دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۶
زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۷۴-۵۵

DOI:10.52547/GeoSpa.21.4.55

رقیه جعفری[۱]
*کریم امینی نیا[۲]
علی پناهی[۳]

روند تغییرات و توزیع فضایی روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۳۱ تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲٤

چکیده

در سال‌های اخیر، پدیده‌های حدی دما (امواج سرمایی و گرمایی) از مباحث داغ می‌باشند و جامعه علمی را بر آن داشته که تحقیقات گسترده‌ای جهت بررسی و کشف روند، فراوانی، شدت و گستره وقوع این پدیده‌ها انجام دهند. در این تحقیق نیز، هدف شناسایی روند و تحلیل فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین در شمال‌غرب ایران است. بدین منظور از داده‌های حداقل دمای روزانه ۲۱ ایستگاه همدید کشور در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸٦ برای ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر استفاده شد. با استفاده از ضریب شاخص استاندارد روزهای سرد با شدت پایین‌تر از ۱/۲- به‌عنوان روزهای سرد فرین برای هر ایستگاه به‌صورت ماهانه استخراج شده و برای شناسایی رفتار روزهای سرد فرین از آزمون من کندال و تحلیل فضایی با استفاده از شاخص انسلین موران محلی I و آماره لکه داغ G_i^* استفاده گردید. نتایج نشان داد که وجود روند کاهشی روزهای سرد فرین در اکثر ماه‌ها فاقد معنی‌داری آماری می‌باشند و تنها در ماه مارس روند کاهشی معنی‌داری در حدود ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها رخ داده است. تحلیل فضایی روند ماه مارس نشان داد که روند کاهشی معنی‌دار در شمال‌غرب و جنوب‌شرق منطقه تشکیل خوشه و لکه سرد داده است. همچنین نتایج حاصل از شاخص‌های تحلیل فضایی در شمال غرب کشور بیانگر این است که فراوانی و حداکثر تعداد رخداد روزهای سرد فرین در منطقه در ماه‌های مورد مطالعه، تشکیل الگوی خوشه‌ای بالا (خودهمبستگی مثبت) و پایین (خودهمبستگی منفی) داده‌اند و بیش از ۵۰ درصد از وسعت پهنه مورد

۱- دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.
*۲- گروه جغرافیا، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: araz183@yahoo.com
۳-گروه جغرافیا، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

مطالعه نیز فاقد الگوی فضایی هستند. الگوهای خوشه‌ای تشکیل شده در ماه‌های مختلف سال، در مکان‌های متفاوتی شکل گرفته و آرایش فضایی الگوهای خودهمبستگی و لکه‌های داغ در ماه‌های مورد مطالعه، مشابه نیستند. همچنین نتایج حاصل بر اساس شاخص G_i^* محل تشکیل خوشه‌ها را در شاخص موارن محلی I تایید می‌کند.

کلید واژه‌ها: روزهای سرد فرین، توزیع فضایی، روند، فراوانی، شمال‌غرب کشور.

