دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸، صفحات ۲۶۷-۲۴۷

*علی شاهبایی کوتنایی[۱]
حسین عساکره[۲]

تحلیل ویژگی‌های مکانی بارش‌های پاییزه‌ی شمال‌غرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶

چکیده

عوامل مکانی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای در تغییر و تحولات پدیده‌های اقلیمی برخوردار می‌باشند. تاثیرگذاری این عوامل می‌تواند به‌صورت تقویت، تضعیف و تعیین نحوه‌ی توزیع فرآیندهای آب‌وهوایی جلوه‌گر شود؛ در نتیجه شناخت نقش و روابط این عوامل می‌تواند به شناخت الگوهای فضایی متغیرهای آب‌وهوایی و بهبود برنامه‌ریزی‌های محیطی منجر شود. بر این اساس در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های بارش ماهانه‌ی ۱۲۱ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی شمال‌غرب ایران در دوره‌ی (۱۹۸۷ تا ۲۰۱٤) و استفاده از داده‌های ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت شیب تلاش شد ویژگی‌ها و روابط عوامل مکانی در تغییرات و پراکنش مکانی بارش مورد تحلیل قرار گیرد. بدین منظور از روش‌های مرکز میانگین، دایره‌ی استاندارد، نیم تغییر نما و رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR) استفاده گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که طی ماه اکتبر به دلیل ضعیف بودن بادهای غربی در منطقه، میزان واریانس فضایی بارش‌ها کم بوده و عوامل مکانی نقش مهمی در تغییرات بارش ایفا می‌کنند. در ماه نوامبر ضمن تقویت سامانه‌های بارش‌زا در منطقه، نقش عوامل مکانی در تغییرپذیری بارش‌ها به اوج خود می‌رسد؛ اما در ماه دسامبر به دلیل قدرت سامانه‌های بارشی و تغذیه‌ی رطوبتی مناسب، از نقش عوامل مکانی در بارش‌های منطقه کاسته شده و تغییرپذیری بارش‌ها بیش‌تر با عوامل جوی مرتبط می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تحلیل فضایی، نیم تغییرنما، رگرسیون موزون جغرافیایی، مرکز میانگین موزون، واریانس مکانی بارش، شمال‌غرب ایران.

*۱- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان. (نویسنده مسئول). E-mail: shahbai2008@yahoo.com
۲- گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مقدمه

حالت‌های مختلف عناصر آب‌وهوایی، حاصل کنش‌ها و واکنش‌های بی‌وقفه و پیوسته‌ی اجزای مختلف سامانه‌ی آب‌وهوا می‌باشد که موجب شکل‌گیری تنوع مکانی و تغییرات زمانی رویدادهای آب‌وهوایی می‌شود (Asakereh and Shadman, 2015: 53). با توجه به تاثیرپذیری عناصر آب‌وهوایی از این تنوع زمانی–مکانی، شناخت الگوی پدیده‌ها و نقش عوامل مختلف محیطی در رفتار زمانی–مکانی این عناصر ضرورت می‌یابد (Jalali and Kamarian, 2018: 63)، چون هر نوع برنامه‌ریزی محیطی به شناخت نسبی از این کنش‌ها و واکنش‌ها بستگی دارد.

یکی از عناصر آب‌وهوایی که دارای روابط بسیار پیچیده‌ای با مولفه‌های مکانی است، بارش می‌باشد. بارش زمانی اتفاق می‌افتد که هوای مرطوب و عامل صعود، هر دو با هم در منطقه‌ای حضور داشته باشند (Kaviani and Alijani, 2007: 239). این عنصر یکی از داده‌های مهم ورودی به سامانه‌های هیدرولوژیکی بوده (Gholizadeh et al., 2009: 55) که آگاهی از رفتار زمانی–مکانی آن در برنامه‌ریزی‌های محیطی و طرح‌های درگیر با آن موثر است. رفتار زمانی–مکانی بارش از یک سو متاثر از سامانه‌های همدید و گردش عمومی جو است که در این صورت ممکن است مقادیر ثبت شده در موقعیت‌های فضایی (ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی) دارای تشابه مکانی معناداری باشد؛ زیرا بارش رخ داده تحت تاثیر عامل یکسانی به‌وجود آمده است که این عامل، همگونی فضایی نسبتاً معناداری را در کل منطقه به‌وجود می‌آورد. از سوی دیگر، عوامل مکانی از قبیل ارتفاع، شرایط توپوگرافی، موقعیت مطلق و نسبی، ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی، شرایط فیزیوگرافیک منطقه و ... نیز ممکن است بر مقادیر بارش ثبت شده‌ی هر ایستگاه تاثیرگذار باشد و رفتار فضایی این سنجه‌ی اقلیم‌شناختی را کنترل کند (Yarahmadi et al., 2015: 451).

گاهی در مطالعات محیطی با مشاهداتی سروکار داریم که مستقل از یکدیگر نیستند و به نوعی وابستگی آن‌ها ناشی از موقعیت و مکان قرارگیری مشاهدات در فضای مورد مطالعه می‌باشد. این‌گونه مشاهدات، داده‌های فضایی نامیده می‌شوند و به دلیل وجود همبستگی فضایی بین آن‌ها، روش‌های معمول آمار کلاسیک برای تحلیل چنین داده‌هایی قابل استفاده نمی‌باشند و لازم است به نحوی ساختار همبستگی داده‌ها در تحلیل آن‌ها لحاظ گردد (Balyani and Hakimdoost, 2014: 147). به منظور شناخت نقش عوامل مکانی در تغییر و تحولات پدیده‌های جوی و تبیین میزان ارتباط آن‌ها از شاخه‌ی خاصی از علم آمار به نام زمین‌آمار استفاده می‌شود. زمین‌آمار یکی از مهم‌ترین روش‌های برآورد توزیع مکانی فراسنج‌های جوی می‌باشد (Asadi and Jalali, 2016: 187) که هدف اساسی آن آشکارسازی تاثیر ساختارهای فضایی مشاهدات، تحلیل الگوهای مکانی و الگوسازی روابط فضایی متغیر از راه مشاهدات نمونه‌برداری شده در مکان است (Yarahmadi et al., 2015: 452). فصل پاییز، به‌عنوان آغاز سال آبی و دوره‌ی ورود بادهای غربی و به دنبال آن سامانه‌های بارش‌زا به کشور مطرح می‌باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر تلاش شده تا با استفاده از داده‌های ۱۲۱ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی و بر اساس تکنیک‌های تحلیل فضایی مانند مرکز میانگین، دایره‌ی استاندارد، نیم تغییر نما و در نهایت مدل رگرسیون موزون جغرافیایی، نقش عوامل مکانی بر بارش‌های پاییزه‌ی مناطق شمال‌غربی کشور شناسایی شده و مورد تحلیل قرارگیرد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

پیشینه پژوهش

در زمینه‌ی تحلیل ویژگی‌ها و روابط مکانی موثر بر پدیده‌های آب‌وهوایی، تحقیقات گوناگونی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است. Crochet et al (2007) با استفاده از داده‌های ERA40 در دوره‌ی (۱۹۵۸ تا ۲۰۰۲) به تحلیل مکانی بارش‌های اوروگرافیک ایسلند پرداختند. آن‌ها متغیرهای موثر بر بارش‌ها را به‌وسیله‌ی یک مدل خطی برای محدوده‌ی مورد مطالعه توجیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که ناهمواری‌ها نقش عمده‌ای در بارش ایسلند ایفا می‌کنند. Ranhao et al (2008) توسط یک مدل رگرسیونی چندمتغیره و وارد کردن داده‌های بارش ٥٦ ایستگاه هواشناسی طی سال‌های (۱۹۵۵ تا ۱۹۹۰) و همچنین فراسنج های مکانی ارتفاع، شیب، جهت، طول و عرض جغرافیایی به مدل، اقدام به بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی بارش در کوهستان داکینگ در شمال چین پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که مدل ایجاد شده با دقت خوبی (حدود ۷۵ درصد) توانایی تبیین شرایط بارش در نقاط مختلف این کوهستان را دارد و می‌تواند در کوهستان‌هایی که شرایط مشابه دارند مورد استفاده قرار گیرد. Kai et al (2011) به منظور تحلیل مکانی بارش‌های سنگین چین طی دوره‌ی (۱۹٦۰ تا ۲۰۰۸) از تحلیل خوشه‌ای فضایی استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که در مناطق شمال و شمال‌شرقی این کشور، مقدار بارش‌های سنگین افزایش یافته است که ناشی از افزایش تغییرات آب‌وهوایی در این مناطق می‌باشد. Irmak et al (2011) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (به‌ویژه کریجینگ) ، دما و بارش فصلی و سالیانه‌ی نبراسکا را مورد تحلیل قرار دادند. Brissette et al (2011) به منظور بهینه‌سازی داده‌های آب‌وهوایی جهت تعیین پهنه‌های بارشی همگن و معنادار، از شاخص خودهمبستگی فضایی موران استفاده کردند. Gaitans et al (2014) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی مانند نزدیک‌ترین همسایه، خودهمبستگی فضایی و آماره‌ی گتیس-ارد (*G)، بارش‌های سنگین و سیل‌زای ۱۲ تا ۲٤ اکتبر در رتردام هلند را مورد بررسی قرار دادند. Seifipour and Asakereh (2012) کیفیت دو مدل رگرسیون عمومی و رگرسیون موزون جغرافیایی را در مدل‌سازی مکانی بارش سالانه‌ی ایران مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که از بین این دو مدل، برآوردهای مدل رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR) به واقعیت نزدیک‌تر است. بر همین اساس معلوم شد که ارتفاعات شمال‌غرب و نواحی داخلی، جهت دامنه‌ها در زاگرس و شیب در شمال‌شرق و نواحی خزری، مهم‌ترین عوامل مکانی موثر بر بارش به حساب می‌آیند. Safarrad et al (2013) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ ساده، معمولی و عام در دو حالت بدون متغیر کمکی و همراه با متغیرهای کمکی (ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب، فاصله از خط الراس) و ارزیابی آن توسط آماره‌های R^2، RMSE و MAE، تغییرات مکانی بارش در ناحیه‌ی کوهستانی زاگرس میانی را بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از روش کریجینگ معمولی همراه با متغیر کمکی عرض جغرافیایی و فاصله از خط الراس، نتایج دقیق‌تری در تحلیل‌های مکانی این ناحیه به‌دست می‌دهد. Asakereh and Shadman (2015) با استفاده از روش‌های موران عمومی، موران محلی و نمایه‌ی *G، الگوی پراکنش و روابط فضایی روزهای گرم فراگیر در ایران طی سال‌های (۱۹٦۱ تا ۲۰۰۸) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی مشخص کرد که خوشه‌های فراوانی روزهای گرم در مرکز ایران و خوشه‌های متوسط دما در حواشی کشور رخ داده‌اند. نواحی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

