

مدل سازی روابط فضایی بارش - ارتفاع در شمال شرق کشور

با استفاده از مدل GWR

مختار کرمی^{*۱}

m.karami08@yahoo.co.uk

الهام کدخدای^۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: بارش از متغیرترین فراسنج های اقلیمی است. این تغییرات هم در بعد مکان و هم در بعد زمان در قالب اقلیم منطقه رخ می دهد. این مطالعه باهدف مدل سازی روابط فضایی بارش فصلی شمال شرق کشور با دوره آماری مشترک ماهانه ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) انجام شد.

روش: به منظور دستیابی به تغییرات فضایی بارش از روش های نوین آمار فضایی مانند خودهمبستگی فضایی، موران جهانی، شاخص پراکندگی آمار فضایی و مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) از قابلیت های محیط *ARCGIS* بهره گرفته شد. نتایج: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تغییرات بارش در شمال شرق ایران دارای الگوی خوشه های بالا یا همان مثبت می باشد. بطوریکه مقدار شاخص موران جهانی برای هر ۴ فصل مورد مطالعه و مجموع سالانه بالای ۰/۹۳ می باشد که بالاترین شاخص موران جهانی با مقدار ۱/۰۰۳۲۱۹ مربوط به فصل تابستان بوده است.

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاصل از مدل GWR نشان داد که بارش در بخش های شمال منطقه مورد مطالعه دارای خودهمبستگی فضایی مثبت و در بخش های جنوبی که غالباً مناطق کویری شمال شرق ایران تشکیل می دهند دارای خودهمبستگی فضایی منفی بوده است. همچنین نتایج آماره های پراکندگی، حاصل پیوستگی الگوی خوشه های بارش در شمال شرق کشور بود. بر اساس شاخص فراوانی خوشه ها یا ICF فصل زمستان بزرگ ترین خوشه های بارشی با مقدار عددی ۲۶۴/۴۶ در شمال شرق کشور ایجاد می شود.

واژگان کلیدی: مدل سازی فضایی بارش - ارتفاع، خودهمبستگی فضایی، موران محلی، مدل GWR، ایران

۱- استادیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

Modeling of Precipitation-Elevation Spatial Relationships in the Northeast of Iran by Using the GWR Model

Dr Mokhtar Karami^{1*}

m.karami08@yahoo.co.uk

Elham Kadkhoda²

Accepted: 2018.10.17

Received: 2017.07.08

Abstract

Background and Objective: Precipitation is one of the most variable climatic parameters. These changes occur both in terms of location and time in terms of the region's climate. This study was conducted to model the spatial relationships of seasonal rainfall in the northeast of the country with a joint monthly statistical period of 30 years (1980-2010).

Method: In order to achieve spatial variation of rainfall, new methods of spatial statistics such as spatial autocorrelation, global Moran, spatial dispersion index and geographic weight regression model (GWR) were used in GIS software.

Findings: The results of this study showed that rainfall changes in northeastern Iran have a high cluster pattern or positive. The Global Moran Index for each of the four seasons and the annual sum is above 0.93, the highest Global Moran index with the value of 0.032191 is for the summer season.

Discussion & Conclusion: The results of the GWR model showed that rainfall in the northern parts of the study area had positive spatial auto-correlation and in the southern parts, which are mostly desert areas had negative spatial auto-correlation. Also, the results of dispersion data were the result of cluster pattern of precipitation in the northeast of the country. Based on the frequency index of clusters or the ICF, the winter season is the largest cluster with a numerical value of 2646.26 in Northeast of the country.

Keywords: Spatial Modeling of Precipitation-Elevation, Spatial Autocorrelation, Local Moran, GWR Model, Iran

1- Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

2- M.Sc., Meteorology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

مقدمه

آگاهی از مقدار، توزیع مکانی و زمانی تغییرات بارش برای برنامه‌ریزی‌ها امری ضروری است (۱). از جمله مواردی که بررسی فراسنج اقلیمی بارش را شاخص نموده است می‌توان به مدل‌سازی و پیش‌بینی سیلاب، پایش و اعتبار سنجی مدل‌های هواشناسی، مدل‌سازی عملکرد محصولات کشاورزی و صدها خدمت دیگر اشاره نمود. لذا مطالعه فراسنج اقلیمی بارش می‌باید به‌عنوان محور راهبردی برای برنامه‌ریزی‌های آتی مورد توجه قرار گیرد. مطالعات اقلیمی زمانی ارزشمند تلقی خواهند شد که داده‌های بهنگام در اختیار محققین قرار داشته باشد. کمی‌سازی اهمیت نسبی عوامل طبیعی و انسانی تجزیه و تحلیل‌های مکانی و زمانی امری ضروری قلمداد می‌گردد (۲، ۳، ۴ و ۵). به این ترتیب مدل‌سازی روابط فضایی تنوع مکانی- زمانی بارش نه تنها برای پیش‌بینی آب‌وهوا مهم است بلکه برای طیف وسیعی از تصمیم‌گیرندگان از جمله هیدرولوژیست‌ها، کشاورزان و صنعت‌گران امری حیاتی محسوب خواهد شد (۶). بر اساس گزارش‌های هیئت بین دول تغییرات آب و هوایی (۷) از نیمه دوم قرن ۲۰ روند بارش سنگین (بارش‌های رگباری) در نقاط مختلف جهان رو به افزایش است. همان‌طور که اشاره شد ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش که به‌طور مداوم بارش را پایش کنند اغلب مواقع در دسترس نمی‌باشند. به‌ویژه در مناطق کوهستانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری پراکنده بوده و با توجه پیچیدگی توپوگرافی این‌گونه مناطق و تعامل تنگاتنگ این مؤلفه با شرایط جوی بر پیچیدگی برآورد بارش می‌افزاید (۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). لذا می‌بایست با استفاده روش‌های بهینه بهترین راهکار را جهت بررسی نقاط فاقد آمار ارائه داد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های زمین‌آمار اشاره کرد. روش زمین‌آمار به‌عنوان روشی متناسب جهت بررسی داده‌های بارش و همچنین برآورد منطقه‌ای بارش مورد تایید قرار گرفته است (۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶) برآورد دقیق از توزیع فضایی بارش نیاز به یک شبکه یاخته‌ای متراکم و منظم دارد (۱۶). یک الگوی ساخت‌یافته فضایی در سراسر منطقه مورد مطالعه می‌بایست از میانگین، واریانس و جهت ثابتی برخوردار باشد (۴). مطالعه

