذیرفت. در راستای نیل به اهداف پژوهش، داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد. پس از بررسی داده‌ها و اطمینان از صحت و درستی داده‌های هیدرولوژیک اخذ شده، تعداد ۳۲ ایستگاه (در یک دوره آماری ۴۳ ساله) به‌منظور تحلیل‌های بیش‌تر انتخاب شد. در گام بعدی، دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب با استفاده از نرم‌افزار CumFreq محاسبه شد. در نرم‌افزار Cumfreq پس از برازش توزیع‌های آماری، براساس شاخص نکویی برازش، توزیع مناسب برای داده‌های هر ایستگاه انتخاب و مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف براساس آن مورد محاسبه قرار گرفت. سپس، الگوی تغییرات مکانی دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف (۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله) در استان اردبیل نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش معکوس وزنی فاصله (IDW) نقشه‌بندی شد. خودهمبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری نیز با استفاده از شاخص موران عمومی (Global Moran I) و تشخیص خوشه یا ناخوشه‌بودن آن‌ها نیز با کمک شاخص موران محلی انسلین (Anselin Local Moran I) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که ایستگاه بران در دوره‌های بازگشت مختلف بیش‌ترین مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای را به خود اختصاص داده است. کم‌ترین مقادیر مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره بازگشت ۵ ساله با مقدار ۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه به ایستگاه ویلادرق تعلق دارد. در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله نیز کم‌ترین مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای برای ایستگاه نور با مقادیر به ترتیب برابر با ۱/۷۸، ۲/۴۲ و ۲/۹۷ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. توزیع آماری مناسب در همه ایستگاه‌ها تعیین شد. به‌عنوان نمونه در ایستگاه هیدرومتری کوزه تیراقی به‌عنوان نمونه توزیع تعمیم‌یافته Dagum برای محاسبه مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج، مقادیر شاخص موران عمومی، در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر ۰/۱۶۸، ۰/۲۰۱، ۰/۲۶۸، ۰/۱۱۵ محاسبه شده است. کم‌ترین همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۵۰ ساله و بیش‌ترین

همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۲۵ ساله مشاهده شده است. در دو ایستگاه گیلانده و پل الماس، دارای الگوی خوشه‌ای زیاد-زیاد (HH) مشاهده شد. از طرفی، برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری دامنه کوهستان سیلان و نیز محدوده شمال شرقی استان اردبیل دارای مقادیر آماره Z غیرمعنی‌دار است که به معنی عدم وجود الگوی خوشه‌ای در داده‌های ایستگاه‌های مذکور با ایستگاه‌های مجاور است.

نتیجه‌گیری: در ایستگاه‌های هیدرومتری دوست‌بیگلو، مشیران و سامیان در اکثر دوره بازگشت‌ها با وقوع سیلاب شدیدتری مواجه بوده‌اند. هم‌چنین مقادیر دبی در دوره‌های بازگشت مختلف مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری آبگرم، اهل ایمان، کوزه‌تپراقی و فیروزآباد بالا بوده است. دلیل سیل‌خیزی بالای حوزه‌های مذکور توپوگرافی شدید محدوده بالادست است که پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد. براساس مقادیر شاخص موران عمومی در دوره‌های بازگشت مختلف، بیش‌ترین مقدار همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۲۵ ساله مشاهده شده است. قابل‌ذکر است که وقوع سیلاب در در دوره بازگشت مذکور ناشی از بارش‌های شدید است که می‌تواند در بسیاری از مناطق به‌صورت هم‌زمان اتفاق بیفتند. در دوره‌های بازگشت پایین (۵ ساله) مقادیر دبی سیلابی ممکن است تحت تأثیر بارش‌ها در مقیاس محلی باشد و از طرفی، در دوره بازگشت بالا (۵۰ ساله) وقوع دبی‌های سیلابی در ایستگاه‌ها متفاوت خواهد بود و به همین دلیل مقادیر شاخص موران عمومی کاهش پیدا کرده است. درمجموع می‌توان گفت که تفاوت در الگوی خوشه‌ای بودن دبی حداکثر لحظه‌ای با شرایط متفاوت اقلیمی، توپوگرافی و تفاوت در عوامل ایجاد سیل در حوزه‌ها مرتبط باشد. باید ذکر شود که عوامل متعدد دیگری نیز در الگوی وقوع سیل مؤثرند که می‌توان به وقوع بارش‌های شدید اشاره نمود که باید در ارزیابی جامع وقوع سیلاب مدنظر قرار گیرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر،

می‌توان مناطق واقع در مرکز خوشه‌ها را به‌عنوان مناطق مستعد خسارات ناشی از سیلاب در اولویت اقدامات مدیریتی قرار داد. لذا می‌توان در مناطق بالادست مولد سیلاب اقدامات حفاظت از پوشش گیاهی و اجرای عملیات‌های آبخیزداری را در اولویت قرار داد. هم‌چنین، مطالعات تکمیلی در راستای ارزیابی خسارت‌های ناشی از سیل می‌تواند در تهیه برنامه مدیریتی و کاهش خسارت ناشی از سیلاب مؤثر باشد. وقوع سیل برآیند عوامل مختلفی است که در اثر دخالت‌های متعدد انسانی تشدید می‌شود. در این راستا، مطالعه تغییر الگوی مکانی و روند ویژگی‌های بارش مولد سیلاب (شدت، مدت، فراوانی)، ارزیابی تغییر کاربری اراضی و تجاوز به حریم رودخانه‌ها از پیشنهادهای پژوهشی منتج از پژوهش حاضر است. باید اشاره شود که وقوع برخی سیلاب‌ها در اثر تغییر در ویژگی‌های بارش است که در اثر تشدید وقایع حدی و نیز تغییر اقلیم اتفاق افتاده است. لذا ارزیابی الگوی وقوع بارش‌ها و نیز شرایط مؤثر بر تشدید سیلاب نیازمند ارزیابی جامع‌تری است. آگاهی از وقوع فصلی سیلاب و در نتیجه محتمل‌ترین فرآیندهای تولید سیل می‌تواند زمینه شناسایی مناطق همگن در فصل وقوع سیل را فراهم نماید. تعیین توزیع مکانی وقوع سیلاب و همبستگی مکانی آن‌ها می‌تواند در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل، تجزیه و تحلیل توزیع‌های فراوانی سیل و شناسایی تغییرات در دبی‌های سیلاب مورد استفاده قرار گیرد. درک تفاوت‌های منطقه‌ای در مکانیسم‌های تولید سیل برای تجزیه و تحلیل سیل‌های تاریخی و کاهش عدم اطمینان در برآورد سیل آینده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. علاوه براین، تدوین برنامه مدیریت و کنترل سیلاب با در نظر گرفتن توزیع مکانی و همبستگی وقوع سیلاب‌های شدید می‌تواند در کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: آماره موران، الگوی توزیع مکانی، خوشه‌بندی، سامانه اطلاعات مکانی، شدت سیل‌خیزی

مقدمه

درک ویژگی‌های مکانی و زمانی سیلاب به منظور آگاهی و فهم مکانیسم‌های وقوع سیل و برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر آن در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی دارای اهمیت بسیار است (۲۷). وقوع سیلاب می‌تواند ناشی از فرآیندهای مختلف موجود در اکوسیستم آبخیز باشد و شایع‌ترین دلیل طبیعی وقوع سیلاب ناشی از بارندگی شدید، ذوب برف و یا بارش در شرایط خاک مرطوب است (۴). لذا، براساس زمان یا فصل وقوع سیلاب، می‌توان خصوصیات هیدرولوژیکی را که در ایجاد و وقوع سیلاب دخیل هستند، تعیین نمود (۲۰). در همین ارتباط، آگاهی از وقوع فصلی سیلاب و در نتیجه فرآیندهای محتمل تولید سیل می‌تواند زمینه شناسایی مناطق همگن در فصل وقوع سیل را فراهم نماید (۱۳). تعیین توزیع مکانی وقوع سیلاب و همبستگی مکانی آن‌ها می‌تواند در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل، تجزیه و تحلیل توزیع‌های فراوانی سیل و شناسایی تغییرات در دبی‌های سیلاب مورد استفاده قرار گیرد (۱۵). تعیین مناطق همگن از نظر تولید و وقوع سیلاب بر مبنای روش‌های جدید مانند هوش مصنوعی، داده‌کاوی، یادگیری ماشین و ... می‌تواند مبنایی برای تعیین مناطق همگن در تحلیل‌های هیدرولوژیک و همچنین برآورد خسارت و اولویت‌بندی از نظر امداد و کنترل سیلاب باشد (۲ و ۳۷). شاخص موران شباهت بین مکان‌ها را به عنوان تابعی از فاصله توصیف و کمی می‌کند و این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی مکانی بین متغیرها از طریق تأخیر با فواصل مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد (۳۲). مطالعات متعددی در خصوص بررسی تغییرات مکانی وقوع سیلاب و مخاطرات محیطی با استفاده از خودهمبستگی مکانی و شاخص موران در مناطق مختلف صورت پذیرفته است. در همین رابطه، فو و همکاران (۱۶) الگوهای مکانی عناصر غذایی خاک در دو قطعه مرتع چراشده در یک دوره طولانی مدت را به منظور درک بهتر تغییرات مکانی با استفاده از شاخص جهانی موران مورد مطالعه قرار دادند. ایشان دریافتند که براساس مقادیر شاخص جهانی موران، همبستگی مکانی مثبت و معنی‌دار میان فسفر کل،