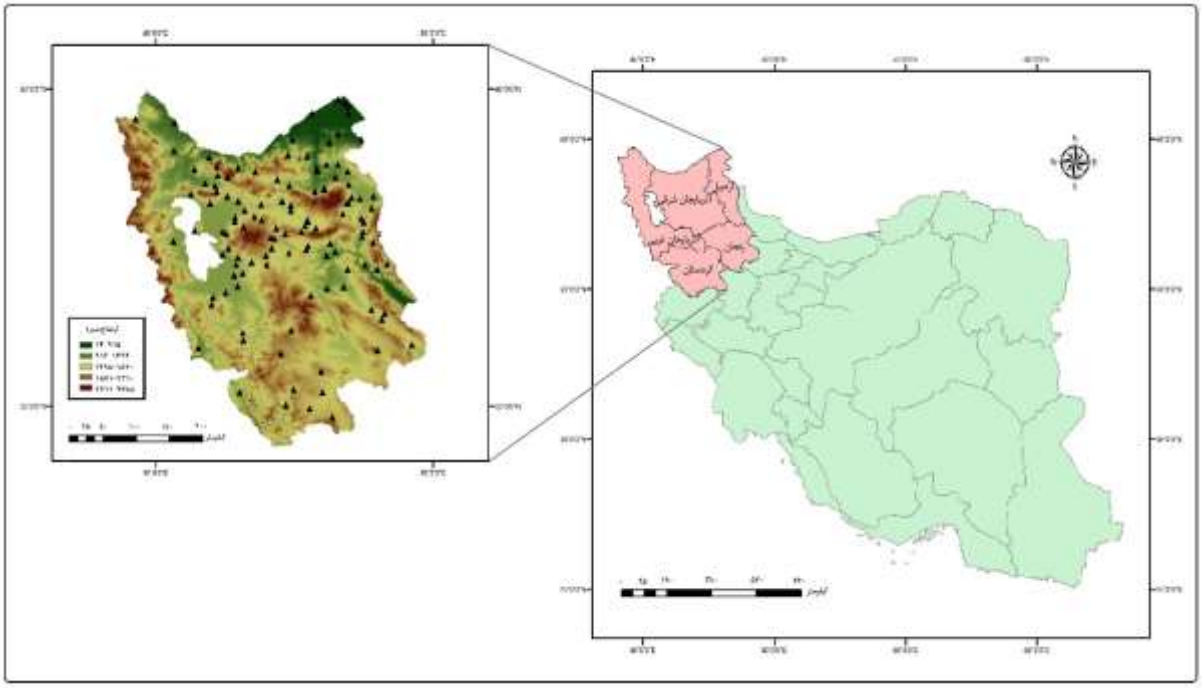
دمایی عموماً تحت تاثیر رطوبت، عرض جغرافیایی و ارتفاع هستند و گرم‌ترین نواحی توام با روزهای گرم در جنوب و جنوب‌شرق کشور و نقاط کمینه‌ی توام با روزهای گرم در بلندی‌ها و نواحی شمال‌غربی کشور جای دارند. Yarahmadi et al (2015) بر اساس داده‌های بارش ماهانه‌ی ٤٢ ایستگاه همدید شمال‌غرب و غرب ایران در دوره‌ی (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰) و با بهره‌گیری از شاخص خودهمبستگی فضایی موران، روندهای فضایی بارش ماهانه‌ی این بخش از کشور را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که بارش ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه دارای بالاترین خودهمبستگی فضایی مثبت و ماه‌های ژوئیه، آگوست و سپتامبر، کم‌ترین میزان همبستگی فضایی را از خود نشان داده‌اند. Alijani et al (2015) بر اساس روش‌های زمین‌آمار مانند شاخص‌های موران عمومی، محلی و نقاط داغ به مطالعه‌ی خودهمبستگی فضایی تغییرات درون دهه‌ای بارش ایران طی نیم قرن اخیر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات درون دهه‌ای بارش از الگوی خوشه‌ای بالا برخوردار است و بارش در کرانه‌های ساحلی و بخش‌هایی از غرب و جنوب‌غرب کشور دارای خودهمبستگی فضایی مثبت و در قسمت‌هایی از نواحی مرکزی و همچنین جنوب‌شرق کشور دارای خودهمبستگی فضایی منفی می‌باشد.

بررسی پژوهش‌های بالا نشان داد که مدل‌های مختلف زمین‌آمار و تحلیل فضایی از کاربرد گسترده‌ای برای آشکارسازی خودهمبستگی‌های فضایی و نقش عوامل مکانی در تغییرات فرآیندهای جوی برخوردار می‌باشند. اهمیت فراسنج بارش در امور کشاورزی، منابع آب سطحی و زیرسطحی و تامین منابع آب شرب برای جوامع بشری بر کسی پوشیده نیست؛ در نتیجه شناخت نقش و روابط عوامل مکانی موثر بر تغییرپذیری آن در مناطق مختلف از موارد ضروری برای انجام برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌منظور استفاده از حداکثر ظرفیت‌های این فراسنج آب‌وهوایی و مقابله با بحران‌های ناشی از تغییرات ناگهانی آن می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این پژوهش شامل استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی، اردبیل، کردستان و زنجان می‌باشد که در مناطق شمال‌غربی ایران واقع شده‌اند (شکل ۱). این محدوده دارای وسعتی بالغ بر ۱۵۱۸۰۰ کیلومتر مربع بوده و در مختصات ٣٤ درجه و ٤٢ دقیقه تا ٤٠ درجه‌ی عرض شمالی و ٤٤ درجه و ۱۲ دقیقه تا ٤٩ درجه و ۲۷ دقیقه‌ی طول شرقی قرار دارد. این بخش از کشور از لحاظ شرایط توپوگرافی در واقع گره کوهستانی ایران به شمار می‌آید و محل تلاقی و به هم فشردگی سه فلات ایران، ارمنستان و آناتولی به حساب می‌آید و این موضوع موجب پیچیدگی و بی‌نظمی ناهمواری‌های این منطقه شده است (Alaeetaleghani, 2011: 78). وجود این پیچیدگی‌ها در شرایط توپوگرافی و ماهیت کوهستانی منطقه، موجب شده که آب‌وهوای آن نیز دارای ویژگی‌های خاصی بوده و در طول سال از ناهمواری‌ها متاثر باشد. اوج این اثرگذاری در فصل بهار می‌باشد که بر اثر تابش عمودی آفتاب بر دامنه‌ها و گرم‌تر شدن هوای منطقه نسبت به اتمسفر مجاور، شرایط همرفت دامنه‌ای ایجاد می‌گردد (Alijani, 2008: 134).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

Figure 1: Location of the studied area and stations used in research

مواد و روش‌ها

به منظور انجام تحلیل‌های مورد نظر و شناسایی نقش عوامل مکانی در بارش‌های پاییزه‌ی شمال‌غرب ایران، در پژوهش حاضر از دو گروه داده‌ی اقلیمی و مکانی استفاده شده است. داده‌های اقلیمی شامل داده‌های بارش ماهانه‌ی ۱۲۱ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی در دوره‌ی (۱۹۸۷ تا ۲۰۱٤) بوده که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است. گروه دوم داده‌ها، مربوط به مشخصات مکانی می‌باشند. در این بخش از داده‌های ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت دامنه‌ها در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. این داده‌ها از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) و در محیط نرم‌افزار GIS استخراج شده است.

با توجه به هدف پژوهش، در نخستین گام با استفاده از نرم‌افزار Minitab برخی آماره‌های توصیفی بارش ماهانه مانند میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی برای ایستگاه‌های منطقه محاسبه شد. هدف از ارائه‌ی آمار توصیفی در واقع نمایش ساختار یا توصیف ساده‌ی داده‌ها می‌باشد و این کار از طریق وارسی اعداد یا نمودارهای مربوطه انجام می‌شود (Asakereh, 2011: 30). در ادامه به منظور نمایش نحوه‌ی پراکنش داده‌ها در سطح منطقه، شاخص‌های آمار فضایی مرکز میانگین وزنی و فاصله‌ی استاندارد در محیط GIS محاسبه و ترسیم شدند. مرکز میانگین، مکانی در یک نقشه است که می‌توان از آن برای تلخیص توزیع پدیده‌ها استفاده کرد؛ بنابراین مرکز میانگینی در واقع همان مرکز ثقل توزیع فضایی می‌باشد. در واقع مرکز میانگین، همتای میانگین برای داده‌های یک بعدی است (Vahidiasl, 2007: 62). مختصات مرکز میانگینی وزنی که آن را با $\bar{y}_c$ و $\bar{x}_c$ نشان می‌دهند، با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$\bar{x}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} \quad (۱$$

$$\bar{y}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} \quad (۲$$

در روابط بالا مختصات نقطه‌ی i ام با x_i و y_i و مقدار وابسته به این نقطه با p_i نشان داده می‌شود. n نیز تعداد نقاط مجموعه داده‌های فضایی می‌باشد.

شاخص فاصله‌ی استاندارد وزنی، میزان تمرکز و یا پراکندگی عوارض پیرامون مرکز میانگین را اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص از طریق تعیین متوسط فاصله‌ی هر عارضه از مرکز میانگین و دخالت دادن عامل وزن، به‌صورت زیر محاسبه نمود (Balyani and Hakimdoost, 2014: 157):

رابطه (۳)

$$D_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^{n} w_i} + \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i (y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n} w_i}}$$

در اینجا x_i و y_i مختصات x و y ، w_i وزن عارضه‌ی i و n تعداد کل عوارض (داده‌های فضایی) موجود در لایه‌ی ارزیابی می‌باشد.