الگوهای یاخته‌ای دارای سابقه‌ای طولانی و نقش مهمی در تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی دارد (۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰). از الگوهای یاخته‌ای می‌توان برای مشخص کردن الگوی فضایی پراکنده، تصادفی و خوشه‌ای استفاده کرد. همچنین الگوهای یاخته‌ای این توانمندی را دارند تا خوشه‌ها و ناخوشه را نیز مورد پایش و ارزیابی قرار دهند (۲۱). تاکنون پژوهش‌های بسیاری توسط محققین برای مدل‌سازی روابط فضایی بارش انجام شده است که به چند مورد اشاره خواهد شد. جیا^۱ و همکاران با استفاده از روش‌های آمار فضایی به ریزمقیاس‌نمایی الگوریتم بارش شبکه TRMM بر اساس شاخص NDVI و مدل رقمی ارتفاع در حوضه کادمیوم^۲ چین پرداختند. در این پژوهش از روش آمار فضایی موران جهانی برای تحلیل الگو شاخص NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد که ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش با استفاده از الگوریتم نامبرده در برای شش ایستگاه مورد مطالعه با توجه روند داده‌ها دارای مقادیر متفاوت می‌باشد (۲۲). آلد و سابیرند در پژوهشی برای منطقه کولمر^۳ واقع در شمال شرق فرانسه از روش چوله نرمال برای داده‌های آب و هوایی و مدل‌های پراکندگی اپیدمیولوژی برای گونه‌های گیاهی با رویکرد کاربردی آمار فضایی بهره بردند؛ و مناطق حساس کشاورزی به تغییرات آب و هوایی را مشخص کردند (۲۳). با توجه به قابلیت‌های بالای آمار فضایی تاکنون پژوهش در خصوص مدل‌سازی روابط فضایی بارش در ایران انجام نشده است. هدف پژوهش مدل‌سازی روابط فضایی بارش و ارتفاع در شمال شرق ایران با رویکرد بهره‌گیری از مدل GWR می‌باشد.

مواد و روش

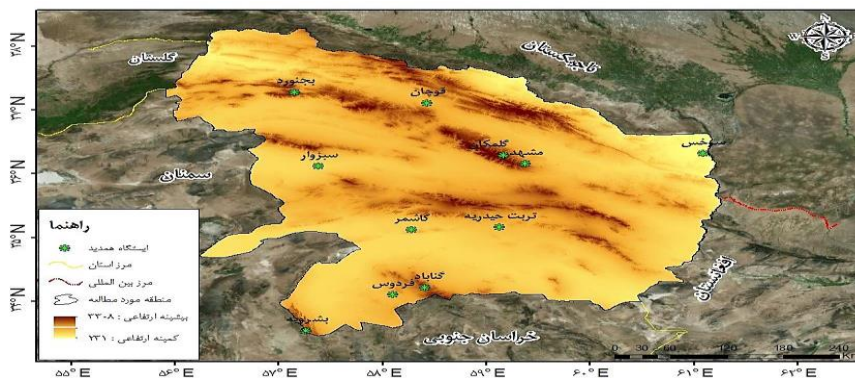
در این پژوهش از آمار مشترک و همگن ۱۱ ایستگاه همدید شمال شرق کشور با دوره آماری مشترک ماهانه ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد. شکل (۱) پراکنش ایستگاه‌های

1- Jia
2- Qaidam
3- Colmar

استفاده گردید.

در این پژوهش به منظور بررسی ساختار فضایی یاخته‌های بارشی شمال شرق کشور آماره‌های فضایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. آماره استفاده شده شاخص پراکندگی (ID)^۱ است که نسبت واریانس به میانگین را بررسی می‌کند. اگر داده‌های مورد مطالعه از توزیع تصادفی پیروی کنند انتظار می‌رود ID برابر یک باشد.

مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این پژوهش داده‌های ایستگاهی با استفاده از روش میانبایی کریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 به داده‌های پهنه‌ای با یاخته‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر تعمیم داده شد. جهت تسریع در روند محاسبات، از قابلیت‌های برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB، GS+ و SAS استفاده شده است. همچنین برای تهیه نقشه مناطق بارشی کشور از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰،۲،۲



شکل ۱ - ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

Figure 1-Synaptic stations in study area

$$GI = \frac{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{n-1} = \frac{ICS}{n-1} \quad (3)$$

شاخص فرکانس خوشه^۴ (۲۶) معیاری برای اندازه‌گیری خوشه بر اساس تابع K از توزیع دوجمله‌ای منفی است (رابطه ۴). شاخص تراکم میانگین^۵ (۲۷) متوسط تعداد نقاط موجود در منطقه مورد مطالعه است که به‌طور تصادفی از یک نقطه سنجش می‌شود (رابطه ۵).

$$ICF = \frac{\bar{x}}{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1} = \frac{\bar{x}}{ICS} \quad (4)$$

$$IMC = \bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = \bar{x} + ICS \quad (5)$$

این آماره به دنبال یک آزمون χ^2 با درجه آزادی $n-1$ داده را برازش می‌دهد (رابطه ۱). شاخص تجمع^۶ (۲۴) تابع مستقیم از شاخص پراکندگی است. اگر داده‌های مورد مطالعه از توزیع تصادفی پیروی کنند انتظار می‌رود ICS برابر صفر باشد. مقادیر ارزشی مثبت در این آماره حاکی از خوشه بودن داده‌ها و مقادیر ارزشی منفی بیانگر ناخوشه بودن داده‌ها می‌باشد (رابطه ۲). آماره GI ^۷ (۲۵) در حقیقت همان شاخص اصلاح‌شده ICS می‌باشد که مستقل از N است. در این آماره ارزش عددی صفر برای توزیع‌های تصادفی و مقادیر ارزشی یک برای توزیع‌های با حداکثر خوشه است (رابطه ۳).

$$ID = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (1)$$

$$ICS = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = ID - 1 \quad (2)$$

- 1- Index of Dispersion (ID)
- 2- Index of Cluster Size (ICS)
- 3- Green's Index (GI)
- 4- Index of Cluster Frequency (ICF)
- 5- Index of Cluster Frequency (ICF)
- 6- Index of Mean Crowding (IMC)

عوارض یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری نمود (۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۰)؛ خودهمبستگی فضایی موران به بررسی خودهمبستگی فضایی بر اساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد و خصیصه موردنظر از عارضه جغرافیایی را در آن مکان تحلیل می‌کند (۳۵). برای محاسبه آماره یا شاخص موران، ابتدا نمره استاندارد Z و $P-Value$ محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود. برای محاسبه خودهمبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران جهانی از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{s_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن $(\bar{x} - x_i)$ می‌باشد. $w_{i,j}$ وزن موجود بین عارضه i و j می‌باشد، n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است و s_0 جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد که بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (10)$$

نمره استاندارد Z_i برای آماره موران از طریق رابطه (۱۱) به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود و در رابطه ۹ قرار داده می‌شود:

$$z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (11)$$

$$E[I] = -\frac{1}{n_1} \quad (12)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (13)$$

به‌طور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک عدد +۱ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱ باشد، آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده می‌باشند.