منیزیم، اسیدپته و نیاز به آهک خاک شناسایی شد و الگوهای خوشه‌ای پراکنش عناصر خاک مشخص شدند. مجومدر و همکاران (۲۶) با هدف ارزیابی توزیع جغرافیایی و تنوع روستاهای سیل‌زده در بخش غربی بنگال کشور هند در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ الگوی مناطق متأثر از سیل را درون‌یابی و پیش‌بینی نمودند. ایشان از آماره شاخص موران برای ارزیابی خودهمبستگی مکانی استفاده نمودند و از آماره جتیس-اورد برای شناسایی نقاط تمرکز سیل استفاده نمودند. ایشان براساس پیش‌بینی مبتنی بر GIS گستره و فراوانی مناطقی با بیش‌ترین روستاهای آسیب‌دیده را تعیین و مناطقی با خطر بالقوه سیلاب را تعریف نمودند. نژادרכابی و همکاران (۳۱) با پهنه‌بندی خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد (SPI) و بارش و تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) و آمار مکانی مناطق مستعد خشکسالی را در استان خوزستان مکان‌یابی نمودند و ضمن تعیین نقاط تمرکز خشکسالی به تعیین خوشه‌های خشکسالی پرداختند. نقشه‌های تهیه شده با شاخص Anselin Local Moran محل خوشه‌های پر بارش را مشخص نمود و شاخص جتیس-اورد برای تعیین لکه‌های تمرکز مقادیر شاخص بارش استاندارد و بارش و تبخیر و تعرق استاندارد استفاده شد. کوکا و ریکارته-ویلوتا (۱۲) الگوهای مکانی-زمانی تغییرات خط ساحلی از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری سواحل کارائیب را مورد تحلیل و تفسیر قرار دادند. ایشان از شاخص موران جهانی، شاخص موران محلی و شاخص جتیس-اورد برای تعیین نقاط مهم وقوع فرسایش استفاده نمودند. براساس یافته‌های ایشان هر چه پیچیدگی ژئومورفولوژیکی بیش‌تر باشد، میزان خوشه‌بندی کم‌تر است و فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری ساحلی در امتداد سواحل کم‌عمق غالب است.

در ایران نیز مصطفی‌زاده و مهری (۲۹) روند تغییرات ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل را مطالعه نمودند. براساس نتایج ایشان، تحلیل روند، از مجموع ۲۲ ایستگاه مورد مطالعه در استان اردبیل، شش ایستگاه روند افزایشی و یک ایستگاه روند کاهشی را در داده‌های ضریب

سیلابی نشان دادند و در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار نبوده است. روند افزایشی در مقادیر ضریب سیلابی می‌تواند در اثر افزایش بارش و یا ناشی از تغییر کاربری اراضی و افزایش شدت بهره‌برداری از مراتع باشد که باعث افزایش توان تولید رواناب به صورت جریان سیلابی شده است. جلالی و کمریان (۲۲) جهت مطالعه الگوی مکانی توفانهای تندری شمال غرب کشور از روش تحلیل الگوی خودهمبستگی مکانی و شاخص انسلین موران محلی استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که از نظر مکانی بیشینه وقوع توفانهای تندری در نواحی مرتفع و کوهستانی منطقه اتفاق می‌افتد. در حالی که، از نظر زمانی بیشینه توفانهای تندری در ماه‌های اردیبهشت و خرداد رخ داده است. عساکره و حسینجانی (۷) برای ارزیابی مکانی مجموع فراوانی سالانه بارش شدید (آستانه‌های صدک ۹۰-۹۵، ۹۵-۹۹) و خیلی شدید (صدک ۹۹ و بیش‌تر)، از داده‌های میان‌یابی شده بارش روزانه در بازه زمانی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۶ استفاده نمودند و برای شناسایی الگوی پراکنش مکانی، شاخص موران و Gi^* را به کار گرفتند. مقادیر نمایه موران کلی به میزان ۰/۹ نشان داد که الگوی مکانی بارش‌ها از نوع خوشه‌ای است. مقادیر شاخص Gi^* ، فراوانی خوشه‌هایی با مقادیر بالا و پایین را تأیید نمودند. آروین و همکاران (۶) با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین به عنوان یک خطر طبیعی در جنوب حوزه آبخیز میناب در استان هرمزگان پرداختند. ایشان تحلیل‌های مکانی را به منظور تعیین ارتباط فرونشست با میزان تغییرات و افت سطح آب زیرزمینی، ارتفاع سطح زمین و شیب مدنظر قرار داده و میزان همبستگی هر یک از فاکتورهای مذکور با تراکم رخداد فرونشست را محاسبه نمودند. تحلیل خودهمبستگی مکانی و شاخص موران، خوشه‌ای بودن رخداد فرونشست تحت تأثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را نشان داد. همچنین بالا بودن امتیاز توزیع نرمال استاندارد (Z) و پایین بودن مقدار سطح معنی‌داری (p_value) نشان‌دهنده رابطه خودهمبستگی قوی ۱/۸۹ و ۰/۰۶ بین عناصر مورد مطالعه است. مصطفی‌زاده و همکاران (۳۰) پس از تعیین

مقادیر شاخص هرست مربوط به حافظه طولانی مدت سری‌های زمانی بارش و دبی استان اردبیل، همبستگی مکانی شاخص هرست را با استفاده از شاخص موران تجزیه و تحلیل نمودند. شاخص هرست برای اندازه‌گیری حافظه بلندمدت سری‌های زمانی استفاده می‌شود که به همبستگی‌های خودکار سری‌های زمانی اشاره دارد. ایشان تفاوت الگوی مقادیر بارش و دبی از نظر پایداری را با خوشه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری مشخص نمودند. عزیزی و همکاران (۸) با ارزیابی تغییرات مکانی شاخص آسیب‌پذیری سیلاب در استان اردبیل، مقادیر شش مؤلفه شامل هواشناسی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و اقدامات زیرساختی را کمی نمودند. براساس شاخص شاخص آسیب‌پذیری سیلاب تلفیقی مناطق دارای شدت بالای سیلاب مشخص شدند. براساس نتایج ایشان، تمام مناطق مورد مطالعه به جز بخش‌های کوچکی در مرکز، شرق و شمال تحت تأثیر سیل قرار دارند.