بعد از ایجاد تصویری کلی از مشخصات توصیفی و توزیع مکانی داده‌ها، در بخش بعد روابط فضایی بارش در ایستگاه‌های محدوده مورد بررسی قرار گرفت. روابط فضایی معنی‌دار بیانگر ارتباط همسایگی معنی‌دار بین نواحی مجاور است و شناسایی این روابط می‌تواند در تشخیص مرزهای آب‌وهوایی و نیز تعیین اثر عوامل مکانی بر رفتار پدیده‌ها و سامانه‌های جوی حائز اهمیت و فایده‌ی بسیار باشد (Asakereh and Shahman, 2015: 57). در این قسمت ابتدا در محیط نرم‌افزار GS+، نمودار نیم تغییر نمای بارش برای هر یک از ماه‌های مورد بررسی ترسیم و برخی اطلاعات ضروری آن استخراج شد. نیم تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به‌کار می‌رود (Biau et al., 1999: 50). این امر از طریق ترسیم فاصله‌ی بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها صورت می‌گیرد. در واقع نیم تغییرنما کمیتی برداری است که درجه‌ی همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله‌ی آن نشان می‌دهد (Safarrad et al., 2013: 157) و بر اساس این تفکر که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیک‌تر شباهت بیش‌تری دارند تا فواصل دورتر، درجه‌ی همبستگی یا وابستگی بین نقاط را اندازه‌گیری می‌کند. (Balyani and Hakimdoost, 2014: 106) رابطه‌ی اصلی محاسبه‌ی نیم تغییرنما به‌صورت زیر می‌باشد:

رابطه (٤)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2$$

در این رابطه Z مقدار متغیر مورد نظر در دو نقطه‌ی x و x+h می‌باشد که h از x قرار دارد و n تعداد زوج نمونه‌هایی است که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند. نمودار نیم تغییرنما یک نمودار خطی است که محور افقی آن فاصله (h) و محور عمودی آن میزان تغییرنما ($\gamma(h)$) را نشان می‌دهد (Seifipour and Asakereh, 2012: 20). مدل‌های مورد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

استفاده در ترسیم نیم تغییر نما به دو دسته‌ی مدل‌های فاقد آستانه و مدل‌های دارای آستانه تقسیم می‌شوند. هر یک از این مدل‌ها نیز خود دارای چند زیر مدل است. در پژوهش حاضر با مقایسه‌ی مدل‌های گروه دارای آستانه و پارامترهای ارزیابی مدل، در نهایت مدل گوسی به منظور ترسیم نیم تغییر نما و استخراج پارامترهای همبستگی فضایی انتخاب شده است. با محاسبه‌ی نیم تغییرنما می‌توان اطلاعات مختلفی در مورد روابط فضایی و همبستگی مکانی داده‌ها به‌دست آورد. این اطلاعات شامل اثر قطعه‌ای، آستانه، دامنه، شعاع تاثیر، نسبت واریانس و ضریب تعیین می‌باشد. اثر قطعه‌ای در واقع همان عرض از مبدا منحنی نیم تغییرنما می‌باشد که مقادیر قبل از آن ناشی از فرآیندهای تصادفی یا خطا در نمونه‌برداری در نظر گرفته می‌شود. با افزایش فاصله، مقدار نیم تغییرنما افزایش می‌یابد و به سمت حد ثابتی میل می‌کند که پس از آن با افزایش فاصله، تغییری در مقدار نیم تغییرنما ایجاد نمی‌شود. این مقدار نسبتاً ثابت آستانه نامیده می‌شود. در نیم تغییر نما، فاصله‌ای که داده‌ها در آن با یکدیگر همبستگی مکانی دارند با دامنه بیان می‌شود. شعاع تاثیر فاصله‌ای مکانی بین نمونه‌هاست که در ورای آن، متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش فاصله، نیم تغییرنما تغییر چندانی نمی‌کند. هرچه شعاع تاثیر بیش‌تر باشد، ساختار مکانی گسترده‌تر بوده و محدوده‌ای که می‌توان از آن برای تخمین مقادیر مجهول استفاده کرد، افزایش می‌یابد. نسبت واریانس، در واقع نسبت واریانس داده‌های ساختاردار به غیرساختاردار را نشان می‌دهد، به این صورت که مشخص می‌کند چند درصد از داده‌ها ساختار خاصی دارند. ضریب تعیین هم به‌منظور ارزیابی دقت مدل کاربرد دارد (Khosravi and Abbasi, 2016: 159-160).

در بخش آخر این پژوهش تلاش شد روابط متغیرهای مکانی (ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت شیب دامنه‌ها) و بارش محدوده‌ی مورد بررسی طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر مدل‌سازی شود. برای انجام این کار از روش رگرسیون موزون جغرافیایی استفاده شده است. رگرسیون موزون جغرافیایی تکنیکی است که بر پایه‌ی قانون جغرافیایی اصل نزدیکی همانندی بنا نهاده شده و به منظور اعمال تحلیل‌های توصیفی بر روی‌داده‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رگرسیون معمولی فرض بر این است که رابطه‌ای که می‌خواهیم بین یک متغیر مستقل و وابسته مدل‌سازی کنیم، در سرتاسر محدوده‌ی مورد مطالعه یکسان است؛ اما می‌دانیم که در طبیعت همیشه این گونه نیست (Balyani and Hakimdoost, 2014: 269). بر این اساس و برای افزایش دقت مدل‌سازی‌ها از روش رگرسیون موزون جغرافیایی استفاده می‌شود که رابطه‌ی اصلی آن به شرح زیر است:

$$y_i = \beta_0(u_i.v_i) + \sum_k \beta_k (u_i.v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (٤)}$$

در رابطه‌ی بالا u_i و v_i مختصات i امین نقطه در فضا و $\beta_k (u_i.v_i)$ مقداری تحقق یافته از تابع پیوسته‌ی $\beta_k (u.v)$ در نقطه‌ی i می‌باشد. روش رگرسیون موزون جغرافیایی همان روش حداقل مربعات وزنی است؛ با این تفاوت که به مشاهدات بر اساس مکان آن‌ها نسبت به نقطه‌ی مرجع i، وزن داده می‌شود. وزن‌دهی مشاهدات در فرآیند تخمین ثابت نیست و با توجه به مکان مشاهده از نقطه‌ی i تغییر می‌کند. برآوردگر رگرسیون موزون جغرافیایی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$\widehat{\beta}(u_i.v_i) = (X^T W(u_i.v_i) X)^{-1} X^T W(u_i.v_i) Y$$ رابطه (٤)

در این رابطه $\widehat{\beta}(u_i.v_i)$ برداری حاوی برآورد پارامترهای $\beta_j = (u_i.v_i)\ \ j = 0.1. \ldots . k$ می‌باشد و $W(u_i.v_i)$ ماتریسی $n \times n$ است که عناصر خارج از قطر اصلی آن صفر هستند و عناصر قطر اصلی آن وزن‌های جغرافیایی n مشاهده برای نقطه‌ی مرجع i را نشان می‌دهند:

$$W(u_i.v_i) = \begin{bmatrix} W_1(u_i.v_i) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_n(u_i.v_i) \end{bmatrix}$$ رابطه (۵)

$W_n(u_i.v_i)$ در ماتریس بالا، وزن داده شده به مشاهده‌ی n در تخمین مدل برای نقطه‌ی مرجع i است؛ به عبارت دیگر برآوردگر رگرسیون موزون جغرافیایی، برآوردگر همان برآوردگر حداقل مربعات معمولی وزنی است، با این تفاوت که به جای داشتن ماتریس وزنی ثابت، وزن‌ها با توجه به مکان نقطه‌ی i تغییر می‌کنند.

در پژوهش حاضر بر اساس نحوه‌ی پراکنش داده‌ها در سطح منطقه، روش محاسبه‌ی ضرایب رگرسیون با هسته‌های تطبیقی مورد استفاده قرار گرفته است. نحوه‌ی محاسبه‌ی این نوع ضرایب به شرح زیر می‌باشد:

$$W_i(u_i.v_i) = (1 - (\frac{d_i(u_i.v_i)}{h})^2)^2$$ رابطه (٦)

در رابطه‌ی بالا $d_i(u_i.v_i)$ معیاری از فاصله‌ی بین مشاهده‌ی i و مکان نقطه‌ی مرجع $(u_i.v_i)$ است و h نیز پهنای باند است (Soori and Monirijavid, 2011: 14).

در این بخش برای انجام رگرسیون موزون جغرافیایی بر روی داده‌ها و شناسایی نقش عوامل مکانی بر بارش، مولفه‌های مکانی و متغیر بارش به نرم‌افزار GWR4 وارد و با توجه به پس از انجام محاسبات توسط این نرم‌افزار، از خروجی‌های بخش ضریب تعیین و آماره‌ی t آن به منظور ترسیم نقشه‌های هم ارزش در محیط نرم‌افزار Surfer استفاده شد. ضریب تعیین در واقع میزان اثر متغیرهای مستقل (مؤلفه‌های مکانی) بر متغیر وابسته (بارش) و دقت برآوردهای مدل در مناطق مختلف را مشخص می‌کند. آزمون t نیز میزان برابری میانگین‌های مشاهده شده در نمونه که به‌صورت تصادفی از جامعه انتخاب شده را با میانگین مفروض جامعه مورد مقایسه قرار می‌دهد. با توجه به این‌که در پژوهش حاضر هدف، شناسایی مناطقی با رابطه‌ی معنادار بین عوامل محیطی و فراسنج بارش بوده؛ فرض آماری آزمون t به صورت دو دامنه در نظر گرفته شده است. سطح اطمینان آزمون ۹۵ درصد بوده که موجب شده دامنه‌ی معناداری فراتر از بازه‌ی ۱/۹٦± قرار بگیرد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یافته‌ها و بحث

- ویژگی‌های ماهانه‌ی بارش‌های پاییزه‌ی شمال‌غرب ایران

به منظور شناخت ویژگی‌های عمومی بارش محدوده‌ی مورد بررسی، برخی از آماره‌های توصیفی به‌صورت ماهانه محاسبه و در جدول (۱) درج شده است.