مقدمه

طی چند دهه گذشته قطب شمال تقریبا دو برابر سریع‌تر از کل نیمکره شمالی گرم شده است (Screen and Serreze et al., 2009: 11؛ Simmonds, 2010: 1334). گرم شدن گسترده ناشی از ترکیبی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و بازخورد مثبت ناشی از یخ دریا، برف، بخار آب و ابرها است (Stroeve et al., 2012: 1005). کاهش مساحت یخ‌های دریایی در تابستان از دهه ۱۹۸۰ در ایالات متحده آمریکا آغاز شده است. با شروع یخ‌زدگی در پاییز، انرژی خورشیدی جذب شده اضافی در تابستان در این قسمت‌های وسیع از آب به‌صورت گرما به جو آزاد و منتقل می‌شود؛ بنابراین این سوال پیش خواهد آمد که آیا گردش بزرگ مقیاس جوی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد، اما چگونه؟ در حالی که مدل‌های آب‌وهوایی جهان نشان می‌دهد که فرکانس و شدت انواع بسیاری از رخدادهای حدی آب و هوایی با ادامه افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو افزایش خواهد یافت. رفتار رخدادهای حدی به دلیل تغییرات آب و هوایی در حال تغییر است. برای مثال سیل خشکسالی و امواج گرمایی با افزایش فرکانس، شدت و مدت در حال وقوع هستند. از طرف دیگر، تعداد شب‌های سرد رو به کاهش است (IPCC., 2012). احتمال وقوع امواج سرمایی در تمام طول سال وجود دارد و در هر فصلی مشکلات و آسیب‌های خاص خود را ایجاد می‌کند. این امواج در فصل زمستان به دلیل کم بودن زاویهٔ تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیش‌تری عمل می‌کنند و نه تنها حیات تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌نمایند؛ بلکه نقش مهم و تعیین‌کننده های در مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و عمرانی مانند جاده‌سازی، سدسازی و پل‌سازی دارند (Hozhabrpour and Alijani., 2007: 90). برخی از مطالعات نشان می‌دهد که رخدادهای فرین سرد اخیر در نیمکره شمالی مربوط به کاهش یخ‌های دریای قطب شمال و تغییرات در جو قطبی است (Kim et al., 2014; Honda et al., 2009; Francis and Vavrus., 2012; Orsolini et al., 2016). مطالعاتی نیز نشان می‌دهند که علی‌رغم زمستان‌های سرد اخیر، تعداد روزهای سرد کم‌تر شده است. Cohen et al (2014); Fischer and Knutti (2014); Rahimzadeh et al (2008) روند تغییرات حدی دما را در ایران مطالعه و نشان دادند که نمایه‌های فرین سرد در بیش‌تر نقاط ایران روند منفی دارد. Acar et al (2008) روند تغییرات حدی دما را در ۱۵۶ ایستگاه ترکیه با استفاده از تحلیل من کندال و تحلیل خوشه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد که روزهای گرم و بسیار گرم روند افزایشی و روزهای سرد و بسیار سرد رود کاهشی دارند. روزهای سرد شدید به‌ترتیب بالاترین میزان را در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۳، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ داشتند. پس از سال ۲۰۰۵