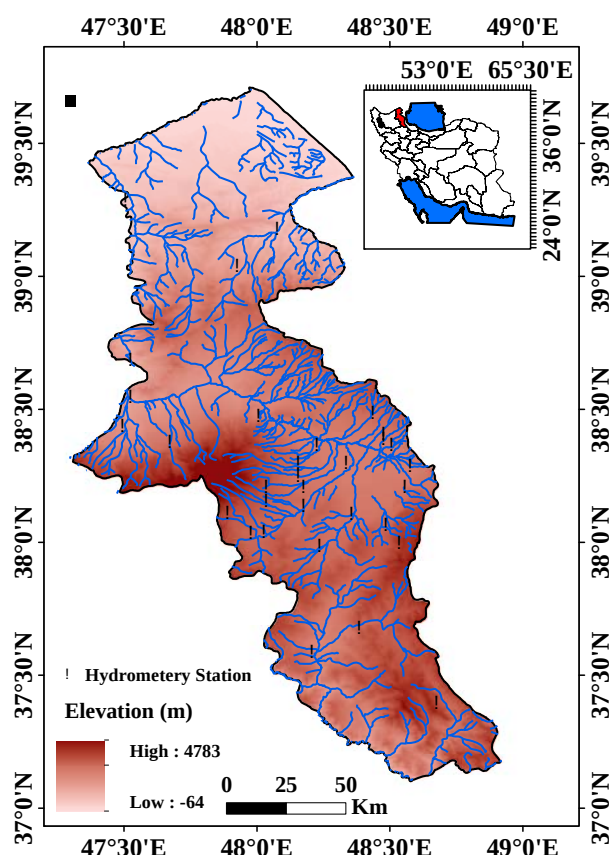
باید اشاره شود که این امکان وجود دارد که در یک منطقه، فراوانی و بزرگی وقوع سیلاب‌ها یکسان نباشد (۳۳). هر چند رگبارهای شدید و منفرد می‌تواند باعث سیلاب‌های شدید شود، اما وقوع بارش‌های شدید معمولاً ناشی از سیستم‌های آب و هوایی سازمان‌یافته‌تر و در مقیاس بزرگ‌تر رخ می‌دهد که می‌تواند باعث ایجاد سیل در مناطق وسیع و حوضه‌های مختلف شوند (۳۴). تلاش‌های زیادی برای تشخیص تغییرات وقایع اوج سیلاب انجام شده است که می‌تواند در شناسایی تفاوت‌های منطقه‌ای در مکانیسم‌های ایجاد سیل (مانند سامانه‌های سینوپتیک، بارش‌های جابجایی یا ذوب برف) یا شناسایی و نسبت دادن علل تغییرات مشاهده شده در دبی سیل استفاده شود (۲۱). از آنجایی که الگوهای وقوع بارندگی و فرایندهای هیدرولوژیکی دارای الگوهای مکانی مشخصی هستند، جریان‌های شدید رودخانه‌ای که از این فرایندها ناشی می‌شوند، نیز ساختار مکانی خواهند داشت. به‌ویژه اینکه الگوی مکانی دوره‌های بازگشت حداکثر سیل ناشی از یک واقعه آب و هوایی منفرد در یک منطقه، معمولاً دارای وابستگی مکانی هستند (۳۴). به عبارت دیگر، زمانی که یک

سیلاب در یک منطقه خاص اتفاق می‌افتد، به احتمال زیاد در مناطق همجوار نیز در نتیجه یک رگبار بارش یکسان، جریان‌های اوج سیلاب نیز اتفاق خواهد افتاد که نشان دهنده همبستگی مکانی است. در همین مورد باید اذعان داشت که با افزایش فاصله میان مناطق همگن از نظر یک پدیده خاص، از وابستگی مکانی کاسته خواهد شد (۳۴). مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی همبستگی و تغییرات مکانی وقوع سیلاب در مناطق مختلف جهان انجام شده است که به تعیین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب و تعیین مناطق همگن از نظر سیلخیزی پرداخته‌اند (۱، ۱۴ و ۳۶). درک تفاوت‌های منطقه‌ای در مکانیسم‌های تولید سیل برای تجزیه و تحلیل سیل‌های تاریخی و کاهش عدم اطمینان در برآورد سیل آینده ضروری است (۱۰). پویایی جریان و ویژگی‌های حوزه آبخیز نیز به‌عنوان محرک رفتار سیل شناخته می‌شوند (۱۱). براساس جمع‌بندی سوابق پژوهش تغییرات مکانی شدت سیل‌خیزی در دوره بازگشت‌های مختلف براساس روش‌های مختلف همبستگی مکانی تاکنون مورد ارزیابی قرار نگرفته است. از طرفی، خوشه‌بندی مناطقی با مقادیر بالا از نکات برجسته‌ای است که در پژوهش فعلی به آن پرداخته شده است. در همین راستا، وقوع و شدت رویدادهای شدید اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌عنوان شاخص تغییرات اقلیمی در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله استان اردبیل در ایران رو به افزایش است. باید اشاره می‌شود که هر ساله در بخش‌های مختلف استان

اردبیل سیلاب‌های مهمی اتفاق می‌افتد که با توجه به وجود تنوع توپوگرافی و اقلیمی، انتظار می‌رود که وقوع سیلاب دارای الگوهای متفاوتی باشد و نیاز است تا این امر مورد بررسی و مطالعه بیش‌تر قرار گیرد. با توجه به توضیحات ارائه شده، هدف پژوهش حاضر، ارزیابی همبستگی مکانی وقوع سیلاب با استفاده از شاخص موران جهانی و شاخص انسلین (خوشه یا ناخوشه بودن) در دوره بازگشت‌های مختلف در استان اردبیل است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه استان اردبیل با مساحتی حدود ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع است که در شمال غرب ایران قرار گرفته است. ارتفاع منطقه مورد پژوهش بین ۴۰ تا ۴۸۱۱ متر از سطح دریا متغیر است. استان اردبیل دارای تنوع اقلیمی و جغرافیایی است و در فصل‌های سرد سال تحت تأثیر توده‌های هوای مختلف قرار می‌گیرد. منطقه مورد بررسی جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ میلی‌متر (در شمال استان) تا ۶۰۰ میلی‌متر (در شرق استان و در محدوده مجاور با استان گیلان) در تغییر است (۲۸). موقعیت استان اردبیل و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد پژوهش در استان اردبیل
Fig 1. The location of the studied hydrometry stations in Ardabil province

روش انجام تحقیق

پژوهش حاضر به منظور بررسی الگوهای تغییرات مکانی وقوع سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل صورت پذیرفت. در راستای نیل به اهداف پژوهش، داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ شد. پس از بررسی داده‌ها و اطمینان از صحت و درستی داده‌های هیدرولوژیک اخذ شده، تعداد ۳۲ ایستگاه در یک دوره آماری ۴۳ ساله به منظور تحلیل‌های بیش‌تر انتخاب شد. در گام بعدی، دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب با استفاده از نرم‌افزار CumFreq محاسبه شد. در نرم‌افزار Cumfreq پس از برازش توزیع‌های آماری، براساس شاخص نکوئی برازش، توزیع مناسب برای داده‌های

هر ایستگاه انتخاب و مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف براساس آن مورد محاسبه قرار گرفت. سپس، الگوی تغییرات مکانی دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف (۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله) در استان اردبیل نیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش معکوس وزنی فاصله نقشه‌بندی شد. خودهمبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری نیز با استفاده از شاخص موران عمومی و تشخیص خوشه یا ناخوشه‌بودن آن‌ها نیز با کمک شاخص موران محلی انسلین مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل مکانی داده‌های محیطی با مدل‌های مختلفی قابل انجام است که مدل‌های تحلیل اکتشافی داده‌های محیطی نظیر آماره‌های خودهمبستگی فضایی موران عمومی (Moran Statitics) و موران محلی انسلین (Anselin Local Moran I) از مهم‌ترین آن‌هاست (۲۵).

- شاخص موران عمومی

در محاسبه شاخص موران عمومی، مقادیر امتیاز استاندارد (z-score) و معنی‌داری (p-value) برای ارزیابی اهمیت داده‌های مورد تحلیل استفاده می‌شود. در این شاخص، امتیاز استاندارد z-score درجه پراکنده یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های مکانی را نشان می‌دهد (۲۴). در آماره عمومی موران I، فرضیه صفر بیان می‌کند که ویژگی مورد تحلیل به‌طور تصادفی در منطقه مورد مطالعه توزیع شده است. لازم به ذکر است که الگوی پراکنش داده‌ها براساس تصادفی یا خوشه‌ای بودن ارزیابی می‌شود (۱۷ و ۱۹). شاخص موران یکی از شاخص‌های برآورد خوشه‌ای بودن داده‌ها است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۹).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad [1]$$

که در آن، n تعداد پدیده‌ها، x_i مقادیر مشاهداتی در مکان پدیده i ام، $\bar{x}$ میانگین xi هاست، w_{ij} اندازه وزن متعلق به i و j است که براساس میزان همسایگی برآورد می‌شود و نشان‌دهنده میزان همبستگی مکانی است. مجموع وزن‌ها در ماتریس وزن‌های $\{w_{ij}\}$ بیان‌گر اندازه مجموعه روابط مکانی مفروض بین نواحی است که به روش‌های مختلفی قابل محاسبه است. یکی از این روش‌ها، به‌کارگیری وزن‌هایی با مقادیر صفر و یک (دو دوئی) است. در این حالت، اگر نواحی i و j هم مرز باشند، $w_{ij} = 0$ خواهد بود. شاخص موران عمومی مانند ضریب خودهمبستگی بین +۱ و -۱ متغیر است و تفسیر مشابهی دارد. به‌طورکلی هر چه مقدار شاخص موران به عدد +۱ نزدیک‌تر باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی مکانی و الگوی توزیع خوشه‌ای هستند و هرچه مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱ باشد، داده‌ها از هم گسسته و پراکنده هستند (۲۴). سپس نمره z، در سطح اطمینان موردنظر ارزیابی می‌شود و اگر قدر مطلق نمره z مشاهده شده (zI) بزرگ‌تر از نمره z آستانه (± 1.96) باشد؛ فرض صفر در سطح اطمینان مذکور رد می‌شود و رابطه معنی‌دار خواهد بود.