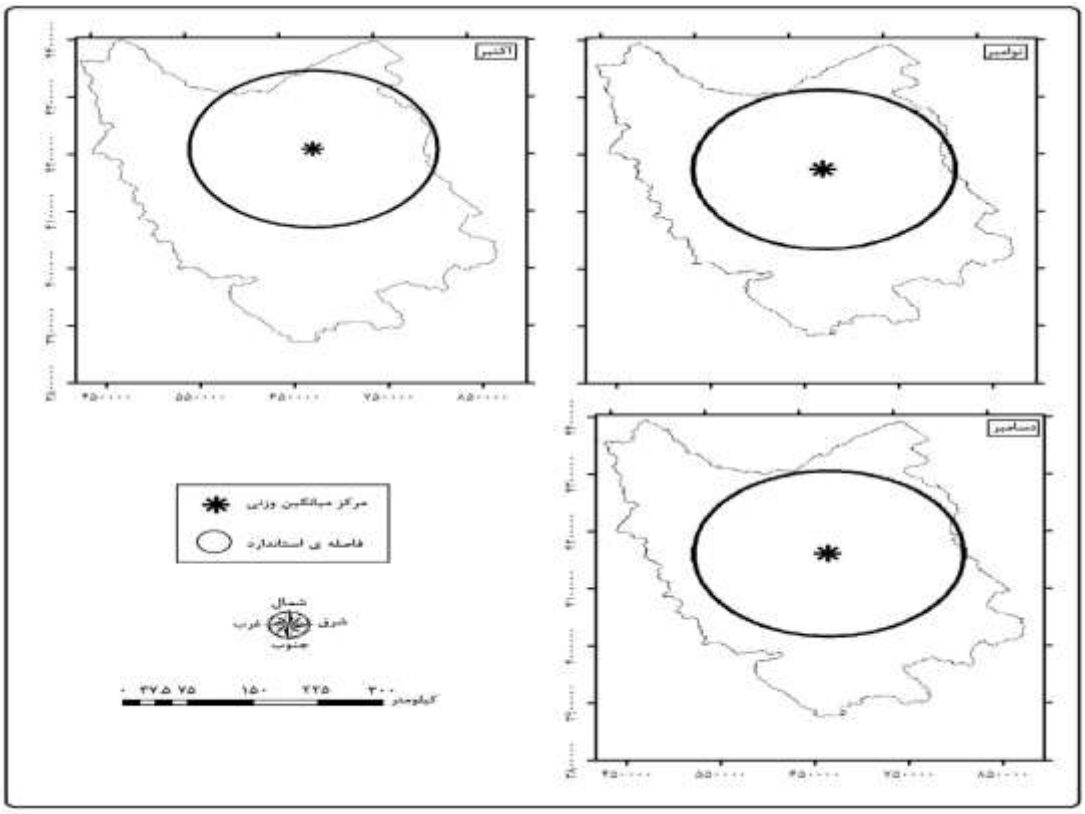
جدول ۱- مشخصات توصیفی بارش شمال‌غرب ایران طی ماه‌های فصل پاییز

Table 1- Descriptive characteristics of precipitation in Northwest of Iran during autumn months

آماره / ماه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
اکتبر	۲۵/۷	۸/٦	۰/۸	۰/۵
نوامبر	۳٦/۷	۱٤/۷	۲/۳	۷/۷
دسامبر	۲٦/٤	۱۷/۲	۳/۹	۱۸/۹

با توجه به اطلاعات جدول (۱) مشخص می‌شود که در بین ماه‌های فصل پاییز، ماه اکتبر با میانگین ۲۵/۷ میلی‌متر کم‌بارش‌ترین ماه و ماه نوامبر با ۳٦/۷ میلی‌متر پربارش‌ترین ماه در منطقه می‌باشد. انحراف معیار بارش از ماه اکتبر به سمت ماه دسامبر افزایش می‌یابد که می‌تواند نشانه‌ی بی‌ثباتی پراکنش بارش در ایستگاه‌های مختلف باشد. در ماه اکتبر میزان بارش در تمام ایستگاه‌ها کم بوده و در نتیجه مقدار انحراف معیار کم می‌باشد، اما با ورود بادهای غربی به منطقه و افزایش تغییرپذیری بارش ایستگاه‌های مختلف طی ماه‌های نوامبر و دسامبر، میزان انحراف معیار نیز افزایش می‌یابد. میزان چولگی در هر سه ماه مثبت می‌باشد، این امر نشان می‌دهد طی سه‌ماهه‌ی فصل پاییز بارش‌های اکثر ایستگاه‌ها دارای مقادیری کم‌تر از میانگین بوده‌اند. میزان چولگی به سمت انتهای فصل پاییز افزایش می‌یابد که نشانه‌ی تشدید اختلاف مقادیر بارشی بین مناطق مختلف می‌باشد. با توجه به مثبت بودن میزان کشیدگی داده‌ها و روند افزایشی آن طی ماه‌های مختلف، می‌توان استنباط نمود که شکل توزیع داده‌ها نسبت به یک توزیع قرینه، افراشته‌تر بوده و تمرکز اصلی داده‌ها حول‌وحوش میانگین می‌باشد. هرچند در ماه اکتبر داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک‌تر هستند. در ادامه به‌منظور ارزیابی میزان تغییرپذیری فضایی بارش در سطح ایستگاه‌های منطقه، موقعیت مرکز میانگین و فاصله‌ی استاندارد وزنی داده‌های بارش برای هر یک از ماه‌های مورد بررسی در شکل (۲) ترسیم شده است:

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۲: تغییرپذیری فضایی بارش‌های پاییزه‌ی شمال غرب ایران

Figure 2: Spatial variability of autumn precipitations in north west of Iran

با بررسی نقشه‌های تغییرپذیری فضایی بارش می‌توان گفت طی ماه اکتبر مرکز میانگین (نقطه‌ی ثقل) بارش‌ها در بخش‌های شمال‌شرقی منطقه (بخش‌های شرقی استان آذربایجان‌شرقی) قرار گرفته است. فاصله‌ی استاندارد که میزان تمرکز یا پراکندگی بارش‌ها حول میانگین مرکزی را نمایش می‌دهد و به دلیل توزیع همگون بارش‌ها در سطح منطقه دارای کم‌ترین قطر در بین سایر ماه‌ها بوده و متناسب با موقعیت قرارگیری مرکز میانگین، بخش‌هایی از استان آذربایجان‌شرقی، اردبیل و شمال زنجان را پوشش داده است. با توجه به این‌که در این پژوهش، فاصله‌ی استاندارد بر اساس یک انحراف معیار اختلاف نسبت به میانگین محاسبه شده است، محدوده‌ی قرارگیری دایره‌ی فاصله‌ی استاندارد بیانگر توزیع ٦٨ درصد بارش‌ها در داخل خود می‌باشد. با افزایش نفوذ بادهای غربی در ماه نوامبر، مرکز میانگین بارش‌ها اندکی به سمت جنوب جابجا شده است. وسعت محدوده‌ی فاصله‌ی استاندارد بارش نسبت به ماه قبل افزایش یافته و مناطق وسیع‌تری از استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی اردبیل و شمال زنجان و شمال کردستان را در بر گرفته است. این موضوع نشان می‌دهد پراکندگی بارش‌ها در این ماه نسبت به ماه اکتبر افزایش پیدا کرده و بارش‌ها ناهمگون‌تر شده‌اند. در ماه دسامبر تغییرات موقعیت مرکز میانگین و وسعت فاصله‌ی استاندارد بارش‌ها همچنان ادامه یافته و مشاهده می‌شود مرکز میانگین نسبت به ماه نوامبر به سمت مناطق جنوب‌غرب تغییر مکان داده است. وسعت دایره‌ی فاصله‌ی استاندارد نیز افزایش یافته که حاکی از افزایش پراکندگی و تغییرات مقادیر بارش‌ها نسبت به ماه‌های

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دیگر می‌باشد. نتایج تحلیل‌های این بخش نشان داد که روابط عوامل مکانی و جوی در طول ماه‌های فصل پاییز متغیر بوده و طی ماه‌های مختلف، تاثیر متفاوتی بر میزان و پراکندگی بارش‌ها دارند.

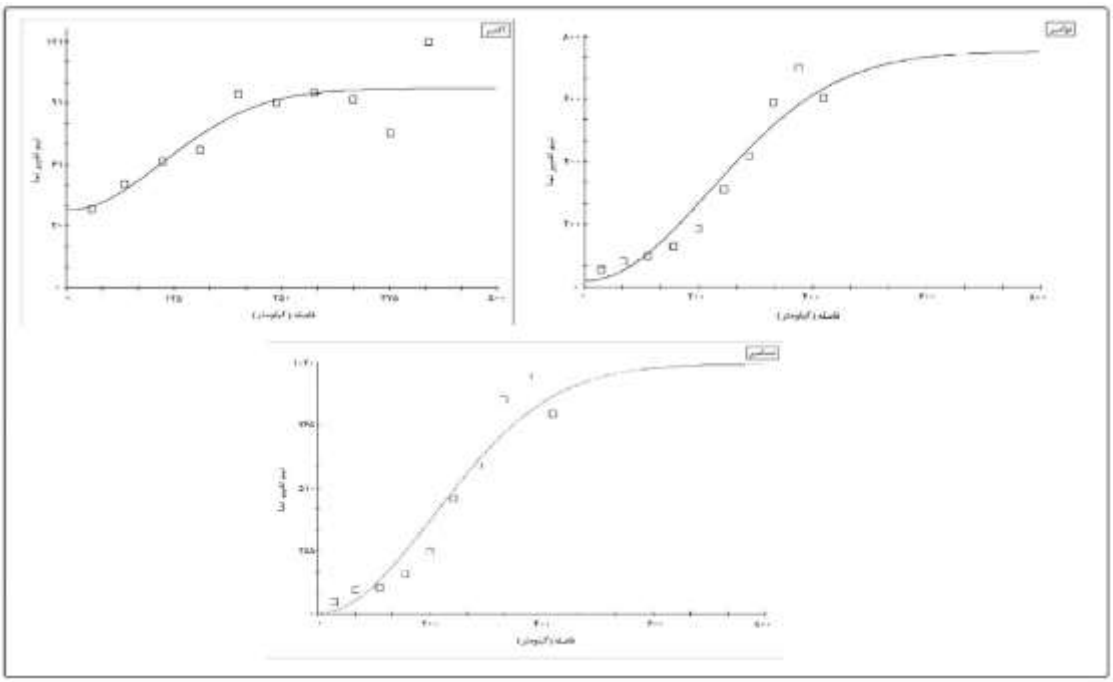
- ارزیابی روابط فضایی بارش در ایستگاه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه

در این بخش با هدف به‌دست آوردن ساختار داخلی تغییرات فراسنج بارش و تحلیل تغییرات در خودهمبستگی‌های مکانی از نمودار نیم تغییرنما با مدل گوسی استفاده شده است. نمودارهای نیم تغییرنما که بر اساس این مدل ترسیم شده‌اند و اطلاعات استخراج شده از آن‌ها در جدول (۲) و شکل (۳) آمده است.