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

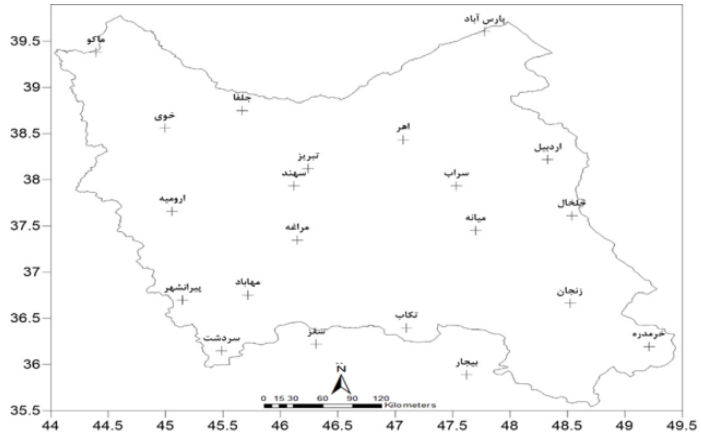
نیز روند کاهشی روزهای سرد شدید مشاهده شد. فراوانی روز گرم شدید از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. به‌خصوص در سال ۲۰۱۰، گرم‌ترین سال در ترکیه از سوابق ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه است. Kim and Lee (2019) روند روزهای سرد شدید را با استفاده از تحلیل رگرسیون برای سال‌های ۱۹۷٦ تا ۲۰۱۵ در ۲۲ ایستگاه کره جنوبی مطالعه کردند. نتایج نشان می‌دهد که در طی ٤۰ سال گذشته حداقل دمای روزانه زمستان در ده سال آخر افزایش یافته و ۹ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه روند کاهشی رخدادهای سرد شدید را داشتند و از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ اوج رخدادهای سرد شدید می‌باشد. در ایران محققین بسیاری بر روی امواج سرمایی مطالعه نموده‌اند که بیش‌تر این مطالعات از نوع همدید می‌باشد: Massodiyan and Darand (2011) در بررسی واکاوی ناهنجاری‌های فشار تراز دریا در روزهای همراه با رخداد سرماهای فرین ایران نشان دادند که سردترین و فراگیرترین سرماهای ایران با چهار الگوی ناهنجاری فشار تراز دریا همراه است. Azizi et al (2016) الگوهای همدید موثر در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمایی ایران و اروپا را با استفاده از دمای حداقل (۲۰۱۰-۱۹۵۱) در دوره‌های سرد بررسی نمودند. نتایج نقش مهم شکل‌گیری سامانه‌های بندالی و پشته قوی روی اروپا و اطلس را در وقوع دمای حداقل فرین در ایستگاه‌های ایران نشان داد. Dostkamian et al (2018) امواج سرمایشی و فراگیر شمال‌غرب کشور را بر اساس داده‌های دمای ٤٤ ایستگاه در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ و بر اساس تحلیل خوشه‌ای بررسی کردند نتایج چهار الگوی فراگیر سرمای فرین با تداوم ۳ روزه را نشان داد. Yarmoradi et al (2018) امواج سرمای غرب کشور را با استفاده از دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های همدان، خرم‌آباد، سنندج و کرمانشاه طی دوره‌ی آماری ۱۹٦۱ تا ۲۰۱۰ و با استفاده از شاخص‌های آماری میانگین و انحراف معیار بلندمدت، آستانه عددی امواج سرمایی به‌دست آورده و بر اساس تحلیل خوشه‌ای الگوبندی کردند؛ نتایج یک الگوی گردشی جوی را عامل اصلی امواج سرمای منطقه نشان داد. مطالعات آماری نیز بر روی امواج سرمایی انجام شده که از آن جمله: Ahmadi and Gavidel (2011) دماهای فرین منطقه شمال‌غرب ایران را با استفاده از روش NTD مطالعه و با در نظر گرفتن فراسنج های شدت وقوع و وسعت، ۸۰ روز دمای فرین فراگیر را شناسایی کردند. Massodiyan and Darand (2011) روند روزهای فرین سرد ایران را طی سال‌های ۱۳٤۰ تا ۱۳۸۲ با استفاده از نمایه NTD بررسی و نتایج نشان داد که گستره روند منفی بیش از روند مثبت است. روند مثبت تعداد روزهای فرین سرد از ناهمواری‌های شهرکرد، سنندج، زنجان تا اردبیل و به صورت نوار باریکی بر روی کوه‌های البرز قرار گرفته، در حالی که روند منفی رخداد تعداد روزهای فرین سرد در نیمه مرکزی و جنوب ایران دیده می‌شود. همچنین Yazdanpanah et al (2013) شرایط سینوپتیکی امواج سرمایی سنندج را در فاصله زمانی (۲۰۰۹-۱۹٦۱) بررسی و نتایج یک روند کاهشی در دو دهه‌ی اخیر در فراوانی روزهای سرد نشان داد. Alijani and Frajzadeh (2015) روند شاخص‌های فرین در شمال‌غرب ایران را طی سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۰۸ با استفاده از روش من کندال و تحلیل موجک‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند شاخص‌های فرین در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی شاخص‌های سرد فرین و افزایش فراوانی شاخص‌های گرم فرین است و شاخص‌های سرد فرین دارای نوسان‌های دوره‌ای معنی‌دار کاملا آشکار طی چرخه‌های ۲ تا ٤ ساله