- شاخص موران محلی انسلین

یکی از ابزارهای مفید در نمایش توزیع مکانی پدیده‌ها، تحلیل خوشه‌ای و غیرخوشه‌ای بودن است که از طریق شاخص موران محلی انسلین محاسبه می‌شود (۵ و ۱۸). شناسایی نقاط پرت (مناطق بسیار متفاوت از مناطق مجاور) از دیگر کاربردهای این شاخص است. در همین خصوص، مناطق با مقدار شاخص منفی قابل توجه نشان‌دهنده نقاط پرت هستند و مکان‌هایی با مقدار شاخص مثبت قابل توجه خودهمبستگی هسته یک خوشه را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر، مکان‌های با تمرکز بیش‌تر مقادیر (یک نقطه داغ) یا تمرکز کم‌تر مقادیر (یک نقطه سرد) نسبت به مناطق همسایه با استفاده از این شاخص قابل تشخیص است. شاخص موران محلی انسلین (I) با استفاده روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (X_j - \bar{X}) \quad [2]$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j}}{n-1} - \bar{X}^2 \quad [3]$$

در روابط فوق، X_i ویژگی عارضه i و $\bar{X}$ میانگین ویژگی مربوط به $W_{i,j}$ وزن مکانی بین عارضه i و j، n تعداد کل عارضه‌ها است (۳). مثبت بودن مقدار I نشان‌دهنده آن است که عارضه موردنظر توسط عوارض مشابه خود محصور شده و عارضه موردنظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد، یعنی عارضه موردنظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی با آن ندارند محصور شده است و در حقیقت ناخوشه در نظر گرفته می‌شود. لایه خروجی ایجاد شده توسط این ابزار دارای خوشه‌های مقادیر زیاد (HH)، خوشه‌های مقادیر کم (LL) و ناخوشه است که در آن یک مقدار زیاد توسط مقادیر کم محاصره شده‌اند (HL). عوارض منفرد که در آن عارضه دارای مقدار کم توسط عوارض دارای مقادیر زیاد (LH) محاصره شده‌اند و از نظر آماری معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) هستند را از یکدیگر متمایز می‌کند (۲۲).

پس از محاسبه شاخص‌های اشاره شده فوق، مقادیر به‌دست‌آمده در تعیین خوشه‌های مشابه استفاده شدند. قابل ذکر است که نوع خوشه یا غیرخوشه‌ای بودن مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در محل هر ایستگاه روی نقشه درونیابی شده مقادیر

که در آن، $Z(S_0)$ مقدار تخمین در نقطه S_0 ، λ_i مقدار وزن اختصاص داده شده به هر نقطه مشاهداتی، N تعداد نقاط مشاهداتی در اطراف نقطه مورد نظر و $Z(S_i)$ مقدار مشاهداتی در نقطه S_i هستند. مقدار وزن هر نقطه نیز از روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شود.

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{io}^{-p}} \quad [5]$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad [6]$$

که در آن، d_{io} فاصله بین نقطه مورد نظر S_0 و هر یک از نقاط مشاهداتی S_i است. با افزایش فاصله، مقدار وزن به وسیله توان p کاهش می‌یابد.

نتایج

نتایج حاصل از محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل در جدول ۱ ارائه شده است.

دبی با دوره بازگشت‌های مختلف نمایش داده شده است. جزئیات روش درونیابی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در زیر ارائه شده است.

روش درونیابی فاصله معکوس وزنی (IDW)

به منظور تهیه نقشه تغییرات مکانی دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل از روش معکوس وزنی فاصله در نرم‌افزار ArcGIS 10.8.1 استفاده شد. در این روش، نقاط نزدیک به هم شباهت بیش‌تری دارند. بنابراین، هر یک از نقاط دارای وزن است که با افزایش فاصله از نقطه معلوم وزن آن کم‌تر می‌شود. از طرفی، اثربخشی نقطه معلوم در تخمین نقطه مجهول و محاسبه میانگین نیز کاهش می‌یابد. در همین ارتباط، بهترین نتایج هنگامی به دست می‌آید که رفتار تابع ریاضی با رفتار پدیده مورد نظر مشابه باشد (۲۳ و ۳۵). تخمین‌گر مورد اشاره براساس رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad [4]$$

جدول ۱. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف (سال) در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

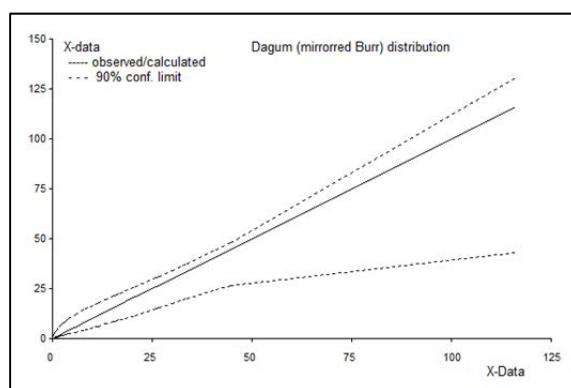
Table 1. Instantaneous maximum discharge values in different return periods (year) of hydrometry stations, Ardabil province

ایستگاه هیدرومتری	5	10	25	50	ایستگاه هیدرومتری	5	10	25	50
پل الماس	40/44	59/73	109/05	265/5	لای	2/03	3/53	5/7	8/04
سامیان	26/05	41/25	66/02	88/17	ویلادرق	1/09	2/32	5/7	10/56
آتشگاه	4/09	7/24	13/64	21	باروق	7/13	9/87	13/39	15/99
یامچی	23/33	33/02	46/89	58/02	ایربیل	4/42	5/36	6/39	7/07
نیر	7/88	11/88	19/74	28/66	ننه‌کران	3/35	4/47	5/66	6/48
آلادیزگه	7/86	10/29	13/44	15/8	سولا	5/89	7/4	9/19	10/46
نوران	8/64	10/2	11/8	12/8	نئور	1/35	1/78	2/42	2/97
نمین	3/43	4/61	5/89	6/74	عموقین	10/49	14/2	19/9	24/83
دوست بیگلر	101/54	148/46	243/94	353/74	شمس‌آباد	8/57	19/16	50/69	99/84
اربابکندی	39/64	56/77	83/27	106/63	عنبران	5/72	16/34	52/89	114/05
بران	185/16	240/52	316/71	376/28	پل سلطانی	27/07	63/11	285/26	325
مشیران	173/22	230/5	308/05	369/84	اهل ایمان	17/42	32/35	70/25	124/53

94/28	83/51	66/67	50/31	حاج احمدکندی	133/58	105/4	72/69	51/71	فیروزآباد
172/59	97/37	45/66	25/67	اکبرداود	83/12	57/96	39/11	27/38	کوزه تپراقی
18/47	15/62	11/69	8/85	درو	73/45	68/69	56/25	40/399	گیلانده
195	161/68	43/43	24/19	آبگرم	92/4	50/35	21/47	10/47	هیر

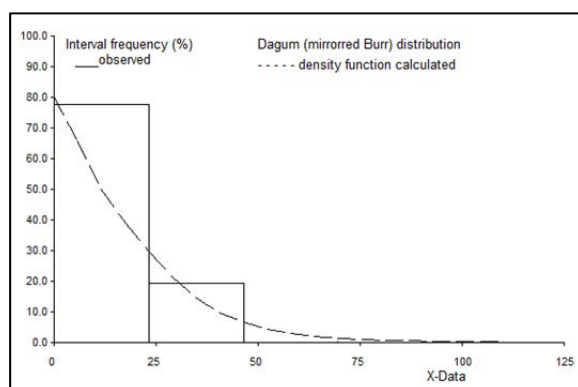
نتیجه تعیین توزیع آماری مناسب برازش داده شده بر داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری کوزه تپراقی به‌عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. در ایستگاه مذکور، توزیع تعمیم‌یافته Dagum برای محاسبه مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا، مقدار مطلق تفاوت میان مقادیر فراوانی تجمعی مشاهداتی و محاسباتی در توزیع تعمیم‌یافته Dagum برابر با ۲/۳۳ درصد بوده است. دامنه توزیع مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهداتی و برآوردی با توزیع مناسب آماری در ایستگاه هیدرومتری کوزه تپراقی نیز در شکل ۳ نمایش داده شده است.