شاخص لکه‌ها^۱ (۲۷) شدت الگوی تأثیرپذیر را مورد مطالعه قرار می‌دهد (رابطه ۶). شاخص مورسیتا^۲ (۲۸) احتمال مقیاس بندی خوشه‌های دو یاخته از کل یاخته‌های مورد مطالعه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد یا به عبارتی موارد مشابه یا هم-پوشانی را در یک خوشه قرار دهد (رابطه ۷).

$$IP = \frac{\bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{\bar{x}} = \frac{IMC}{\bar{x}} = 1 + \frac{1}{ICF} \quad (6)$$

$$I_m = \frac{n \sum x(x-1)}{n\bar{x}(n\bar{x}-1)} = \frac{n\bar{x}IP}{(n\bar{x}-1)} \quad (7)$$

همچنین ضریب چولگی (G_1) و ضریب درجه اوج (G_2) برای هر یک از ماه‌های مورد مطالعه به‌طور جداگانه محاسبه شده است.

$$g_2(v) = g_1\left(v + \frac{\pi}{2}\right) \quad (8)$$

در رابطه ۸ ضریب چولگی (G_1) و ضریب درجه اوج (G_2) می‌باشد. به‌منظور بررسی الگوی حاکم بر بارش شمال شرق کشور از روش‌های نوین آمار فضایی؛ خودهمبستگی فضایی (موران محلی و موران جهانی) و *HotSpot* استفاده شد. شناخت الگوها و کشف روندهای موجود در داده‌های فضایی از اهمیت زیادی برخوردار است (۲۰ و ۲۹)، چراکه قبل از هرگونه تحلیل و تهیه نقشه در آمار فضایی باید این پیش‌داوری صورت گیرد که داده‌ها چگونه در فضا توزیع شده‌اند و توزیع آن‌ها در فضا از چه الگو و قاعده‌ای پیروی می‌کند (۳۰). در پژوهش حاضر به‌منظور درک بهتر داده‌ها و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مورد سطح اعتماد آماری، از روش تحلیل الگو موران محلی استفاده شد. در دهه‌های اخیر سناریوهای مختلفی در خصوص تحلیل الگوهای داده فضایی در آمار فضایی بسط داده شده است. بدین منظور می‌توان به شاخص جهانی موران^۳ (*Global Moran I*) اشاره نمود که آماره عددی تحت عنوان نمره استاندارد یا *score - Z* را ارائه می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکنده بودن یا متمرکز بودن

- 1- Index of Patchiness (*IP*)
- 2- Morisita's Index (*IM*)
- 3- Moran

آکائیک (AIC) با استفاده از رابطه شماره (۱۵) محاسبه می‌شود (۳۹):

$$AIC_c = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + tr(S)}{n - 2 - tr(S)} \right\} \quad (15)$$

موضوع دیگری که در مدل (GWR) باید قبل از برآورد متغیر در نظر گرفته شود؛ نحوه توزیع متغیر اندازه‌گیری شده در فضا می‌باشد؛ که برای بررسی همبستگی باید از آماره موران استفاده کرد تا مشخص شود که آیا داده‌های به‌صورت خوشه‌ای در فضا پراکنده شده‌اند و یا از الگوی تصادفی پیروی می‌کنند. پس مشخص شدن نوع الگو (الگوی خوشه‌ای) آنگاه می‌توان مدل را اجرا کرد (۴۰). شرح روش موران در ابتدای همین بخش آمده است (رابطه ۹).

نتایج و بحث

جدول ۱ بعضی از مشخصات آماری بارش شمال شرق را طی فصول مختلف نشان می‌دهد. مطابق این جدول بیشترین میانگین بارش با ۱۰۸/۸۶ میلی‌متر در فصل زمستان رخ داده است. کمترین مقدار میانگین ۵/۵۳ میلی‌متری در تابستان اتفاق افتاده است. این در حالیست که بیشترین واریانس یا به عبارتی بیشترین تغییرات بارش در فصل بهار با ۲۲۴/۵۱ اتفاق افتاده است. توزیع ضریب چولگی فراوانی رویدادهای بارشی در همه فصول، دارای چولگی مثبت بیشتر از نرمال است. چولگی مثبت حاکی از این است که مساحت قسمت‌های با بارش کمتر از میانگین، بیشتر از مساحت قسمت‌های با بارش بالاتر از میانگین می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر مرکز توزیع، کوچک‌تر از میانگین است؛ یعنی سهم بارش‌های سنگین در فراوانی کل رویدادها کمتر است. در هر چهار فصل مورد مطالعه اختلاف میانه، میانگین و انحراف از میانگین بیانگر وجود ناهنجاری می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۱) نیز مشخص می‌باشد بیش‌ترین مقدار عددی شاخص g_2 (ضریب درجه اوج) مربوط به فصل تابستان با مقدار (۸)، کمترین مقدار عددی متعلق به فصل زمستان با مقدار (۵/۴۲) بوده است. ضریب درجه اوج نشان‌دهنده تفاوت مکانی بارش در شمال شرق کشور می‌باشد همان‌طور که در جدول (۱) نیز نشان داده شده است در فصل

در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی روابط فضایی بارش از مدل GWR استفاده شده است. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۱ (GWR) روش پذیرفته جهانی می‌باشد که برای تخمین ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از یک یا چند متغیر مستقل می‌باشند. مدل (GWR) بجای گسترش پارامترهای معمولی به شناسایی و برآورد یک مدل از طریق رابطه شماره (۱۴) می‌پردازد:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (14)$$

در روابط فوق y متغیر وابسته، x_i متغیر مستقل، β_0 و β_1 ضرایبی هستند که باید تخمین زده شوند، ε جزء خطا است، u_i, v_i طول و عرض جغرافیایی نقطه i ام می‌باشد و $\beta_k(u_i, v_i)$ پیاده‌سازی فاکتور مورد بررسی روی یک سطح پیوسته است (۳۶ و ۳۷). انواع مختلف آماره‌ها نیز وجود دارند که به کمک آن‌ها می‌توان برای بررسی خوبی مدل رگرسیون برآورد شده از آن‌ها استفاده نمود. تاکنون از سوی محققین آماره‌های گوناگونی ارائه شده است که از جمله می‌توان به آماره‌های (AIC, LSE, LMI ...) اشاره کرد. به‌طور کلی مشاهدات مجاور یکدیگر اثر بیشتر و از سوی دیگر تخمین بهنجارتری روی یکدیگر خواهند داشت (۳۷). به‌منظور تعیین وزن جغرافیایی یک عارضه در مدل (GWR) نیاز به تعیین محاسبه هسته و پهنای باند مدل خواهیم داشت. به‌طور کلی اگر مشاهدات اندازه‌گیری شده یک عارضه به‌طور منظم در فضا توزیع شده باشند پهنای باند ثابت می‌تواند انتخابی بهینه برای کالیبره کرده مدل باشد. ولی حال اگر مشاهدات اندازه‌گیری شده به‌صورت خوشه‌ای و منظم در فضا توزیع نشده باشند؛ باید از پهنای باند تطبیقی استفاده کرد. روش تعیین پهنای باند با سه روش کلی مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت که عبارت‌اند از: تابع تعیین شده توسط کاربر، به حداقل رساندن تابع اعتباری متقاطع و معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC).^۲ برازشی که به‌طور گسترده از سوی محققین مورد استفاده قرار می‌گیرد معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) می‌باشد (۳۸). معیار اطلاعاتی

1- Geographically Weighted Regression
2- Akaike Information Criterion

به خوبی ناهنجاری مکانی بارش را در شمال شرق کشور نشان داده است. همان گونه که در جدول (۲) نشان داده شده است شاخص ICS برای هر چهار فصل مثبت بوده که تبیین کننده الگوی خوشه‌ای بالای بارش در شمال شرق کشور می‌باشد؛ شاخص GI نیز تبیین کننده همین امر می‌باشد. شاخص ICF نیز اندازه خوشه را نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص فصل زمستان بزرگ‌ترین خوشه‌های بارشی در شمال شرق کشور ایجاد می‌شوند که نشان دهنده نظم نسبی بارش در شمال شرق کشور می‌باشد. بر اساس شاخص‌های IP و GI هر چه مقدار عددی شاخص‌ها به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده خوشه‌تر بودن داده‌های بارش می‌باشد.