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

هستند. تحقیقات انجام شده نشان از اهمیت بررسی فرین‌های آب‌وهوایی دارد. با توجه به بحران تغییرات اقلیمی جهانی و تاثیر بسزای آن بر روند فرین‌های دمای، به نظر می‌رسد مطالعه این تغییرات به‌صورت محلی و منطقه‌ای جهت جلوگیری از خسارات احتمالی و اثرات اقتصادی–اجتماعی آن‌که می‌تواند بر تمامی ابعاد زندگی انسان تاثیر بگذارد، ضروری باشد. بدین‌جهت در این تحقیق تلاش شده رفتار روزهای سرد فرین شمال‌غرب کشور مورد بررسی قرار گیرد تا کمکی در جهت برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای در ابعاد مختلف باشد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی روند تغییرات وقوع روزهای سرد فرین در منطقه شمال‌غرب ایران و جهت دستیابی به اهداف تحقیق، داده‌های حداقل دمای روزانه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک کشور برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارچ، آپریل، نوامبر و دسامبر برای یک دوره ۳۲ ساله (۲۰۱۷– ۱۹۸٦) از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. توزیع فضایی این ایستگاه‌ها در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: توزیع فضایی ایستگاه‌های انتخابی

Figure 1: Spatial distribution of selected stations

شاخص نمره استاندارد (Z): در این تحقیق برای شناسایی و مطالعه روزهای فرین سرمایی از شاخص نمره استاندارد (Z) استفاده شده است که معادله آن به شرح ذیل می‌باشد:

$$T_{min} = (T_{min_i} - \underline{T}_{min})/SD \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله: T_{min} دمای استاندارد شده در هر روز از ماه سال، T_{min_i} حداقل دمای روزانه در هر ماه، $\underline{T}_{min}$میانگین دمای روزانه هر روز در طی ۳۰ سال و انحراف معیار هر روز طی ۳۰ سال مورد بررسی می باشند. بر این اساس داده‌های روزانه ایستگاه‌ها استاندارد می‌شود. پس از اعمال این روش بر روی تمام داده‌ها، یک‌بار آستانه ۱/۲– نمره استاندارد را که Alijani and Hoshyar (2002) نیز برای امواج سرمایی به‌کار بردند، به‌عنوان مبنای فرین‌های سرد در نظر گرفته شد که شامل روزهای سرد تا روزهای ابر سرد می‌شود. با این وصف برای هر ایستگاه در ماه‌های ژانویه،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

فوریه، مارچ، آپریل، نوامبر و دسامبر روزهای سرد فرین استخراج شد. در ادامه جهت مطالعه رفتار روزهای سرد فرین، از آزمون من کندال استفاده شده است. آزمون من کندال یک آزمون ناپارامتریک است که روند تغییرات موجود در سری زمانی را در سطح ۹۵ درصد اطمینان نشان می‌دهد. داده‌های روزهای سرد فرین نیز داده ناپارامتریک هستند بنابراین آزمون کندال به بهترین شکل می‌تواند روند موجود در سری زمانی روزهای سرد فرین را نشان دهد. بدین‌صورت که ابتدا روزهای سرد فرین استخراج شده به‌صورت نمره استاندارد z به‌صورت سری زمانی ماهانه توسط آزمون کندال و تحلیل فضایی مطالعه شده. سپس جمع ماهانه روزهای سرد (فراوانی) و همچنین حداکثر تعداد وقوع روزهای سرد فرین برای هر ماه در طی دوره مورد مطالعه (بیش‌ترین تعداد رخداد روزهای سرد فرین در هر ماه) به استخراج و بر روی آن شاخص موران محلی و شاخص لکه داغ G_i^* اعمال و مورد مطالعه قرار گرفته است.