بر اساس اطلاعات جدول ۱، ایستگاه بران با مقادیر ۱۸۵/۱۶، ۲۴۰/۵۲، ۳۱۶/۷۱ و ۳۷۶/۲۸ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله بیش‌ترین مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای را به خود اختصاص داده است. کم‌ترین مقادیر مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره بازگشت ۵ ساله با مقدار ۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه به ایستگاه ویلادرق تعلق دارد. در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله نیز کم‌ترین مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای برای ایستگاه نئور با مقادیر به ترتیب برابر با ۱/۷۸، ۲/۴۲ و ۲/۹۷ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد.



شکل ۲. محدوده اطمینان مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهداتی و برآوردی با توزیع مناسب آماری در ایستگاه هیدرومتری کوزه تپراقی

Fig 2. The confidence limit of observed and estimated instantaneous maximum discharge values using appropriate statistical distribution in Kozetopraghi hydrometry station

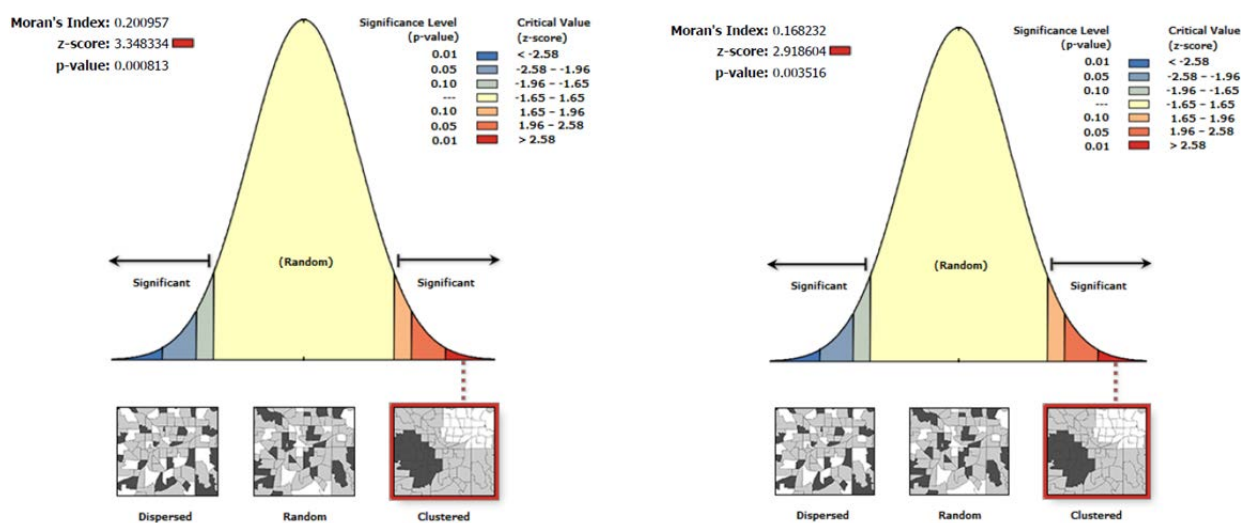


شکل ۳. دامنه توزیع مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهداتی و برآوردی با توزیع مناسب آماری در ایستگاه هیدرومتری کوزه‌تپراقی

Fig 3. The distribution classes of observed and estimated instantaneous maximum discharge values using appropriate statistical distribution in Kozetopraghi hydrometry station

۲۵ و ۵۰ ساله در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل در شکل ۴ و جدول ۲ آورده شده است.

نتایج حاصل از محاسبه همبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای شامل شاخص موران، امتیاز استاندارد، معنی‌داری و واریانس در دوره‌های بازگشت مختلف ۵، ۱۰،

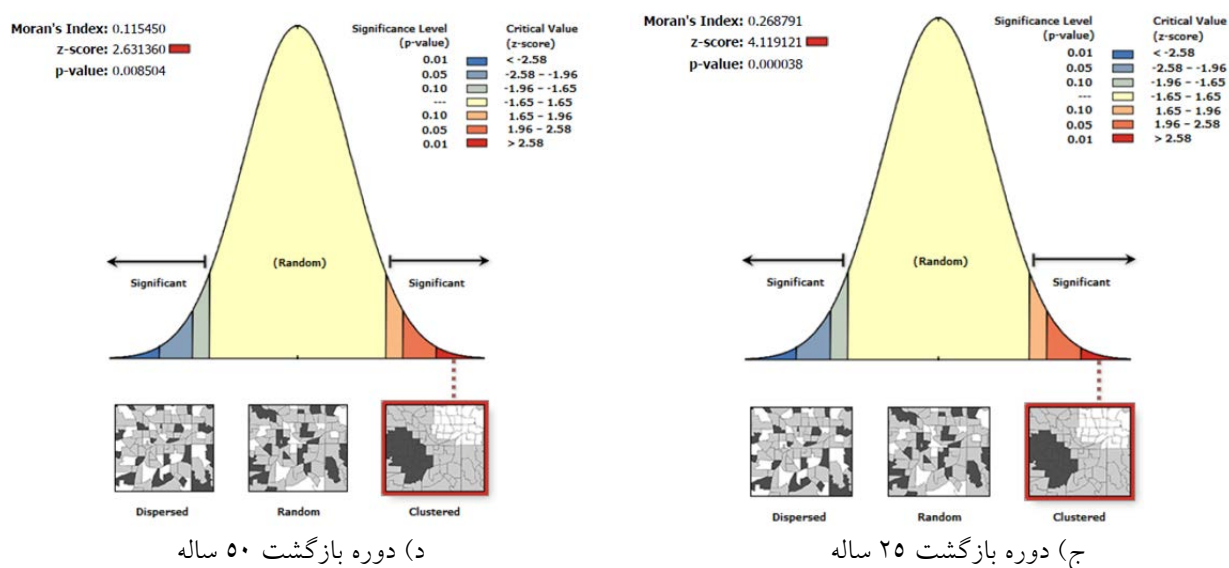


ب) دوره بازگشت ۱۰ ساله

الف) دوره بازگشت ۵ ساله

شکل ۴. مقادیر همبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل

Fig 4. Spatial correlation values of instantaneous maximum discharge in different return periods in hydrometry stations of Ardabil province



ادامه شکل ۴. مقادیر همبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل
Fig 4. Spatial correlation values of instantaneous maximum discharge in different return periods in hydrometry stations of Ardabil province

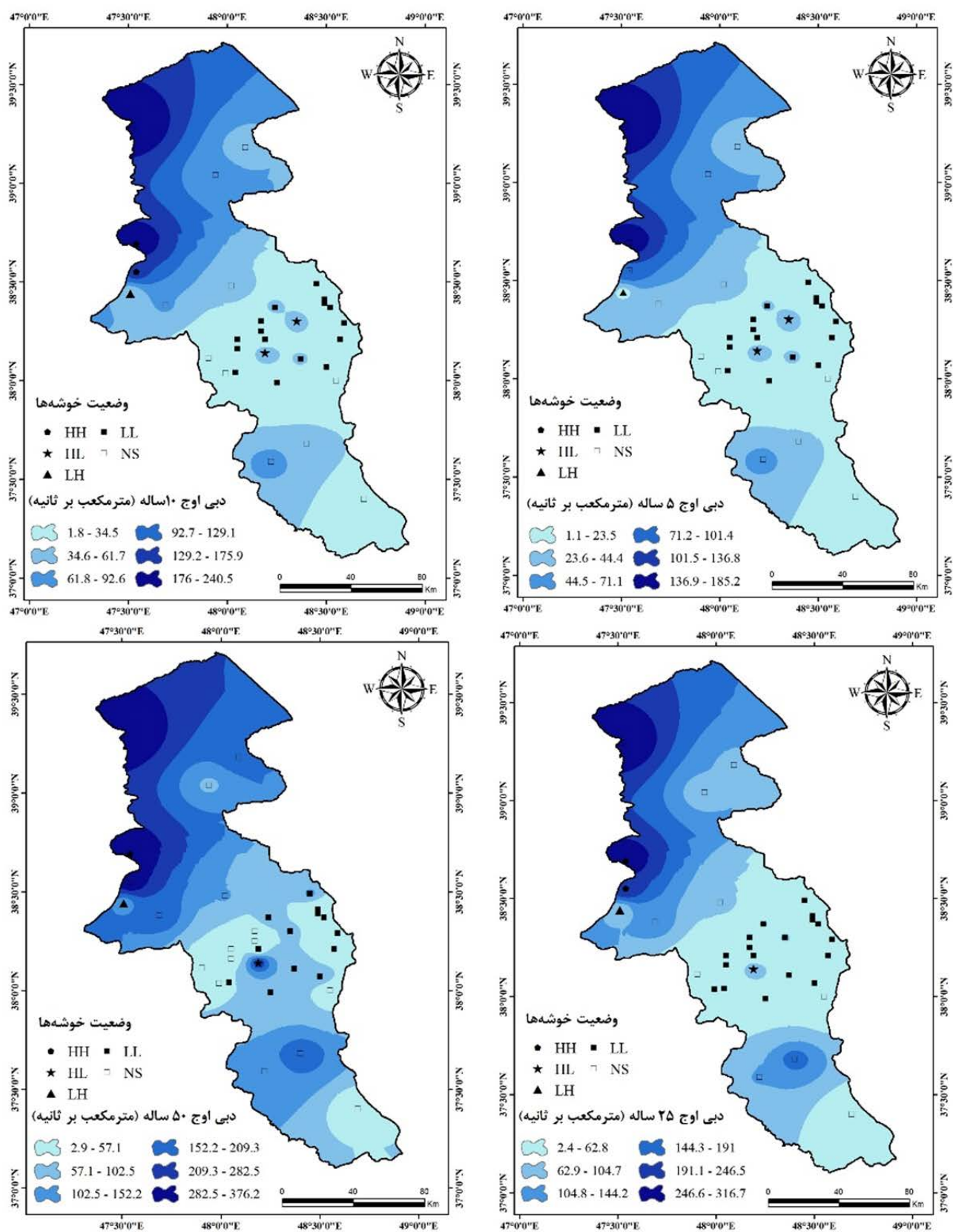
جدول ۲. نتایج ارزیابی همبستگی مکانی وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در استان اردبیل