تابستان مقدار عددی این شاخص به بالاترین حد خود (۸) رسیده است علت این امر تفاوت مکانی بالای مکانی بارش در شمال شرق می‌باشد که بیشینه بارشی با مقدار ۲۳/۴۰ در بجنورد و کمینه بارشی با ۰/۵۹ میلی‌متر در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه به نمایندگی ایستگاه بشرویه اتفاق افتاده است. ولی در زمستان اختلاف مکانی بارش تا حدودی کمتر خواهد شد بطوریکه که کمینه بارشی با ۵۹/۷۴ در ایستگاه بشرویه و بیشینه بارش با ۱۴۷/۷۴ میلی‌متر در استان خراسان رضوی و به نمایندگی ایستگاه تربت حیدریه بوده است. جدول شماره (۲) مشخصات آماره‌های فضایی بارش را طی فصول مختلف نشان می‌دهد. بر اساس شاخص ID فصول تابستان و بهار بالاترین مقادیر عددی را نشان داده‌اند. این شاخص

جدول ۱- مشخصات آماری بارش فصلی شمال شرق کشور

Table 1- Statistical characteristics of seasonal precipitation in the northeast of Iran

نوع آماره	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
واریانس	۲۲۴/۵۱	۲۵/۹۴	۷۶/۷۹	۱۵۲/۶۸
میانگین	۵۶/۹۲	۵/۵۳	۴۷/۰۵	۱۰۸/۸۶
میانه	۵۶/۳۹	۳/۲۸	۴۵/۶۳	۱۰۹/۱۴
انحراف معیار	۱۴/۹۸	۵/۰۹	۸/۷۶	۱۲/۳۹
انحراف از میانگین	۰/۵۷	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۴۷
کمینه	۱۸/۱۲	۰/۱۲	۲۰/۶۰	۵۹/۷۴
بیشینه	۸۷/۶۴	۲۳/۴۰	۷۰/۹۶	۱۴۷/۷۴
g1	۰/۲۶۶۰۰	۱/۵۷۴۹۲	۰/۱۶۴۸۶	۰/۳۵۱۰۹
g2	۷/۵۹۸۰۲	۸/۰۰۴۴۰	۶/۱۶۹۱۲	۵/۴۲۷۲۳

آستانه به اثر قطعه‌ای نشان دهنده وابستگی مکانی متغیرها می‌باشد. همان طور که در جدول نیز مشخص می‌باشد کمترین وابستگی مکانی در فصل تابستان و بیشترین آن در فصول سرد اتفاق افتاده است.

مقادیر به واسطه کمترین RMSE که مقادیر آن در جدول (۳) ارائه شده است، با آزمون مقادیر مختلف انتخاب گردیدند. شکل (۲) نمودار پراکنش نگار خطای یاخته‌ها را در قیل (شکل الف) و بعد از حذف روند (شکل ب) نمایش می‌دهد. نسبت

جدول ۲- مشخصات آماره‌های پراکنندگی بارش شمال شرق کشور

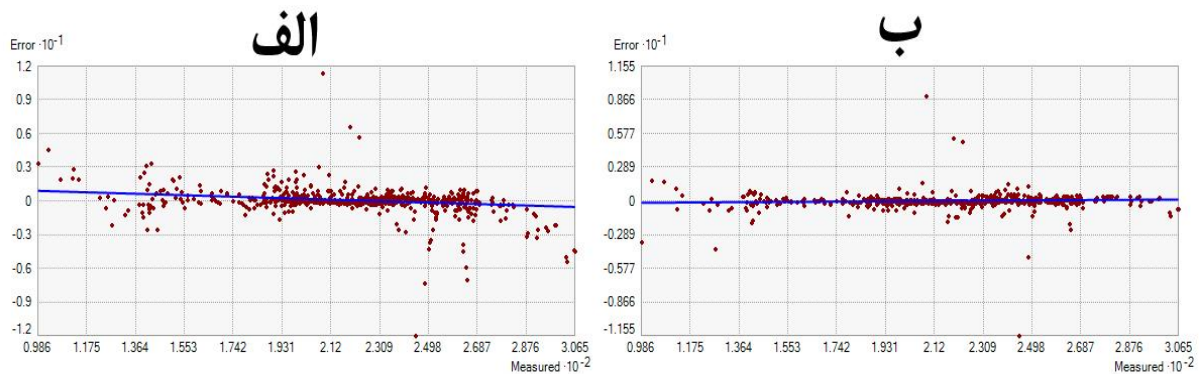
Table 2- Characteristics of Rainfall Dispersion Statistics in Northeast of Iran

شاخص‌های پراکنندگی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
ID	۳/۹۴	۴/۶۸	۱/۶۳	۱/۴۱
ICS	۲/۹۴	۳/۶۸	۰/۶۳	۰/۴۱
GI	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶
ICF	۱۹/۳۳	۱/۵۰	۷۴/۴۸	۲۶۴/۴۶
IMC	۵۹/۸۷	۹/۲۲	۴۷/۶۹	۱۰۹/۳۷
IP	۱/۰۵۱۷۱	۱/۶۶۶۴۲	۱/۰۱۳۴۳	۱/۰۰۳۷۸
MI	۱/۰۵۱۶۴	۱/۶۶۵۶۳	۱/۰۱۳۴۱	۱/۰۰۳۷۶

جدول ۳- مقادیر منتخب پارامترهای زمین‌آمار (کریجینگ عمومی) در شمال شرق کشور

Table 3- Selected values of the geo statistics parameters (generalized crushing) in the northeast of Iran

قبل از حذف روند	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
RMSE	۰/۶۵	۰/۳۶	۰/۵۳	۰/۴۳
دامنه	۷۱۱/۳۵	۷۱۱/۳۵	۷۱۱/۳۵	۲۶۵/۹۵
آستانه	۶۶۴/۲۹	۸۹/۵۳	۲۲۸/۶۹	۱۹۸/۰۷
اثر قطعهای	۰/۰	۰/۸۲	۲/۶۶	۰/۹۰
بعد از حذف روند	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
RMSE	۰/۱۵	۰/۰۴۰	۰/۱۴	۰/۲۷
دامنه	۱۳۰/۲۱	۹۹/۷۴	۱۲۰/۹۵	۱۲۲/۰۳
آستانه	۳۹/۹۵	۴/۶۳	۱۷/۴۰	۹۰/۱۰
اثر قطعهای	۰/۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰

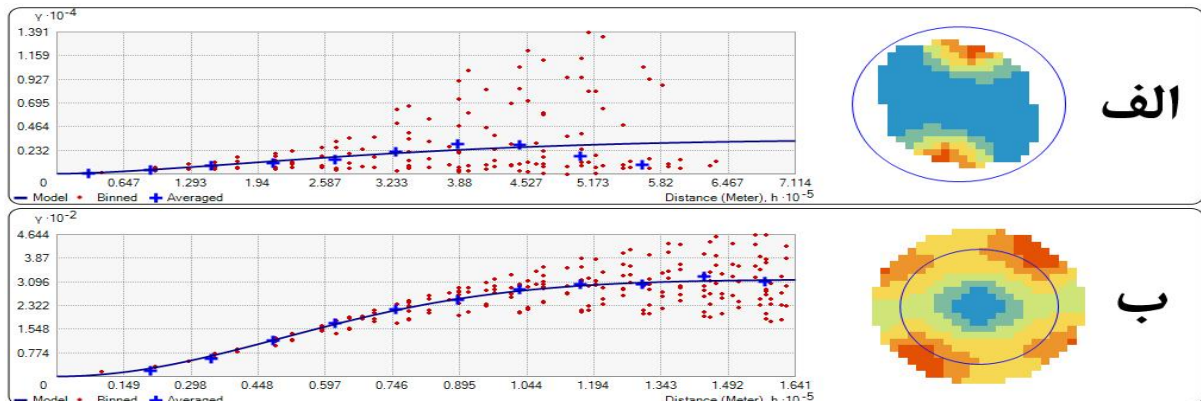


شکل ۲- نمودار پراکنش نگار خطای یاخته‌ها قبل از حذف روند (شکل الف) و بعد از حذف روند (شکل ب)

Figure. 2- Distribution diagram of the error of the cells before the removal of the trend (Fig. A) and after the removal of the trend (Fig. B)

زمین‌آمار اعمال گردید. سپس با استفاده از تابع چندجمله‌ای درجه دوم روند موجود در داده‌ها حذف گردیده و واریوگرام داده‌ها از ناهمسانگرد به همسانگرد تبدیل گشت نیم تغییرنمای داده‌های مورد مطالعه و واریوگرام داده‌های بارش در شکل (۳) ارائه شده است.

با برازش رویه به پراش نگارها همسانگردی و ناهمسانگردی داده‌ها بررسی شد. نتایج حاکی از آن بوده که رویه پراش نگار در یک جهت کشیدگی دارد و با توجه به کشیدگی یک‌جهت پراش نگار محیط ناهمسانگرد (از نظر هندسی) تلقی خواهد شد. چنین ناهمسانگردی از طریق برازش رویه به پراش نگارها بر داده‌های مورد مطالعه مشاهده گردید و در کلیه روش‌های



شکل ۳- رویه‌ی نیم تغییر نما و بیضوی ناهمسانگردی/همسانگردی قبل از حذف روند (شکل الف) و بعد از حذف روند (شکل ب)

Figure 3- The half-shift face and elliptic anisotropy / isotropy before the removal of the trend (Fig. A) and after the removal of the trend (Fig. B)

باشد آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده خواهند بود. خروجی گرافیکی، پراکنده و یا خوشه‌ای بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. در موران جهانی فرضیه صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار p -value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج محدوده اطمینان قرار گیرد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر شاخص موران بزرگ‌تر از صفر باشد، داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی را نشان می‌دهند. اگر مقدار شاخص کمتر از صفر باشد عوارض مورد مطالعه دارای الگوی پراکنده می‌باشند. همان‌طوری که در جدول (۴) مشاهده می‌شود مقدار شاخص موران جهانی برای هر ۴ فصل مورد مطالعه و مجموع سالانه بالای ۰/۹۳ می‌باشد. این نکته نشان می‌دهد که بر اساس شاخص موران جهانی، بارش در شمال شرق کشور دارای الگوی خوشه‌ای بالا در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد می‌باشد. باین‌وجود

اندازه شبکه برای انجام روش زمین‌آمار مهم و ضروری می‌باشد که تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر مقیاس، توانایی پردازش رایانه، دقت مکانی، تراکم نمونه‌ها، ساختار خودهمبستگی مکانی و پیچیدگی عوارض زمین است. در پژوهش حاضر اندازه و تعداد گام‌ها با توجه روش مورداستفاده (کریگینگ عمومی) ۱۲ گام به ازای هر یاخته با برازش‌های انجام شده در هر جهت و اندازه یاخته‌ای 15×15 کیلومترمربع بر منطقه مورد مطالعه گسترانیده شد که در مجموع ۶۸۸ یاخته حاصل گردید.

تحلیل الگوی تغییرات درون فصلی بارش شمال شرق کشور (دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ میلادی)

خروجی‌های تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، به‌صورت دو نوع عددی و گرافیکی در شکل (۴) و جدول (۴) ارائه شده است. به‌طورکلی اگر شاخص موران نزدیک به +۱ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱

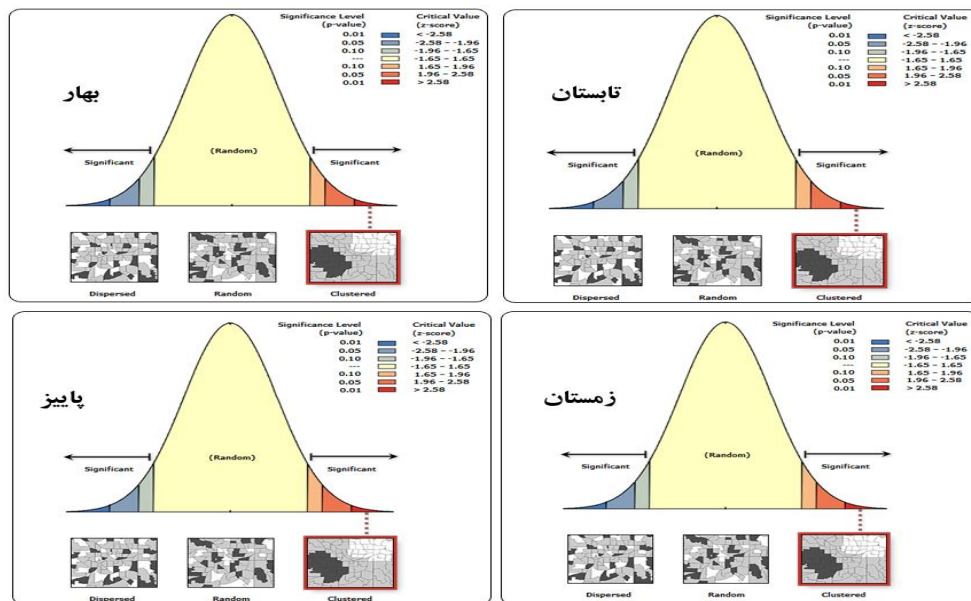
بودن مقدار ارزشی p -value می توان فرضیه عدم وجود خودهمبستگی فضایی بین داده ها در هر چهار دوره مورد مطالعه را رد نمود. اگر قرار بود بارش برای فصول مختلف در شمال شرق کشور به طور نرمال در فضا پخش شده باشد، شاخص موران جهانی مقدار ۰/۰۱۴۵۶- را اختیار می نمود.