جدول ۲- فراسنج های مدل نیم تغییرنگار گوسی برای ماه‌های پاییز

Table 2- Variables of gaussian variogram model for the autumn months

فراسنج / ماه	اثر قطعه‌ای	آستانه	دامنه (کیلومتر)	شعاع تاثیر (کیلومتر)	نسبت واریانس	ضریب تعیین
اکتبر	۳۸/۱	۹۷/۸	۱۵۸	۲۷۳	۰/۶۱	۰/۷۹
نوامبر	۲۰	۷۵۰/۹	۳۱۰	۶۰۰	۰/۹۷	۰/۹۴
دسامبر	۱	۱۰۱۲/۹	۲۹۴	۶۰۰	۰/۹۹	۰/۹۴



شکل ۳: نیم تغییرنمای بارش شمال غرب ایران در ماه‌های فصل پاییز

Figure 3: Variogram of precipitation in Northwest of Iran in autumn months

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

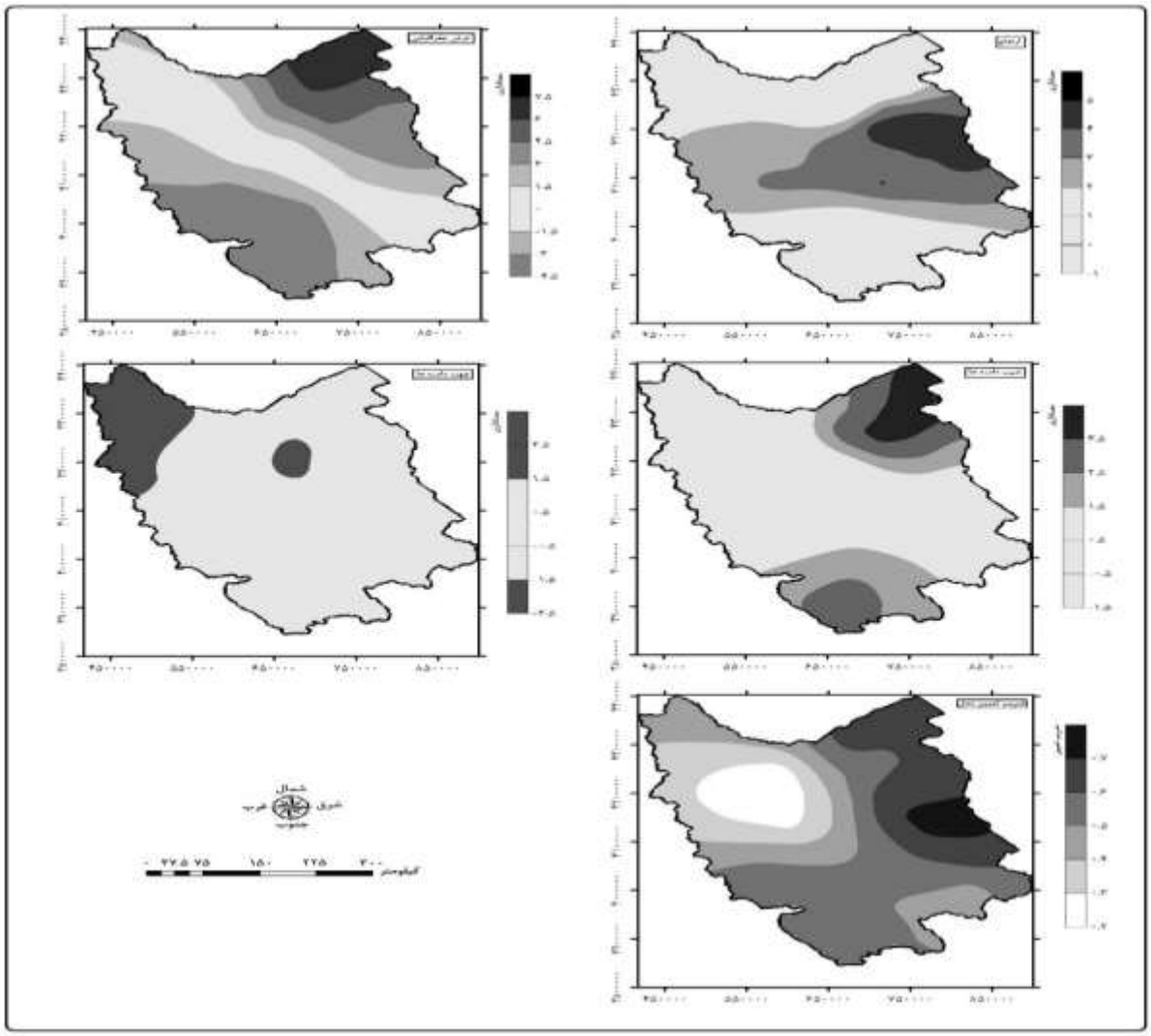
با بررسی اطلاعات جدول (۲) و شکل (۳) مشخص می‌شود که مدل گوسی که در این بخش مورد استفاده قرار گرفته، از دقت خوبی برای تبیین روابط فضایی بارش در سطح منطقه برخوردار است. ضریب تعیین این مدل در ماه اکتبر ۰/۷۹ و در ماه‌های نوامبر و دسامبر ۰/۹٤ به‌دست آمده که حاکی از مناسب بودن مدل برای داده‌های مورد استفاده می‌باشد. در ماه اکتبر مقدار اثر قطعه‌ای ۳۸/۱ است که بیش‌ترین میزان در بین سایر ماه‌ها می‌باشد. این موضوع بیانگر آن است که بخشی از واریانس مشترک (۳۹ درصد آن) بین‌بین مولفه های مکانی و بارش در ماه اکتبر تصادفی بوده و روابط مشخص و هماهنگی را بیان نمی‌کند. آستانه‌ای که مقدار تغییرنما در آن به ثبات می‌رسد دارای مقدار ۹۷/۸ می‌باشد که میزان آن نیز نسبت به سایر ماه‌ها پایین‌تر است. این آستانه مشخص می‌کند که میزان واریانس فضایی در ماه اکتبر چندان قابل توجه نیست و کلیت تغییرات بارش در ایستگاه‌های ناحیه مشابه هم می‌باشد؛ هرچند تمام واریانس مشترک، هماهنگ و معنادار نبوده و همان‌طور که اشاره شد بخشی از آن ناشی از مولفه های تصادفی است. در این ماه دامنه‌ی همبستگی مکانی در ایستگاه‌های مختلف ۱۵۸ کیلومتر و شعاع اثرگذاری عوامل گوناگون بر بارش منطقه ۲۷۳ کیلومتر است. نسبت واریانس در ماه اکتبر ۰/٦۱ بوده که نشان می‌دهد ٦۱ درصد داده‌های بارشی این ماه ساختار فضایی هماهنگی را از خود نشان می‌دهند. این میزان نسبت به ماه‌های دیگر کم‌تر بوده که نشان از متفاوت بودن علت بارش و عوامل موثر در تغییرات آن برای ایستگاه‌های مختلف می‌باشد. در ماه نوامبر اثر قطعه‌ای بارش به عدد ۲۰ رسیده که نشان دهنده‌ی پیوسته‌تر بودن رفتار بارش‌ها و مشخص‌تر بودن عوامل موثر بر آن‌ها طی این ماه می‌باشد؛ هرچند هنوز بخش کوچکی از واریانس مشترک حاصل عوامل تصادفی یا نامشخص است. مقدار آستانه (سقف نیم تغییرنما) به ۷۵۰/۹ افزایش یافته است که افزایش تغییرپذیری و تفاوت‌های مکانی بارش در نقاط مختلف را بیان می‌کند. دامنه و شعاع تاثیر همبستگی‌ها نسبت به ماه قبل تقریباً دو برابر شده‌اند. در این ماه دامنه به ۳۱۰ و شعاع تاثیر به ٦۰۰ کیلومتر افزایش یافته است. این شرایط نشان می‌دهد که همبستگی بارش‌ها در نقاط معلوم، از شرایط خوبی برای برآورد روابط مکانی بارش در نقاط فاقد داده برخوردار هستند. نسبت واریانس در ماه نوامبر ۰/۹۷ محاسبه شده که نسبت به ماه اکتبر افزایش قابل توجهی یافته است و حاکی از وجود ساختار مکانی خاص در داده‌های بارشی اکثر ایستگاه‌های محدوده می‌باشد. بررسی اطلاعات مربوط به ماه دسامبر نشان می‌دهد که در این ماه میزان اثر قطعه‌ای به عدد ۱ رسیده و با توجه به میزان آن نسبت به آستانه‌ی ثبات واریانس مشترک (۱۰۱۲/۹) می‌توان استنباط کرد که تمام تغییرات بارشی در این ماه ناشی از اثرگذاری عوامل مکانی یا جوی مشخص بوده است و عوامل تصادفی نقشی در چگونگی این تغییرات نداشته‌اند. میزان بالای آستانه‌ی ثبات واریانس هم بیانگر آن است که تغییرپذیری بارش در ماه دسامبر به اوج خود رسیده و ایستگاه‌های مختلف بر حسب موقعیت جغرافیایی، تفاوت در اثرگذاری عوامل مکانی و همچنین فرآیندهای جوی، دارای مقادیر متفاوتی از بارش بوده‌اند. دامنه‌ی همبستگی‌ها در این ماه ۲۹٤ کیلومتر و شعاع تاثیر آن ٦۰۰ کیلومتر می‌باشد که نسبت به ماه قبل تغییر چشم‌گیری نداشته است. این موضوع نشان می‌دهد که عوامل موثر با تغییرات بارش منطقه، همان عوامل موثر ماه قبل هستند با این تفاوت که شدت عملکرد آن‌ها در ماه دسامبر افزایش یافته که موجب افزایش واریانس بارش‌ها شده‌اند. نسبت واریانس در این ماه به بالاترین میزان خود رسیده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

است. مقدار این نسبت ۰/۹۹ است که با مقدار ایدئال این شاخص که عدد ۱ می‌باشد تفاوت ناچیزی دارد؛ در واقع طی این ماه تمام داده‌های بارشی منطقه دارای ساختار مکانی مشخصی هستند و در این زمینه هیچ نقطه‌ای نسبت به نقاط دیگر تفاوت مشخصی ندارد.