Table 2. The results of spatial correlation assessment of flood occurrence in different return periods, Ardabil province

50	25	10	5	دوره بازگشت
0/1155	0/2688	0/2010	0/1682	شاخص موران
0/0032	0/0053	0/0049	0/0047	واریانس
2/6314	4/1191	3/3483	2/9186	آماره z
0/0085	0/0000	0/0008	0/0035	معنی‌داری

است. نتایج حاصل از تهیه نقشه تغییرات مکانی دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله و همچنین وضعیت خوشه‌های (خوشه‌ای یا غیرخوشه‌ای بودن) ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل در شکل ۵ ارائه شده است.

براساس مقادیر شاخص موران عمومی ارائه شده در جدول ۲ و شکل ۴، مقدار شاخص مذکور در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب برابر ۰/۱۶۸، ۰/۲۰۱، ۰/۲۶۸، ۰/۱۱۵ محاسبه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۲۵ ساله مشاهده شده



شکل ۵. نقشه همبستگی مکانی و الگوی وضعیت خوشه‌ای دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف در استان اردبیل

Fig 5. Spatial correlation map and clustering pattern of instantaneous maximum discharge with different return periods in Ardabil province

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی خودهمبستگی مکانی مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل انجام شد. از شاخص موران عمومی، شاخص موران محلی انسلین و روش معکوس وزنی فاصله استفاده و تحلیل‌های لازم صورت پذیرفت. نتایج نشان‌دهنده وجود تفاوت در الگوهای مشخص شده در داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت مختلف (۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله) است. ایستگاه‌های هیدرومتری دوست‌بیگلر، مشیران و سامیان در اکثر دوره بازگشت‌ها با وقوع سیلاب شدیدتری مواجه بوده‌اند (شکل ۴). در پژوهش عزیزی و همکاران (۲۰۲۲) هم بیش‌ترین مقدار سیلاب در دوره بازگشت ۵۰ ساله مربوط به حوزه آبخیز مشیران شناسایی شده است که با مساحت بالای منطقه ارتباط مستقیم دارد (۸). همچنین عزیزی و همکاران (۲۰۲۲) بیان کرده‌اند که حوضه‌های مشیران و سامیان بیش‌ترین آسیب‌پذیری را براساس مؤلفه هیدرولوژیکی به خود اختصاص داده‌اند (۸). مطابق شکل ۴، بعد از ایستگاه‌های فوق‌الذکر مقادیر بالای دبی در دوره‌های بازگشت مختلف مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری آبگرم، اهل ایمان، کوزه‌تپراقی و فیروزآباد است. دلیل سیل‌خیزی بالای حوزه‌های مذکور توپوگرافی شدید محدوده بالادست است که پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد. براساس مقادیر شاخص موران عمومی در دوره‌های بازگشت مختلف، بیش‌ترین مقدار همبستگی مکانی در دوره بازگشت ۲۵ ساله مشاهده شده است. وقوع سیلاب در در دوره بازگشت مذکور ناشی از بارش‌های شدید است که می‌تواند در بسیاری از مناطق به‌صورت هم‌زمان اتفاق بیفتند. در دوره‌های بازگشت پایین (۵ ساله) مقادیر دبی سیلابی ممکن است تحت تأثیر بارش‌ها در مقیاس محلی باشد و از طرفی، در دوره بازگشت بالا (۵۰ ساله) وقوع دبی‌های سیلابی در ایستگاه‌ها متفاوت خواهد بود که باعث کاهش مقادیر شاخص موران عمومی شده است. در دو ایستگاه گیلانده و پل الماس، دارای الگوی خوشه‌ای مقادیر زیاد (HH) است. در این راستا، رهاسازی

جریان از مخزن سد یامچی در مواقع وقوع بارش‌های شدید منجر به ایجاد جریان‌های شدید می‌شود. برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری دامنه کوهستان سبلان و نیز محدوده شمال شرقی استان اردبیل دارای مقادیر آماره Z غیرمعنی‌دار است که نشان‌دهنده عدم وجود الگوی خوشه‌ای در وقوع سیل ایستگاه‌های مذکور با ایستگاه‌های مجاور است. درمجموع می‌توان گفت که تفاوت در الگوی خوشه‌ای بودن دبی حداکثر لحظه‌ای با شرایط متفاوت اقلیمی، توپوگرافی و تفاوت در عوامل ایجاد سیل در حوزه‌ها مرتبط باشد. عوامل متعدد دیگری نیز در الگوی وقوع سیل مؤثرند که می‌توان به وقوع بارش‌های شدید اشاره نمود که باید در ارزیابی جامع وقوع سیلاب مدنظر قرار گیرد. براساس نتایج می‌توان مناطق واقع در مرکز خوشه‌ها را به‌عنوان مناطق مستعد خسارات ناشی از سیلاب در اولویت اقدامات مدیریتی قرار داد. لذا می‌توان در مناطق بالادست مولد سیلاب اقدامات حفاظت از پوشش گیاهی و اجرای عملیات آبخیزداری را در اولویت قرار داد. مطالعات تکمیلی در راستای ارزیابی خسارت‌های ناشی از سیل می‌تواند در تهیه برنامه مدیریتی و کاهش خسارت ناشی از سیلاب مؤثر باشد. وقوع سیل برآیند عوامل مختلفی است که در اثر دخالت‌های متعدد انسانی تشدید می‌شود. نقشه ارائه شده می‌تواند مبنای تعیین مناطق سیل‌خیز براساس همبستگی مکانی در دوره بازگشت‌های مختلف باشد. مطالعه تغییر الگوی مکانی و روند ویژگی‌های بارش مولد سیلاب (شدت، مدت، فراوانی)، ارزیابی تغییر کاربری اراضی و تجاوز به حریم رودخانه‌ها از پیشنهاد‌های پژوهشی منتج از پژوهش حاضر است. وقوع برخی سیلاب‌ها در اثر تغییر در ویژگی‌های بارش است که در اثر تشدید وقایع حدی و نیز تغییر اقلیم اتفاق افتاده است، لذا ارزیابی الگوی وقوع بارش‌ها و نیز شرایط مؤثر بر تشدید سیلاب نیازمند ارزیابی جامع‌تری است. علاوه براین، تدوین برنامه مدیریت و کنترل سیلاب با در نظر گرفتن توزیع مکانی و همبستگی وقوع سیلاب‌های شدید می‌تواند در کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده مؤثر باشد. چارچوب