آزمون روند من-کندال: مان[4] در سال ۱۹۴۵ آزمون من-کندال را ابداع و بعدها کندال[5] در سال ۱۹۷۵ آن را توسعه داد تغییرات اقلیمی ناگهانی را با استفاده از آماره رتبه‌ای من-کندال می‌توان شناسایی کرد (Sneyers, 1975). آماره تاو کندال از به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

رابطه (۲)

$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)}$$

τ آماره کندال، n تعداد کل سال‌های آماری و P از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۳)

$$P = \sum_{i=1}^{n} n_i$$

n_i تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از هر داده (x_i) است که بعد از آن قرار می‌گیرد. آزمون معنی‌داری آماره τ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (٤)

$$(\tau)_t = \pm tg\sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}}$$

مقدار τ روند موجود در داده‌ها را نشان می‌دهد. وقتی روندی وجود نداشته باشد این مقدار در سطح ۹۵ درصد اطمینان بین محدوده ± 1.96 قرار می‌گیرد (Mirza et al.,1998) در ادامه برای این که توزیع فضایی نیز مورد بررسی قرار گیرد باید ابتدا داده‌های نقطه‌ای (ایستگاهی) به داده‌های شبکه‌ای منظم باید تبدیل شوند. برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های شبکه‌ای از درون‌یابی فضایی استفاده شد. درون‌یابی کریجینگ، به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط بدون داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم، درون‌یابی می‌گویند. این فرآیند به دلیل محدودیت داده‌های

4- Mann
5- Kendall

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌های هم ارزش (هم باران، همدما و ...) انجام می‌گیرد. روش‌های بسیاری برای میانیابی نقاط نامعلوم در آمار فضایی متداول است که یکی از این روش‌ها، روش کریجینگ است. در روش کریجینگ رفتار منطقه‌ای یا محلی متغیر و همچنین خطای تصادفی متغیر باعث تکوین انواع روش‌های کریجینگ مانند کریجینگ ساده[۶]، کریجینگ معمولی[۷]، کریجینگ روند دار[۸]، کریجینگ قطعه‌ای[۹] و کوکریجینگ[۱۰] شده است. برای محاسبه روش کریجینگ از تابع وریوگرام استفاده می‌شود. وریوگرام تابعی است که بر اساس آن، شباهت نقاط را در فواصل مختلف یا تغییرات مکانی متغیر را می‌توان محاسبه نمود. روش کریجینگ برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند، به کار می‌رود و روشی محلی- احتمالی، رسا، خطی، نااریب و با واریانس کمینه در یک نقطه به‌شمار می‌آید (Asakereh, 2009). نیمه وریوگرام تجربی از روش زیر حاصل می‌شود:

رابطه (۵)
$$z\,(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

در فرمول بالا $y\,(h)$ مقدار وریوگرام برای جفت نقاطی که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند، بنابراین یا هر بار که h تغییر می‌کند یک مرتبه از نیمه وریوگرام تجربی به‌دست می‌آید. $z\,(x_i)$ و $z\,(x_i + h)$ ارزش عددی **z** یعنی مقدار مشاهده شده متغیر در نقاط x_i و $x_i + h$ است که با تاخیر h مشخص می‌شود. $n\,(h)$ نیز تعداد زوج نقاط (x_i) می‌باشد که به h فاصله از هم قرار دارند. در این رویه ارزش مقداری (z) در یک نقطه مثل z_0 به شکل $z_0 = \sum_{i=1}^{n} w_x z_x$ است. وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معالات همزمان و با حداقل کردن واریانس $var\,\{\sum w_i z(x_i, y_i) - z(x_0, y_0)\}$ به‌دست می‌آید. شکل کلی معادلات را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

رابطه (۶)
$$\sum_{i=1}^{n} w_i y(h_{i,j}) + \lambda = y\,(h_i, 0), j = 1, \dots, n$$

شاخص انسلین محلی موران: یکی از اهداف پژوهشگران در علوم مختلف کشف روابط و الگوهای فضایی حاکم بر پدیده‌ها یا رخدادها می‌باشد. تشخیص توزیع روند و الگوی فضایی خاص بر رویدادها بسیار بااهمیت است. تکنیک های تحلیل آمار فضایی، ابزارهای بسیار سودمند و قدرتمندی در جهت کشف توزیع الگوی فضایی پدیده‌ها و رخدادها هستند. به‌منظور تشخیص دقیق محل خوشه‌ها یا توزیع فضایی الگوهای خوشه‌ای، موران محلی به‌کار می‌رود. شاخص موران محلی I_i در سال ۱۹۹۵ توسط انسلین[۱۱] پیشنهاد شده است. شاخص موران محلی از فرمول زیر به‌دست می‌آید (Sotodeh and Alijani, 2015):