- مدل‌سازی مکانی بارش‌های ماهانه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل رگرسیون موزون جغرافیایی، امکان برآورد ضرایب رگرسیون، تعیین، معناداری و دیگر فراسنج ها برای هر نقطه‌ی مورد بررسی می‌باشد. در حالی که در رگرسیون معمولی یک ضریب برای کل محدوده محاسبه می‌گردد که خالی از اشکال نیست. در این قسمت با استفاده از خروجی‌های معناداری عوامل مکانی و ضریب تعیین مدل GWR نقشه‌های هم ارزش این فراسنج‌ها ترسیم و در شکل‌های (٤ تا ٦) نمایش داده شده است.



شکل ٤: توزیع ضرایب بارش ماه اکتبر براساس مدل GWR

Figure 4: Distribution of October precipitation coefficients based on the GWR model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نقشه‌های موجود در شکل (٤) شرایط معناداری اثرگذاری عوامل محیطی مانند ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت آن و همچنین مقادیر ضریب تعیین مدل در محدوده‌ی مورد مطالعه را برای ماه اکتبر نشان می‌دهند. بر اساس نقشه‌ها، عامل ارتفاع طی این ماه در ۵۱ درصد مناطق، تاثیر معناداری بر تغییرات بارش دارد. این عامل در بخش‌های مرکزی آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی، اربیل و قسمت‌های شمالی زنجان معنادار می‌باشد.

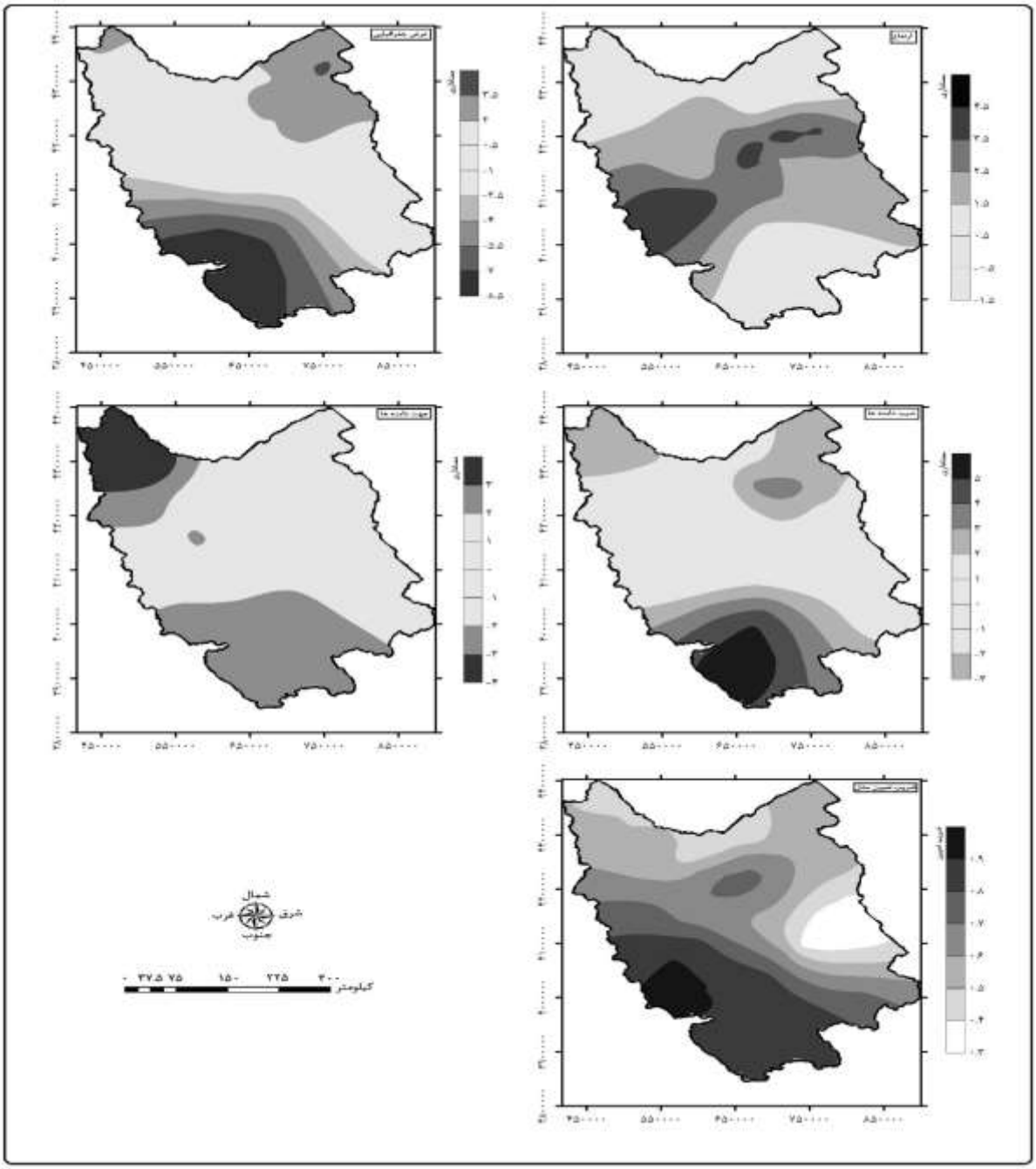
معنادار بودن اثر ارتفاع در این نواحی می‌تواند به دلیل تراکم توده‌های کوهستانی در این نواحی و قرارگیری آن‌ها در مسیر عبور بادهای غربی باشد، هر چند این نکته باید در نظر گرفته شود که میزان اثرگذاری بادهای غربی در این ماه نسبت به ماه‌های دیگر ضعیف‌تر بوده و تنها عامل تأثیرگذار بر بارش در این ماه نمی‌باشد. با بررسی نقشه‌ی معناداری عامل ارتفاع، مشخص می‌شود که در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه، اثر ارتفاع بر بارش معنادار نمی‌باشد؛ دلیل این امر احتمالا تراکم کم و ارتفاع پایین‌تر توده‌های کوهستانی در بخش‌های شمالی و ضعیف‌تر بودن سامانه‌های عبوری در قسمت‌های جنوبی می‌باشد. عامل عرض جغرافیایی در ماه اکتبر، در ۵۵ درصد محدوده‌ی مورد مطالعه اثر معناداری بر بارش داشته است. معناداری این عامل در دو بخش شمال‌شرق و جنوب‌غرب منطقه مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که عوامل موثر بر بارش در این دو منطقه متفاوت هستند. ورود بادهای غربی از مناطق غرب و جنوب‌غرب از یک سو و تاثیرگذاری رطوبت دریای خزر از سوی دیگر موجب شده است که با تغییر عرض جغرافیایی، میزان معناداری این عامل در منطقه به دو محدوده‌ی جدا از هم تقسیم شود. عامل شیب در بخش‌های جنوب‌غرب و شمال‌شرقی منطقه معنادار است. دلیل معناداری شیب در بخش‌های شمال‌شرقی منطقه این است که با شروع فصل پاییز، هجوم توده هوای سرد سیبری به بخش‌های شمالی ایران آغاز شده و با عبور از دریای خزر رطوبت کسب کرده و ناپایدار می‌شود. بخشی از این هوای مرطوب و ناپایدار با ورود به بخش‌های جلگه‌ای پارس‌آباد در شمال اردبیل و آذربایجان‌شرقی و برخورد با دامنه‌های شیب‌دار جنوب این مناطق جلگه‌ای موجب بارش می‌شوند. در مناطق جنوبی نیز تاثیر عامل شیب بر بارش می‌تواند ناشی از جهت‌گیری بادهای غربی در عبور از این دامنه‌ها باشد. افزایش شیب زمین‌های این نواحی نقش مهمی در صعود هوای مرطوب ورودی از مدیترانه دارد. اثرگذاری عامل جهت شیب در بخش‌هایی از شمال‌غرب منطقه (شمال آذربایجان‌غربی و مناطق شمال‌غربی استان آذربایجان‌شرقی) و مناطقی در اطراف کوه سهند معنادار می‌باشد. در این بخش‌ها جهت شمالی–جنوبی دامنه‌ها موجب برخورد بادهای باران‌زای غربی به آن‌ها شده و از این طریق اثر معناداری بر بارش برجای می‌گذارند. ضریب تعیین مدل GWR در مناطق مختلف نشان می‌دهد که مدل با دقت بسیار خوبی تاثیر عوامل محیطی در تغییرات مکانی فراسنج بارش را توجیه نموده است. در اکثر بخش‌های جنوبی، مرکزی و شرقی منطقه، ضریب تعیین بیش از ٤٠ درصد می‌باشد. بالاترین میزان این شاخص ۸۰ درصد است که بخش‌های شرقی محدوده (استان اردبیل) مشاهده می‌شود. قرارگیری بیشینه‌ی ضریب تعیین در این نواحی می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی و نحوه‌ی استقرار ناهمواری‌ها در آن باشد که شرایط را جهت نفوذ رطوبت و ایجاد بارش فراهم نموده‌اند. کم‌ترین میزان ضریب تعیین (۲۰ درصد) در استان آذربایجان‌غربی و غرب آذربایجان‌شرقی مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد بارش‌های این ناحیه در ماه اکتبر، چندان از الگوی عمومی سایر نقاط