منابع مورد استفاده

- 1- Abedin, J., Zou, L., Yang, M., Rohli, R., Mandal, D., Qiang, Y., ... & Cai, H. (2024). Deciphering spatial-temporal dynamics of flood exposure in the United States. *Sustainable Cities and Society*, 108, 105444.
- 2- Ahmed, A., Khan, Z., & Rahman, A. (2024). Searching for homogeneous regions in regional flood frequency analysis for Southeast Australia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101782.
- 3- Alijani B, Doostkamyan M, Ashrafi S, Shakeri F. 2015. Investigate of spatial autocorrelation patterns of variation within decades of rainfall during the last half century. *Geog & Urban-Reg Plann*, 14:88-71. <https://doi.org/10.22111/gaij.2015.1914> (In Persian).
- 4-Al-Juaidi, A. E. (2023). The interaction of topographic slope with various geo-environmental flood-causing factors on flood prediction and susceptibility mapping. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(21), 59327-59348.
- 5- Anselin L, Syabri I, Smirnov O. 2002. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows. *New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings of the Specialist Meeting*, Santa Barbara. 1-12
- 6- Arvin A, Vahabzadeh G, Mousavi SR, Bakhtyari Kia M. 2019. Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS. *J GIS RS for Nat Res*, 10(3), 19-34 (In Persian)
- 7- Asakereh H, Hosseinjani L. 2019. Spatial autocorrelation of annual frequency of heavy rainfalls in Caspian region. *Phys Geog Res*, 51(1):135-148. doi: 10.22059/jphgr.2019.265389.1007274 (In Persian).
- 8- Azizi E, Mostafazadeh R, Hazbavi Z, Esmali-Ouri A, Mirzaie S, Huang G, Qian X. 2022. Spatial distribution of flood vulnerability index in Ardabil province, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(12), 4355-4375 <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-022-02264-5>
- 9- Basu, B., Das Bhowmik, R., & Sankarasubramanian, A. (2023). Changing seasonality of annual maximum floods over the conterminous us: potential drivers and regional synthesis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 28(4), 04023007.
- 10- Berghuijs WR, Aalbers EE, Larsen JR, Trancoso R, Woods RA. 2017. Recent changes in extreme floods across multiple continents. *Environ Res Lett* 12(11), 114035 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8847>
- 11- Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J., Kiss, A., Komma, J., Nester, T, Parajka J, Perdigão RAP, Plavcová L, Rogger M, Salinas JL, Viglione A. 2015. Increasing river floods: fiction or reality?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 329-344
- 12- Coca O, Ricaurte-Villota C. 2022. Regional patterns of coastal erosion and sedimentation derived from spatial autocorrelation analysis: Pacific and Colombian Caribbean. *coasts*. 2(3):125-151. <https://doi.org/10.3390/coasts2030008>
- 13- Dai X, Guo Z, Zhang L, Li D. 2010. Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, *Environ Risk Assess*, 24, 247-257. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-009-0314-2>
- 14- Ding, Y., Wang, H., Liu, Y., Chai, B., & Bin, C. (2024). The spatial overlay effect of urban waterlogging risk and land use value. *Science of The Total Environment*, 947, 174290.
- 15- Fischer, S., & Schumann, A. H. (2024). Temporal changes in the frequency of flood types and their impact on flood statistics. *Journal of Hydrology X*, 22, 100171.
- 16- Fu W, Zhao K, Zhang Ch, Tunney H. 2011. Using Moran's I and geostatistics to identify spatial patterns of soil nutrients in two different long-term phosphorus-application plots. *J Plant Nut Soil Sci*, 174(5): 785-798. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000422>
- 17- Gail M, Krickeberg K, Samet J, Tsatis A, Wong W. 2007. *Statistics for Biology and Health*, USA Springer, 402p.
- 18- Ghanbari A, Rousta H, Fotohinejad M. 2020. Spatial Analysis of Fars Province Climatic Drought from the Period 1990 to 2014. *Nivar*, 2020; 44(110): 53-64. <https://doi.org/10.30467/nivar.2020.146655.1105>
- 19- Haining R. (2004). *Spatial Data Analysis: Theory and Practice*. UK: Cambridge University Press, 452 pp.
- 20- Hall J, Blöschl G. 2018. Spatial patterns and characteristics of flood seasonality in Europe. *Hyd Earth Syst Sci*, 22(7), 3883-3901.
- 21- Hall J, Arheimer B, Borga M, Brázdil R, Claps P, Kiss A, Kjeldsen TR, Kriaučiūnienė J, Kundzewicz ZW, Lang M, Llasat MC, Macdonald N, McIntyre N, Mediero L, Merz B, Merz R, Molnar P, Montanari A, Neuhold C, Parajka J, Perdigão RAP, Plavcová L, Rogger M, Salinas JL, Sauquet E, Schär C, Szolgay J, Viglione A, Blöschl G. 2014. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrol Earth Sys Sci*, 18(7), 2735-2772.
- 22- Jalali M, Kamarian V. 2018. The analysis of spatial patterns of thunderstorms in the North West of Iran. *Geographic Space*, 18(61) 63-81. (In Persian).

- 23- Janbozorgi M, Hanifepour M, Khosravi H. 2021. Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province). *Water & Soil Mgmt & Model*, 1(2), 1-13. <https://doi.org/10.22098/mmws.2021.1215>
- 24- Karami M, Kadkhoda E. 2020. Modeling of precipitation-elevation spatial relationships in the Northeast of Iran by using the GWR Model. *J Env Sci & Tech*, 22(6): 1-15. doi: 10.22034/jest.2020.17257
- 25- Kazemi M, Nafarzadegan AR, Mohammadi F. 2019. Studying changes in heat islands and land uses of the Minab city using the random forest classification approach and spatial autocorrelation analysis. *J RS GIS for Nat Res*, 10(4), 38-56. (in Persian)
- 26- Majumder R, Bhunia GS, Patra P, Mandal ACh, Ghosh D, Shit PK. 2019. Assessment of flood hotspot at a village level using GIS-based spatial statistical techniques. *Arab J Geosci*, 12:409, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4558-y>
- 27- Malik, K., Robertson, C., Roberts, S. A., Rimmel, T. K., & Long, J. A. (2023). Computer vision models for comparing spatial patterns: understanding spatial scale. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(1), 1-35.
- 28- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., & Ghorbani, A. (2017). Spatial and Temporal Variations of Base Flow Index (BFI) for the Ardabil Province river, Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(3), 623-634. doi: 10.22059/jesphys.2017.60293
- 29- Mostafazadeh R, Mehri S. 2018. Trends in variability of flood coefficient in river gauge stations of Ardabil province, Iran. *J Watershed Mgmt Res*, 9(17):82-95. (In Persian).
- 30- Mostafazadeh R, Moradzadeh V, Alaei N, Hazbavi Z. 2021. Determining long-term memory using Hurst index for precipitation and discharge time series of selected stations in Ardabil province. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(2): 113-131. <https://doi.org/10.30495/wsrcj.2021.19217>
- 31- Nejadrekabi M, Eslamian S, Zareian MJ. 2021. Using spatial statistics to identify drought-prone regions (A case study of Khuzestan Province, Iran). *Adv in Environ Tech*, 7(4): 231-262. <https://doi.org/10.22104/aet.2022.5143.1397>
- 32- Overmars KP, de Koning GHJ, Veldkamp A. 2003. Spatial autocorrelation in multiscale land use models. *Ecol Model*, 164:257-270. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00070-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00070-X)
- 33- Petrow T, Merz B. 2009. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002. *J Hydrol*, 371 (1–4), 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.024>
- 34- Quinn N, Bates P, Neal J, Smith A, Wing O, Sampson Ch, Smith, H, Heffernan J. 2019. The spatial dependence of flood hazard and risk in the United States. *Water Res Res*, 55(3), 1890-1911.
- 35- Roshani H, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Zabihi M. 2021. Spatiotemporal variation of precipitation using PCI and SI indices in Golestan province. *J Spat Analysis of Env Haz*, 7(4):187-204. (In Persian)
- 36- Wang, Y., Zhang, Q., Lin, K., Liu, Z., Liang, Y. S., Liu, Y., & Li, C. (2024). A novel framework for urban flood risk assessment: Multiple perspectives and causal analysis. *Water Research*, 256, 121591.3
- 37- Zhang, B., Ouyang, C., Cui, P., Xu, Q., Wang, D., Zhang, F., ... & Zhang, Q. (2024). Deep learning for cross-region streamflow and flood forecasting at a global scale. *The Innovation*, 5(3).