6- Simple Kriging
7- Ordinary Kriging
8- Universal Kriging
9- Block Kriging
10- Cokriging
11- Anselin

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

رابطه (۷)
$$I = \frac{(x_i - \bar{x})}{s_i^2} \sum_{j=1\, j\neq i}^{n} w_{i,j}\,(x_i - \bar{X})$$

در فرمول بالا x_i متغیر مورد بررسی برای رخداد i و $\bar{X}$ میانگین متغیر مورد مطالعه و $w_{i,j}$ وزن فضایی بین هر سلول i و سلول همسایه‌اش j است. همچنین $s_i = \frac{\sum_{j=1\, j\neq i}^{n} w_{i,j}}{n-1} - \bar{X}^2$ که واریانس کل منطقه است.

رابطه (۸)
$$z_{Ii} = \frac{I - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}}$$

رابطه (۹)
$$E[I] = -\frac{\sum_{j=1\, j\neq i}^{n} w_{i,j}}{n-1} \quad V[I] = E[I_1^2] - E[I_1^2]$$

رابطه (۱۰)
$$I = \frac{z_i \sum_j w_{ij} z_j}{\sum_{i=1}^{n} z_i^2}$$

آماره گتیس-ارد جی یا لکه داغ G_i^*: در تحلیل داده‌های مکانی، اغلب لازم است که مشخص شود آیا الگوهای مکانی قابل شناسایی هستند یا نه؛ که برای این منظور آماره‌ی G و G* در سال ۱۹۹۲ به‌عنوان شاخص‌های اندازه‌گیری میزان ارتباط فضایی توسط گیتس و اُرد پیشنهاد شد که اهمیت بررسی همبستگی و خودهمبستگی مکانی در سری‌های زمانی آشکار شود. آماره گتیس- ارد جی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Geties and Ord,1992).

رابطه (۱۱)
$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^{n} w_{i,j}}{S\sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^{n} w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

در این فرمول x_j مقدار خصیصه برای عارضه j، $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j و n برابر با تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد.

رابطه (۱۱)
$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_i}{n}$$

رابطه (۱۲)
$$S\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} (\bar{x})^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

یافته‌ها و بحث

در این تحقیق، با استفاده از شاخص نمره استاندارد (مقادیر پایین‌تر از ۱/۲- به‌عنوان روزهای سرد فرین)، تعداد روزهای سرد فرین در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آپریل، نوامبر و دسامبر برای هر ایستگاه استخراج شد. در ادامه برای مطالعه چگونگی توزیع فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین در منطقه شمال‌غرب ایران مشخص شود، از شاخص انسلین موران محلی I و آماره لکه داغ G_i^* استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون تاو من کندال بر روی سری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

زمانی ماهانه روزهای سرد فرین شمال‌غرب، در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در ماه‌های نوامبر و دسامبر هیچ‌گونه روند معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد در فراوانی روزهای سرد فرین منطقه رخ نداده است. در ماه ژانویه نیز تنها در ایستگاه اردبیل روند کاهشی در فراوانی روزهای سرد فرین در سطح اطمینان ۹۵ درصد دیده می‌شود. مقادیر تاو کندال (τ) در تمامی ماه‌ها برای اغلب ایستگاه‌ها گویای روند کاهشی در فراوانی روزهای سرد فرین است که این روند در بازه اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. در ماه فوریه ایستگاه میانه، در ماه آپریل زنجان و پیرانشهر روند کاهشی معنی‌داری را با Pvalue<۰/۰۵ نشان می‌دهند. در ماه مارس حدود ٤۳ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی معنی‌داری در تعداد روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران را در بازه اطمینان ۹۵ درصد دارند (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آماره کندال (τ) برای تعداد روزهای سرد در ایستگاه‌های شمال‌غرب ایران