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تبعیت نمی‌کند و عوامل دیگری در تغییرات آن دخالت دارند. شرایط معناداری عامل ارتفاع در ماه نوامبر نیز به ماه اکتبر شباهت دارد (شکل ۵). طی این ماه در ۵۰ درصد از مساحت منطقه عامل ارتفاع تاثیر معناداری بر تغییرات بارش داشته است. این محدوده‌ی معنادار در قسمت‌های میانی محدوده‌ی مورد مطالعه قرار دارد. بالاترین میزان معناداری در مرزهای غربی استان آذربایجان‌غربی مشاهده می‌شود؛ در این ماه با افزایش قدرت و نفوذ بادهای غربی در منطقه، محدوده‌ی بیشینه‌ی معناداری به بخش‌های غربی منطقه منتقل شده است. بررسی نقشه‌ی معناداری شیب نشان داد که نسبت به ماه قبل از میزان معناداری این عامل در قسمت‌های شمال‌شرقی محدوده کاسته شده است (هرچند هنوز معنادار است) و به میزان معناداری در بخش‌های جنوبی افزوده شده است. به وجود آمدن این شرایط در شمال شرق منطقه حاکی از تضعیف شرایط نفوذ رطوبت به این مناطق در ماه نوامبر می‌باشد. طی این ماه با تغییر محسوس الگوی بارش‌ها و افزایش نقش بادهای غربی در ایجاد بارندگی‌های سیستماتیک، نقش دامنه‌ها در تغییرات مکانی بارش مشخص‌تر شده است. نقشه‌های معناداری جهت شیب در ماه نوامبر افزایش اثرگذاری این عامل بر بارش‌های منطقه را نشان می‌دهد. بر خلاف ماه اکتبر که این عامل در ۵ درصد مناطق معنادار بوده، میزان اثرگذاری آن در این ماه به ۳۲ درصد رسیده است. در این ماه علاوه بر بخش‌های شمالی استان آذربایجان‌شرقی و غربی، بخش‌های گسترده‌ای از توده‌های کوهستانی جنوب منطقه در تغییرات بارش این ماه، تاثیر معناداری دارند. این شرایط به خوبی اهمیت جهت‌گیری ناهمواری‌ها در تغییرات بارش را نشان می‌دهد. در واقع جهت غربی–شرقی شیب دامنه‌ها در ناهمواری‌های شمال منطقه و همچنین جهت‌گیری جنوب‌غرب–شمال‌شرق دامنه‌ها در مناطق جنوبی نقش موثری در برخورد سامانه‌های بارش زا به خود و افزایش بارش ایفا نموده‌اند. بادهای غربی و سامانه‌های بارانزا که از غرب و جنوب‌غرب به منطقه وارد می‌شوند، تحت تاثیر جهت دامنه‌ها در این مناطق قرار گرفته و میزان بارش آن‌ها نسبت به شرایط عادی (بدون اثرگذاری عامل جهت شیب) تغییر می‌یابد. توزیع معناداری عامل عرض جغرافیایی نیز بسیار به توزیع معناداری شیب در سطح منطقه شباهت دارد. این عامل نیز در دو بخش مجزا معنادار است. یک محدوده در شمال‌شرق منطقه و در استان‌های اردبیل و شمال‌شرق آذربایجان‌شرقی قرار گرفته و محدوده‌ی دوم که گسترده‌تر می‌باشد در جنوب‌غرب منطقه و در قسمت‌هایی از استان‌های کردستان، جنوب آذربایجان‌غربی و شرقی و غرب زنجان واقع شده است. به نظر می‌رسد دلیل ایجاد این شکل از توزیع معناداری نقش موقعیت جغرافیایی این نواحی در برابر سامانه‌های بارانزا باشد. در ماه نوامبر از یک سو تاثیر بادهای غربی بر بارش منطقه افزایش می‌یابد و از سوی دیگر هنوز در مناطق شمال‌شرق محدوده اثرات ورود رطوبت دریای خزر به چشم می‌خورد. در واقع ترکیب این عوامل با شرایط محیطی منطقه موجب شده تا توزیع معناداری در سطح منطقه به این شکل درآید. توزیع ضرایب تعیین برای ماه نوامبر نشان می‌دهد که در این ماه متغیرهای مستقل و وابسته در نیمه‌ی غربی–جنوب‌غربی منطقه، هماهنگی بهتری از خود نشان داده‌اند. مدل در این محدوده بین ۵۰ تا بیش از ۹۰ درصد تغییرات متغیر وابسته (بارش) را در ارتباط با متغیرهای مستقل (ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت آن) توجیه نموده است. کم‌ترین میزان ضریب تعیین ۳۰ تا ٤٠ درصد بوده که در بخش‌های جنوبی استان اردبیل و شمال استان زنجان قرار گرفته است که شرایطی برعکس ماه اکتبر را نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

این موضوع نشان می‌دهد که بین عوامل ایجاد بارش در این دو ماه و نقش عوامل مکانی بر آن‌ها تفاوت وجود دارد. به نظر می‌رسد، توسعه و تقویت بادهای غربی در ماه نوامبر موجب جابجایی وزن بارش‌ها به نیمه‌ی غربی منطقه شده است که شاهد تراکم بالاتر ارتفاعات و شرایط جغرافیایی مساعدتری در برابر سامانه‌های نفوذی هستند و این موضوع سبب شده تا نقش عوامل مکانی این بخش، در تغییرات بارش معنادارتر باشد.



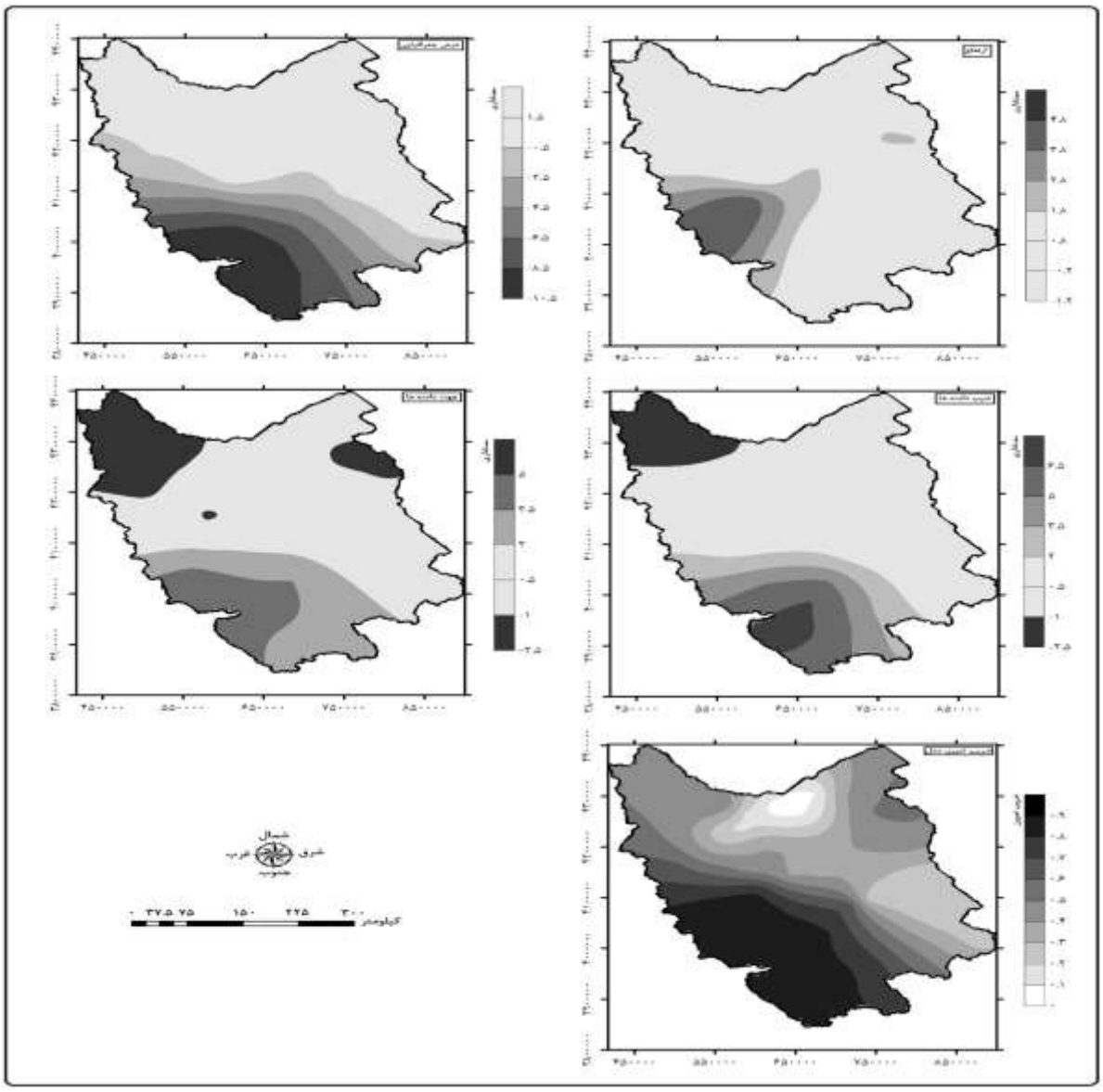
شکل ۵: توزیع ضرایب بارش ماه نوامبر براساس مدل GWR

Figure 5: Distribution of November precipitation coefficients based on the GWR model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در ماه دسامبر شکل (٦) معناداری تاثیر ارتفاع بر بارش به بخش‌های غربی منطقه (جنوب آذربایجان‌غربی، شمال کردستان و بخش‌های غربی آذربایجان‌شرقی) محدود شده است. این مناطق دارای توده‌های کوهستانی با تراکم بالا و ارتفاع نسبتاً زیاد هستند و در مسیر عبور سامانه‌های باران‌زا قرار دارند. در واقع با نزدیک شدن به فصل زمستان و تقویت سامانه‌های بارشی در منطقه، این سامانه‌ها برای ایجاد بارش کم‌تر به شرایط توپوگرافی و ارتفاعات وابسته هستند و قدرت صعود، ارتفاع و رطوبت موجود در آن‌ها به حدی است که تا حدود زیادی باعث ایجاد بارش شود و این موضوع را می‌توان به‌عنوان یکی از دلایل مهم کاهش نقش ارتفاعات در تغییرات مقدار بارش در سطح منطقه در نظر گرفت. توزیع معناداری میزان شیب دامنه‌ها در این ماه، به ماه‌های قبل شباهت دارد؛ با این تفاوت که معناداری به مناطق جنوبی و شمال‌غرب منطقه محدود شده و سایر مناطقی که در ماه‌های قبل معنادار بوده‌اند، در این ماه شرایط معناداری در اثرگذاری بر شرایط بارشی از خود نشان نداده‌اند. این موضوع را می‌توان از طریق کاهش اثرگذاری دریای خزر بر تغذیه‌ی رطوبتی در قسمت‌های شرقی منطقه و غلبه‌ی کامل سیکلون‌های مدیترانه‌ای توجیه نمود که بیش‌ترین تاثیر خود را بر شیب‌های غربی منطقه برجای گذاشته‌اند. معناداری جهت دامنه‌ها در ماه دسامبر نیز شرایطی مشابه با نقشه‌ی توزیع مقدار شیب دارد. در این ماه جهت شیب ارتفاعات در بخش‌های جنوب‌غرب و شمال‌غرب منطقه معنادار می‌باشد که کاملا با مسیر عبور سامانه‌های بارش زا مطابقت دارد. معناداری اثر عرض جغرافیایی بر بارش در این ماه به نیمه‌ی جنوبی منطقه، محدود شده است. علت این امر را می‌توان در تقویت تدریجی توده‌های هوای سرد و پرفشار در نیمه‌ی شمالی منطقه بر شمرد که موجب می‌شود با حرکت از جنوب به شمال منطقه از معناداری عامل عرض جغرافیایی بر بارش کاسته شود. توزیع مکانی ضریب تعیین مدل در این ماه به‌طور کلی مشابه ماه نوامبر می‌باشد. بالاترین میزان ارتباط متغیرهای مستقل و وابسته در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی مشاهده می‌شود (بیش از ۹۰ درصد) و با حرکت به سمت شرق و شمال‌شرق، از میزان آن کاسته شده و در برخی مناطق شمالی (شمال آذربایجان-شرقی) به کم‌تر از ۱۰ درصد می‌رسد. با توجه به نحوه‌ی توزیع ضرایب در این نقشه مشخص می‌شود که عوامل مکانی موثر بر بارش در بخش‌های غربی منطقه به‌خوبی توسط مدل شناسایی و ارتباط آن‌ها با بارش به‌خوبی تبیین شده است. در این مناطق سازوکار روابط عوامل مکانی و بارش با دقت بیش‌تری بیان شده است اما در سایر مناطق عوامل دیگری (که ممکن است به مدل وارد نشده باشند) در تغییرات مکانی بارش موثر بوده‌اند که مدل اجرا شده تبیین خوبی از شرایط به دست نداده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٦: توزیع ضرایب بارش ماه دسامبر براساس مدل GWR