GIS

Determining the Distribution Pattern of Spatial Correlation of Flood Occurrence in Ardabil Province Using Moran's Index in

Amirhosein Ghorbani¹, Raoof Mostafazadeh^{2*}, Mohsen Zabihi³

Received: 2022-11-20 / Accepted: 2022-12-09 / Published: 2025-03-10

Abstract

Mapping the patterns of spatial distribution and determining the trend of spatial changes in environmental data is very important. In this regard, the current research is planned with the aim of determining the spatial correlation and occurrence pattern of the instantaneous maximum discharge data in Ardabil province in different return periods using Moran's index. The flood discharge values were calculated using CumFreq software at different river gauge stations in 5, 10, 25 and 50 years return periods. Spatial correlation was calculated through the Global Moran's I index, and then the cluster occurrence pattern of floods was determined using Anselin Local Moran I index. Based on the results, the values of Global

Moran's I index have been calculated as 0.168, 0.201, 0.268, 0.115 in 5, 10, 25, and 50 years return periods, respectively. The least spatial correlation was observed in the 50-year return period and the highest spatial correlation was observed in the 25-year return period. A high-high (HH) cluster pattern was observed in Gilandeh and Pol-Almas stations. On the other hand, some river gauge stations of the Sablan mountain range and the northeastern area of Ardabil province had not significant z-statistic values, which means there is no cluster pattern in the data of the mentioned stations with the neighboring stations. As a concluding remark, it can be said that the difference in the clustering pattern of instantaneous maximum discharge is related to different climatic conditions, topography and the difference in the causes of flooding in the watersheds. Studying the spatial pattern changes and trends of flood-generating precipitation characteristics (intensity, duration, frequency) and evaluating the impact of land use changes and encroachment on river riparian zones are proposed research avenues. Some floods occur due to changes in precipitation characteristics resulting from the intensification of extreme events and climate change. Therefore, assessing the pattern of precipitation occurrence

Amirhosein Ghorbani¹, Raoof Mostafazadeh²(✉), Mohsen Zabihi³

1. MSc. Student of Survey Engineering- Geographic Information Systems, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Ph.D., Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.1977963.2036

e-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

and the conditions affecting flood intensification necessitates a more comprehensive evaluation.

Extended Abstract

Statement of the Problem: Mapping spatial distribution patterns and determining the trend of spatial changes of environmental data is of great importance. It is necessary to understand the spatial and temporal features of flood in order to understand the mechanisms of flood occurrence and as a result to estimate and predict it more accurately in different spatial and temporal scales. The occurrence of floods can be caused by various processes in the watershed ecosystem. The most common natural cause of flooding is heavy rain, snow melting, or precipitation in wet soil conditions. Therefore, based on the time or season of flood occurrence, it is possible to determine the hydrological characteristics that are involved in the occurrence of floods. Since rainfall occurrence patterns and hydrological processes have specific spatial patterns, high river flows resulting from these processes will also have a spatial distribution. Especially, the spatial pattern of maximum flood in different return periods caused by a single storm event in a region usually have spatial dependence. In other words, when a flood occurs in a certain area, it is likely that in neighboring areas as a result of the same rainfall, peak flows will also occur, which indicates spatial correlation. Moran's index describes and quantifies the similarity between locations as a function of distance, and makes it possible to assess the spatial correlation between variables through lags with different distances. Flow dynamics and watershed characteristics are also known as drivers of flood behavior. The occurrence and intensity of severe climatic and hydrological events as an indicator of climate change are increasing in most arid and semi-arid regions, including Ardabil province in Iran.

Purpose: It should be mentioned that important floods occur every year in different parts of Ardabil province, and due to the topographical and climatic diversity, it is expected that the occurrence of floods will have different patterns and it is necessary to investigate and study more. In this regard, the present research is planned with the aim of determining the spatial correlation and occurrence pattern of the instantaneous maximum

discharge data in Ardabil province in different return periods using Moran's index.

Methodology: The present study was conducted to investigate the patterns of spatial changes of flood occurrence in different return periods in the river gauge stations of Ardabil province. In order to achieve the objectives of the research, the data of the maximum instantaneous discharge in all river gauge stations of Ardabil province were obtained from the regional water company. After checking the data and ensuring the accuracy of the obtained hydrological data, 32 stations were selected for further analysis. In the next step, maximum instantaneous discharge in 5, 10, 25, and 50 years return periods were calculated using CumFreq software. After fitting the statistical distributions, based on the goodness of fit index, the appropriate distribution for the data of each selected station and the flow rates with different return periods were calculated using Cumfreq software. Then, the pattern of spatial changes of instantaneous maximum discharge in different return periods (5, 10, 25 and 50 years) in Ardabil province was also mapped using inverse distance weighting (IDW) method in GIS. Spatial autocorrelation of instantaneous maximum discharge was also investigated using the Global Moran I index and their clustering pattern was also investigated using the Anselin Local Moran I index.

Results and discussion: The results showed that the Boran station had the highest instantaneous maximum discharge in different return periods. The lowest values of maximum instantaneous discharge for 5-year return period is belong to the Viladargh station with a value of 1.09 cms. In the 10, 25 and 50 years return periods, the lowest instantaneous maximum discharge was obtained for the Neor station having 1.78, 2.42 and 2.97 cms, respectively. Suitable statistical distribution was determined in all stations. As an example, the generalized Dagum distribution was used to calculate the instantaneous maximum discharge values in different return periods in Kozetopraghi river gauge station. Based on the results, the values of Global Moran's index have been calculated as 0.168, 0.201, 0.268, 0.115 in the 5, 10, 25 and 50 years return periods, respectively. The least spatial correlation was observed in the 50-year return

period and the highest spatial correlation was observed in the 25-year return period. A high-high (HH) cluster pattern was observed in Gilandeh and Pol-Almas stations. On the other hand, some river gauge stations of the Sablan mountainous slopes and the northeastern area of Ardabil province have insignificant z-statistic values, which means there is no cluster pattern in the flood values with the neighboring stations.

Conclusion: The Dostbeiglou, Moshiran and Samian river gauge stations have faced more severe floods during most of return periods. Also, discharge values were high in different return periods related to river gauge stations of Abgarm, Ahl-Iman, Kozetoparaghi and Firozabad. The reason for high flooding in the mentioned areas is the diverse topography of the upstream area, which has the higher runoff generation potential. Based on the Global Moran index values in different return periods, the highest value of spatial correlation has been observed in 25-year return period. It should be noted that the occurrence of floods in the mentioned return period is caused by heavy rains that can occur in many areas simultaneously. In the low return periods (5 years), the flood discharge values may be affected by rainfall on a local scale, and on the other hand, in the high return period (50 years), the occurrence of flood events will be different in the study area, therefore, the Global Moran index values will decrease. In general, it can be said that the difference in the clustering pattern of flood events is related to different climatic conditions, topography, and the difference in factors causing floods in the study area. It should be mentioned that there are many other factors that are effective in the flooding pattern, such as the occurrence of heavy rainstorms, which should be taken into account in the comprehensive evaluation of flooding. According to the results, the areas located in the center of the clusters can be prioritized for management measures as areas

prone to flood damage. Therefore, it is possible to prioritize vegetation protection measures and implementation of watershed management measured in the upland watersheds. Also, additional studies in order to assess the damage caused by flood can be effective in preparing a management plan and reducing the damage caused by flood. Flooding is the result of various factors that are aggravated by numerous human interventions. In this regard, the study of the change of the spatial pattern and the trend of the characteristics of flood-producing rainstorms (intensity, duration, frequency), the evaluation of the land use change and occupation of floodplains can be recommended in future studies. It should be noted that the occurrence of floods is a result of changes in rainfall characteristics, which happened due to the intensification of extreme events and climate change. Therefore, the evaluation of the pattern of precipitation and the conditions affecting the intensification of floods requires a more comprehensive evaluation. Understanding the seasonal occurrence of floods and, as a result, the most probable flood production processes can provide the basis for identifying homogeneous areas in terms of flooding. Determining the spatial distribution of flood occurrences and their spatial correlation can be used in the analysis of regional flood frequency, analysis of flood frequency distributions, and identification of changes in flood discharges. Understanding regional differences in flood generation mechanisms can be used to analyze historical floods and reduce uncertainty in future flood estimates. In addition, developing a flood management and control plan by considering the spatial distribution and correlation of the occurrence of severe floods can be effective in reducing the damages caused by severe floods.

Keywords: Clustering, Flood intensity, Moran's I statistic, Spatial distribution pattern, Spatial information system

Please cite this article as: Ghorbani, Amirhosein, Mostafazadeh, Raoof, Zabihi, Mohsen. (2025) .Determining the Distribution Pattern of Spatial Correlation of Flood Occurrence in Ardabil Province Using Moran's Index in GIS . *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(2): 69-87.