بالاترین شاخص موران جهانی با مقدار ۱/۰۰۳۲۱۹ مربوط به فصل تابستان بوده است. آماره Z برای هر پنج دهه مورد مطالعه، بالا و بین ۳۳ تا ۳۶ می باشد؛ بنابراین در مجموع بر اساس موران جهانی می توان استنباط نمود که تغییرات درون سالی بارش در شمال شرق کشور از الگوی خوشه ای بسیار بالا تبعیت می کند؛ بنابراین با توجه به بالا بودن مقدار Z و پایین

جدول ۴ - خروجی آماره موران برای دوره های مورد مطالعه در شمال شرق کشور

Table 4- Moran statistics output for the studied periods in the northeast of Iran

روش اندازه گیری	مفهوم سازی رابطه فضایی	p-value	z-score	واریانس	شاخص موران مورد انتظار	شاخص موران	
اقلیدسی	مربع معکوس فاصله	۰	۳۴/۸۵۲۳۲۲	۰/۰۰۰۷۷۱	-۰/۰۰۱۴۵۶	۰/۹۶۶۵۴۶	بهار
اقلیدسی	مربع معکوس فاصله	۰	۳۶/۲۲۹۸۴۰	۰/۰۰۰۷۶۹	-۰/۰۰۱۴۵۶	۱/۰۰۳۲۱۹	تابستان
اقلیدسی	مربع معکوس فاصله	۰	۳۴/۶۰۶۶۶۱	۰/۰۰۰۷۷۱	-۰/۰۰۱۴۵۶	۰/۹۵۹۲۰۵	پاییز
اقلیدسی	مربع معکوس فاصله	۰	۳۳/۸۲۹۱۳۶	۰/۰۰۰۷۶۹	-۰/۰۰۱۴۵۶	۰/۹۳۶۳۶۸	زمستان



شکل ۴- نتایج حاصل از پراکنش الگوی موران جهانی برای بارش شمال شرق کشور

Figure 4- The results of the distribution of the Global Moran pattern for rainfall at northeast of Iran

مقدار به ترتیب برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۲/۸۴، ۱۹/۵۱، ۲/۹۰، ۳/۸۶ محاسبه شده است. این مقادیر از آنجایی که داده های ورودی به مدل به صورت خوشه ای در فضا

تحلیل اطلاعات مدل GWR که نشان دهنده اطلاعات عمومی مدل برآورد شده است بدین شرح می باشد. پهنای باند مدل برای تعیین مقدار وزن جغرافیایی عارضه های موجود در مدل

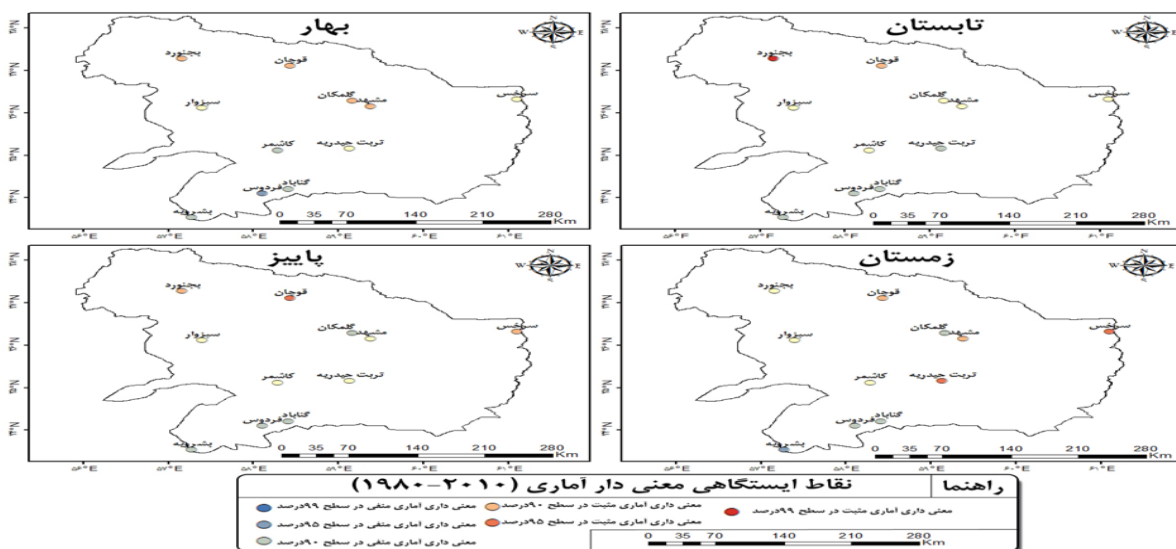
چهار فصل مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل مقادیری با معنی‌داری آماری منفی در سطوح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد ($\text{StdResid} > -2/5$) با رنگ آبی و مقادیر زیاد (معنی‌داری آماری مثبت در سطوح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد) ($\text{StdResid} > 3$) در مدل GWR با رنگ قرمز و مقادیری که با رنگ زرد نشان داده شده‌اند از نظر آماری معنی‌دار نبوده‌اند. بر اساس نتایج منتج از مدل بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش در شمال شرق کشور تنها در ایستگاه قوچان در هر چهار فصل مورد مطالعه از نظر آماری در سطوح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد مثبت معنی‌دار بوده است؛ یعنی با افزایش ارتفاع بر مقدار بارش افزوده و در حالت عکس نیز از مقدار بارش کاسته خواهد شد.