Figure 6: Distribution of december precipitation coefficients based on the GWR model

نتیجه‌گیری

پدیده‌های آب‌وهوایی حاصل روابط پیچیده‌ی عوامل، عناصر و اجزای دستگاه اقلیم می‌باشند که در ابعاد زمانی و مکانی تغییر می‌یابند. شکل‌گیری، اثرگذاری و نتایج این روابط پیچیده علاوه بر این‌که از تغییرات زمانی متاثر می‌شوند، به صورت کاملاً مشخصی تابع شرایط و عوامل مکانی هستند. یکی از فراسنج‌های آب‌وهوایی که به نحو چشمگیری از عوامل مکانی متاثر می‌شود، بارش است. در پژوهش حاضر تلاش شد تا با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی و مدل‌سازی به روش رگرسیون موزون جغرافیایی، ضمن ارائه‌ی شرایط تغییرپذیری مکانی، نقش عواملی مانند ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت آن در تغییرات بارش شمال‌غرب ایران مشخص شود. بر اساس بررسی‌های انجام

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شده مشخص شد که در ماه اکتبر، ضعیف بودن بادهای غربی و پوشش ناکامل آن‌ها بر منطقه موجب قرارگیری مرکز ثقل بارش‌ها در شمال منطقه، کاهش شعاع تاثیر سامانه‌های بارش زا شده است. در این ماه عوامل مکانی، نقش پررنگی در تغییرات مکانی بارش داشته‌اند، با این حال ذکر این نکته ضروری است که کاهش ورود سامانه‌های بارشی به منطقه طی این ماه موجب کاهش واریانس مکانی شده است.

نکته‌ی مهمی که در بررسی روابط عوامل مکانی و بارش در این ماه باید به آن توجه شود، تغذیه‌ی رطوبتی بارش‌های قسمت‌های شمال‌شرقی منطقه (شمال اردبیل و آذربایجان‌شرقی) از دریای خزر می‌باشد. رطوبت نفوذی به این محدوده پس از برخورد به زمین‌های شیب‌دار جنوب این ناحیه، متراکم شده و موجب ایجاد بارش می‌گردد. در ماه نوامبر مرکز میانگین بارش‌ها به سمت جنوب جابجا شده و شعاع تاثیرگذاری و واریانس مکانی بارش‌ها افزایش یافته است. در واقع با افزایش پوشش بادهای غربی در سطح منطقه، شرایط جغرافیایی و توپوگرافیک مناطق مختلف موجب شده که تفاوت‌های مکانی بارش‌ها افزایش یابد. در این ماه نقش عوامل مکانی مانند ارتفاع، شیب و جهت آن در تغییرات مکانی بارش‌ها کاملا مشخص بوده و نسبت به سایر ماه‌ها، بیش‌ترین اثرگذاری را داشته‌اند. در بخش‌های شمال‌شرقی منطقه از میزان نفوذ رطوبت دریای خزر کاسته شده و بیشینه‌ی اثرگذاری عوامل مکانی به نیمه‌ی غربی منطقه منتقل شده که دارای تراکم بیش‌تری از توده‌های کوهستانی مرتفع می‌باشد. اثرگذاری عوامل مکانی بر بارش‌های منطقه در ماه دسامبر کاهش می‌یابد. در این ماه با قدرتمندتر شدن بادهای غربی و نفوذ سامانه‌های بارشی به منطقه، از تأثیرگذاری عوامل مکانی کاسته شده و دلیل اصلی افزایش واریانس مکانی بارش‌ها، شرایط خود سامانه‌های جوی است؛ هرچند در بخش‌های غربی محدوده همچنان تاثیرگذاری عوامل مکانی بر بارش مشهود است. واریانس مکانی بالا در بارش‌های این ماه نشان می‌دهد بارش‌های این ماه به طور مشخصی بی نظم هستند.

یافته‌های این پژوهش در مورد نقش عوامل مکانی در تغییرپذیری بارش‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر محققان از جمله Safarrad et al (2013)، Yarahmadi et al (2015)، Seifipour and Asakereh (2012)، Sotodeh and Alijani (2015) مطابقت دارد. بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نقش عوامل مکانی در مناطق مختلف را مشخص کرد که بر اساس آن می‌توان برنامه‌ریزی‌های مختلفی در زمینه‌های استفاده‌ی بهینه از توان‌های محیطی در بخش‌های گوناگون انجام داد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Alaeetaleghani, M., (2011), "***Geomorphology of Iran***", Tehran: Ghomas Press. [In Persian].
- Alijani, B., (2008), "***Climate of Iran***", Tehran: Payamenoor University Press. [In Persian].
- Alijani, B., Doostkamian, M., Ashrafi, S., Shakeri, F., (2015), "Study of changes in spatial autocorrelation patterns within a decade Iran's precipitation in the last half century", ***Geography and Urban-Regional Integration***, 14: 71-88. [In Persian].
- Asadi, A., Jalali, M., (2016), "Study and evaluation of kriging geostatistical methods in the spatial distribution of precipitation (Case study: Northwest of the Iran)", ***Jornal of Geographical Space***, 52: 187-204. [In Persian].
- Asakereh, H., (2011), "***Fundamentals of statistical climatology***", Zanjan: Zanjan university Press. [In Persian].
- Asakereh, H., Shadman, H., (2015), "Identification of spatial relationships of comprehensive warm Days in Iran", ***Geographical Researches***, 30: 53-70. [In Persian].
- Balyani, Y., Hakimdoost, S.Y., (2014), "***The principles of spatial data analysis***", Tehran: Azadpeyma Press. [In Persian].
- Biau, G., Zorita, E., Storch, H., Wackernagel, H., (1999), "Estimation of precipitation by kriging in the EOF space of the sea level pressure field", ***Journal of Climate***, 12: 1070-1085.
- Brissette, F., Khalili, M., Leconte, R., (2011), "Effectiveness of multy-site weather generator for hydrological modeling", ***Journal of the American Water Resources Association***, 47: 303-314.
- Crochet, P., Johannesson, T., Jonsson, T., Singurdsson, O., Bjornsson, H., Palsson, F., Barstad, I., (2007), "Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using linear model of orographic precipitation", ***Journal of Hydrometeorology***, 8: 1285-1306.
- Gaitans, S., Tenveldhuis, M. C., Bruni, G., Degesen, N., (2014), "Multivariate spatial analysis of a heavy rain event in a densely populated Delta city", ***Geophysical research Abstracts***, 16: 1-14.
- Gholizadeh, M.H., Darand, M., (2009), "Monthly rainfall forecast using artificial neural networks", ***Geographical Researches***, 71: 53-61. [In Persian].
- Irmak, A., Ranade, P. K., Marx, D., Irmak, S., Hubbard, K. G., Meyer, G. E., Martin, D. L., (2010), "Spatial interpolation of climate variables in Nebraska", ***American Society of Agricultural and Biological Engineers***, 53: 1759-1771.
- Jalali, M., Kamarian, V., (2018), "Analysis of spatial patterns of thunderstorms in northwest of Iran", ***Jornal of Geographical Space***, 61: 63-81. [In Persian].
- Kai, T., Zhon g-wei, Y., Yi, W., (2011), "A spatial cluster analysis of heavy rains in China", ***Atmospheric and Oceanic Science Letters***, 4: 36-40.
- Kaviani, M. R., Alijani, B., (2007), "***Fundamentals of climatology***", Tehran: Samt Press. [In Persian].
- Khosravi, Y., Abbasi, A., (2016), "***Spatial analysis of environmental data using geostatistics***", Zanjan: Azarkelk Press. [In Persian].
- Ranhao, S., Baiping, Z., Jing, T., (2008), "A multivariate regression model for predicting precipitation in the Daging Mountains", ***Mountain Research and Development***, 28: 1-15.
- Safarrad, T., Farajisabokbar, H., Azazi, G., Abbaspour, R., (2013), "Spatial analysis of rainfall changes in middle Zagros with geostatistical methods (1995-2004)", ***Geography and Development***, 31: 149-164. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Seifipour, Z., Asakereh, H., (2012), "Spatial modeling of annual precipitation in Iran", ***Geography and Development***, 29: 15-30. [In Persian].
- Soori, D., Monirijavid, S., (2011), "Housing price determination model; An application of geographical weight regression method", ***Urban Management***, 1: 7-28. [In Persian].
- Sotodeh, F., Alijani, B., (2015), "Relationship of spatial dispersion of heavy precipitation with pressure patterns in Gilan", ***Spatial Analysis of Environmental Hazards***, 2: 63-73. [In Persian].
-Vahidiasl, M.G., (2007), **"*Statistics and probabilities in geography (1)*"**, Tehran: Payamenoor University Press. [In Persian].
-Yarahmadi, D., Halimi, M., Zareichoghablaki, Z., (2015), "Spatial analysis of monthly precipitation in Northwest of Iran using spatial autocorrelation statistics", ***Physical Geography Researches***, 47: 451-464. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]