پخش شده بودند از مقدار ثابت برای کالیبره کردن مدل استفاده شده است. مقدار توان بیش‌ترین مقدار توان مؤثر مدل نیز برای فصل بهار بوده که عدد ۳/۸۰ را نشان داده است. سیگماهای محاسبه شده برای فصول چهارگانه به ترتیب ۱۹/۴۸، ۷/۰۶، ۱۱/۵۱، ۲۳/۶۰ به دست آمده؛ بیش‌ترین و کمترین معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) متعلق به فصول زمستان و تابستان با مقادیر عددی ۱۰۹/۸۲ و ۸۱/۵۰ بوده است؛ مقدار R^2 محاسبه شده در جدول (۵) ارائه شده است که بر این اساس بارش با ارتفاع در شمال شرق کشور در فصل پاییز بیش‌ترین ضریب معناداری را با ۰/۵۵ دارا می‌باشد. شکل شماره (۵) مقادیر باقیمانده مدل را در شمال شرق کشور برای

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده مدل GWR برای بارش شمال شرق کشور

Table 5- Calculated values of the GWR model for rainfall of northeastern Iran

پارامترهای محاسبه شده GWR	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
پهنای باند	۲/۸۴	۱۹/۵۱	۲/۹۰	۳/۸۶
توان مؤثر	۳/۸۰	۲/۰۴	۳/۷۳	۳/۰۲
سیگما	۱۹/۴۸	۷/۰۶	۱۱/۵۱	۲۳/۶۰
معیار اطلاعاتی آکائیک	۱۰۷/۲۴	۸۱/۵۰	۹۵/۴۷	۱۰۹/۵۲
R^2	۰/۵۴	۰/۰۳۶	۰/۵۵	۰/۳۵
R^2 تعدیل شده	۰/۳۷	۰/۰۷۶	۰/۳۹	۰/۱۹

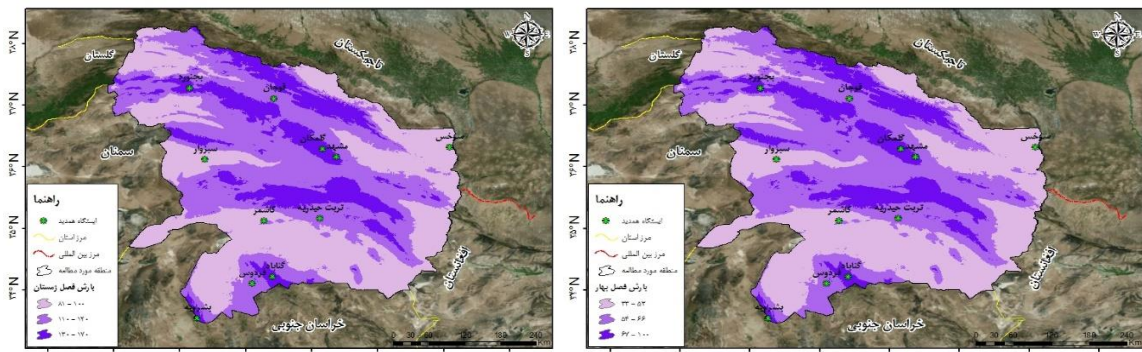


شکل ۵- نتایج حاصل از مدل‌های GWR برای فصول مختلف در شمال شرق کشور

Figure 5- Results of GWR models for different seasons in the northeast of Iran

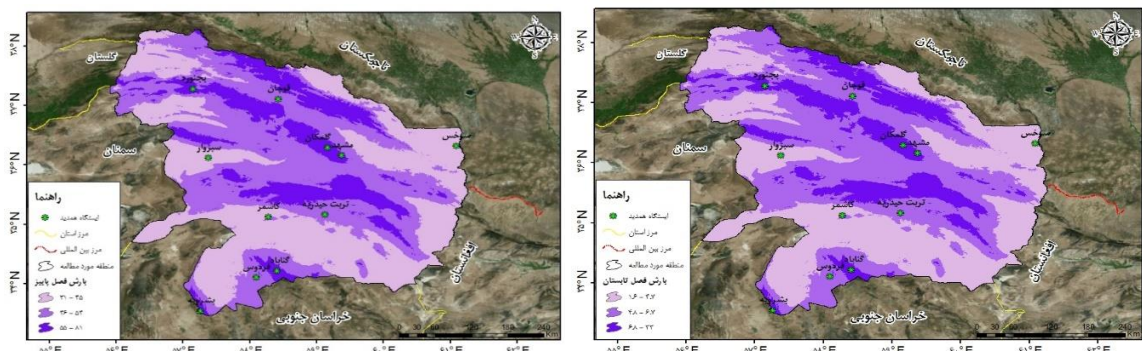
گرادیان‌های نوشته‌شده و ضریب تعیین های محاسبه‌شده که شرح آن در جدول (۵) ارائه شده است؛ ترسیم شده است. بر اساس نتایج حاصله (شکل ۶) بارش در مناطق مرکزی و شمالی منطقه مورد مطالعه بیشترین معنی‌داری آماری را داشته است. مناطقی با بارش کمتر از ۵۰ میلی‌متری که غالباً نواحی دشتی منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده است به صورتی کمربندی نواحی پایکوهی را که بارش ۵۴ تا ۶۶ میلی‌متری داشته‌اند احاطه کرده‌اند. در سایر فصول نیز بارش از همین قاعده در شمال شرق کشور پیروی کرده است که نتایج آن در شکل ۷، ارائه شده است.

ایستگاه جنوبی منطقه مورد مطالعه از قبیل گناباد، فردوس و بشرویه در هر چهار فصل مورد مطالعه معنی‌داری آماری منفی در سطوح ۹۵ و ۹۰ درصد را تجربه کرده‌اند؛ این امر نشان می‌دهد که بارش در مناطق کویری کشور از الگوی ارتفاع تبعیت چندانی ندارد. در سایر مناطق منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف سطوح اطمینان دارای افت آهنگ متفاوتی بوده‌اند که نشان‌دهنده تغییرپذیری بالای فراسنج اقلیمی بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل شماره ۶ مقادیر برآورد شده بارش را با استفاده از مدل GWR که با روش کریجینگ معمولی و با متغیر کمکی ارتفاع را برای فصل بهار و زمستان پهنه‌بندی شده است، نمایش می‌دهد این نقشه بر اساس معادله



شکل ۶- بارش برآورد شده برحسب میلی متر برای فصل بهار و زمستان با استفاده از مدل GWR در شمال شرق کشور

Figure 6- Estimated precipitation in millimeters for spring and winter using GWR model in northeastern Iran



شکل ۷- بارش برآورد شده برحسب میلی متر برای فصل تابستان و پاییز با استفاده از مدل GWR در شمال شرق کشور

Figure 8- Estimated precipitation in millimeters for summer and autumn using the GWR model in the northeastern of Iran

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از روش موران جهانی نشان داد که تغییرات درون سالی بارش در شمال شرق کشور از الگوی خوشه‌ای بالا پیروی می‌کند. نتایج حاصل از مدل GWR نشان داده که ایستگاه قوچان در هر چهار فصل مورد مطالعه از نظر آماری در سطوح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد مثبت معنی‌دار بوده است. در بین ایستگاه‌های منتخب پژوهش حاضر ایستگاه جنوبی منطقه مورد مطالعه از قبیل گناباد، فردوس و بشرویه در هر چهار فصل مورد مطالعه معنی‌داری آماری منفی در سطوح ۹۵ و ۹۰ درصد را تجربه کرده‌اند؛ که نشان‌دهنده تأثیرپذیری عکس متغیر وابسته بارش از متغیر مستقل بارش در محدوده مورد مطالعه بوده است. مناطق مرکزی محدوده مورد مطالعه در فصول مختلف سال سطوح اطمینان دارای افت آهنگ زیادی در سطوح آماری مثبت و منفی و حتی عدم معنی‌داری آمار بوده است که نشان‌دهنده تغییرپذیری بالای فراسنج اقلیمی بارش در شمال شرق کشور می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی شده سه منطقه مختلف بارشی را برای شمال شرق نشان داده است که مناطق کم بارش در هر چهار فصل به صورت سایه بارش در مناطق کم ارتفاع شمال شرق واقع شده‌اند؛ مناطقی با بارش متوسط که نماینده الگوی کوه‌بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که با نتایج مسعودیان همخوانی دارد. در مناطق کوهپایه‌ای با نمایندگی ایستگاه‌های قوچان، کاشمر، تربت‌حیدریه و فردوس بوده است. منطقه سوم که مناطق پر بارش را در شمال شرق ایران تشکیل می‌دهند همبستگی قوی با متغیر کمکی ارتفاع نشان داده‌اند که ایستگاه معرف مشهد، گل‌مکان، بجنورد را شامل شده است صفراد و همکاران در زاگرس نیز به نتیجه مشابهی دست یافته‌اند. نتایج برآمده از این مطالعه با توجه ماهیت تغییرات مکانی-زمانی بارش؛ دیدگاه‌ها و چشم‌اندازهای مناسبی را برای مدیران و برنامه ریزان شهری و منطقه‌ای در راستای مدیریت صحیح آبخیزها و مدیریت جامع شهری و همچنین مدیریت کارآمد کاربری اراضی در منطقه شمال شرق کشور فراهم آورد.

Reference

1. Chappell, A., Renzullo, L. J., Raupach, T. H., & Haylock, M. (2013). Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate near real-time daily rainfall for Australia. *Journal of Hydrology*, 493, 105-114.
2. Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data: Wiley Series in Probability and Statistics*.
3. Haining, R. P. (2003). *Spatial data analysis* (pp. 67-72). Cambridge: Cambridge University Press.
4. Fortin, M. J., & Dale, M. R. T. (2005). *Spatial analysis: a guide for ecologists*. Cambridge University Press.
5. Cressie, N., & Wike, C. K. (2011). *Statistics for spatio-temporal data*. John Wiley & Sons.
6. Brunsell, N. A. (2010). A multiscale information theory approach to assess spatial-temporal variability of daily precipitation. *Journal of hydrology*, 385(1), 165-172.
7. IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
8. Oki, T., Musiaka, K., & Koike, T. (1991). Spatial rainfall distribution at a storm event in mountainous regions, estimated by orography and wind direction. *Water resources research*, 27(3), 359-369
9. Barry, R. G. (1992). Mountain climatology and past and potential future climatic changes in mountain regions: a review. *Mountain Research and Development*, 71-86.

18. Williams, R., Nicks, A., and Arnold, G., (1985). Simulator for water resources in rural basins. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 111 (6), 970-986.
19. Upton, G., & Fingleton, B. (1985). *Spatial data analysis by example. Volume 1: Point pattern and quantitative data.* John Wiley & Sons Ltd.
20. Diggle, P.J., (2003). *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*, second ed. Academic Press, London. GCOS, 2007. GCOS Upper-Air Network (GUAN): Justification, Requirements, Siting and Instrument Options. GCOS-112, WMOTD 1379.
21. Robeson, S. M., Li, A., & Huang, C. (2014). Point-pattern analysis on the sphere. *Spatial Statistics*, 76-58
22. Jia, S., Zhu, W., Lü, A., & Yan, T. (2011). A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. *Remote sensing of Environment*, 115(12), 3069-3079.
23. Allard, D., & Soubeyrand, S. (2012). Skew-normality for climatic data and dispersal models for plant epidemiology: when application fields drive spatial statistics. *Spatial Statistics*, 1, 50-64.
24. David, F. N., & Moore, P. G. (1954). Notes on contagious distributions in plant populations. *Annals of Botany*, 18(1), 47-53
25. Green, R. H. (1966). Measurement of non-randomness in spatial distributions. *Researches on Population Ecology*, 8(1), 1-7.
26. Douglas, J. B. (1975). Clustering and aggregation. *Sankhyā: The Indian*
10. Hofinger, S., Mayr, G. J., Dreiseitl, E., & Kuhn, M. (2000). Fine-scale observations of summertime precipitation in an intra-Alpine region. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 72(2-4), 175-184.
11. Sturman, A., & Wanner, H. (2001). A comparative review of the weather and climate of the Southern Alps of New Zealand and the European Alps. *Mountain Research and Development*, 21(4), 359-369.
12. Sotillo, M. G., Ramis, C., Romero, R., Alonso Oroza, S., & Homar, V. (2003). Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone. *Climate Research*, 23, 247-261.
13. Creutin, J. D., & Obled, C. (1982). Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water resources research*, 18(2), 413-431.
14. Duhan, D. & Pandey, A. (2013). Statistical analysis of long spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, 122, 136-149.
15. Lebel, T., Bastin, G., Obled, C., & Creutin, J. D. (1987). On the accuracy of areal rainfall estimation: a case study. *Water Resources Research*, 23(11), 2123-2134.
16. Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of hydrology*, 228(1), 113-129.
17. Ripley, B. D. (1977). *Modelling spatial patterns.* Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 172-212.

- variations in school performance: a local analysis using geographically weighted regression". *Geographical and Environmental Modelling*, 5(1), 43-66.
37. Mennis, J. (2006). "Mapping the results of geographically weighted regression", *The Cartographic Journal*, 43(2), 171-179.
 38. Charlton, M., Fotheringham, S., & Brunsdon, C. (2009). "Geographically weighted regression". White paper. National Centre for Geocomputation. National University of Ireland Maynooth.
 39. Hurvich, C. M., Simonoff, J. S., & Tsai, C. L. (1998). "Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion". *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 60(2), 271-293.
 40. Scott, L. M., & Janikas, M. V. (2010). "Spatial statistics in ArcGIS. In *Handbook of applied spatial analysis*", (pp. 27-41). Springer Berlin Heidelberg.
 - Journal of Statistics, Series B, 398-417.
 27. Lloyd, M. (1967). Mean crowding. *The Journal of Animal Ecology*, 1-30.
 28. Morisita, M. (1959). Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E*, 2(21), 5-235.
 29. Waagepetersen and, R., and Schweder, T. (2006). Likelihood-based inference for clustered line transect data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11:264-279.
 30. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. (2008). *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. John Wiley and Sons, Chichester.
 31. Getis A, Ord JK (1992), the analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geogr Anal* 24(3):189-206.
 32. Levine N (1996) spatial statistics and GIS: software tools to quantify spatial patterns. *JAmPlannAssoc* 62(3):381-391.
 33. Mitchell A (2005) *The ESRI guide to GIS analysis, volume 2: spatial measurements and statistics*. ESRI, Redlands [CA].
 34. Wheeler D (2007) A comparison of spatial clustering and cluster detection techniques for childhood leukemia incidence in Ohio, 1996-2003. *Int J Health Geographics* 6(1):13.
 35. Griffith, D., (1987), *spatial Autocorrelation: A Primer*. Resource Publication in Geography, Association of American geographers.
 36. Fotheringham, A. S., Charlton, M. E., & Brunsdon, C. (2001). "Spatial