Table 1- Results of Kendall (τ) statistics for the number of cold days in northwest stations of Iran

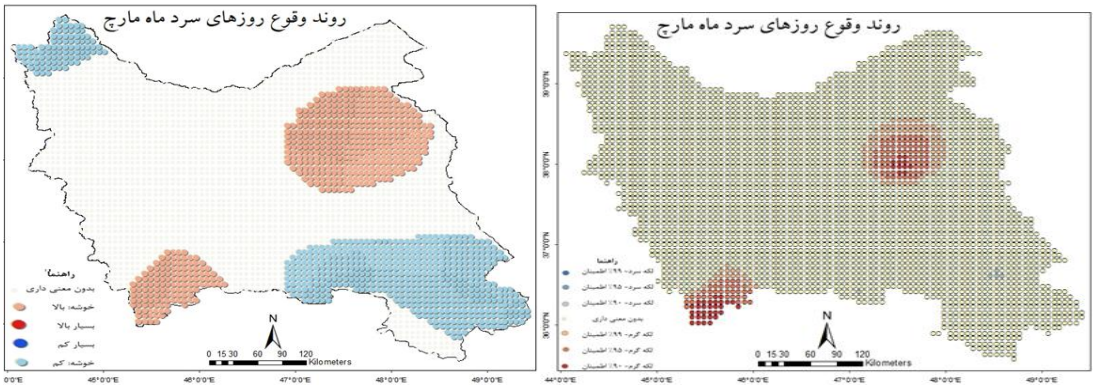
ایستگاه	ژانویه	Pvalue	فوریه	Pvalue	مارس	Pvalue	آپریل	Pvalue	نوامبر	Pvalue	دسامبر	Pvalue
ارومیه	۰/٦	۰/٦٤	-/۰٥	۰/٦٨	-۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۸٤	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۱۲	۰/۳٥
اردبیل	-۰/۳*	۰/۰۲*	-۰/۱٤	۰/۳۱	-۰/۱۹	۰/۱٦	-۰/۲٥	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۸۳	-۰/۱٥	۰/۲٤
اهر	-۰/۰٥	۰/۷۲	۰/۰۸	۰/٥٤	-۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۹۹	-۰/۰٥	۰/۷۲	۰/۰۳	۰/۸٤
بیجار	-۰/۰۹	۰/٤۷	-۰/۲	۰/۱٥	-۰/۲٤	۰/۰۷	-۰/۲۲	۰/۰۹	-۰/۰۲	۰/۸	۰/۱۲	۰/۳۸
پارس‌آباد	۰/۰۱	۰/۹٦	-۰/۰۸	۰/٥۳	-۰/۲٤	۰/۰۷	-۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۰٤	۰/۷٦	-۰/۱	۰/٤٥۸
پیرانشهر	-۰/۱۷	۰/۲	-۰/۲٥	۰/۰٦	-۰/۳۲*	۰/۰۰٥*	-۰/۳۸*	۰/۰۰٤*	-۰/۱۹	۰/۱۹	-۰/۱۲	۰/۳٥
تبریز	۰/۰۱	۰/۹٥	-۰/۱۲	۰/۳۷	-۰/۲٥	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۸۸	۰/۰۹	۰/٥۲	۰/۰۹	۰/٤۸
تکاب	-۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۰۹	-۰/۳۷*	۰/۰۰٥*	-۰/۱	۰/۹۳	۰/۰٥	۰/۷۲	-۰/۱٥	۰/۹۱
جلفا	۰/۰۲	۰/۹	-۰/٤٥	۰/۷۳	-۰/۳*	۰/۰۲*	-۰/۰۹	۰/٥	۰/۰۲	۰/۸٦	۰/۱	۰/٤۷
خرمدره	-۰/۲۱	۰/۹	-۰/۱۲	۰/۳٤	-۰/۳٥*	۰/۰۱*	-۰/۱٦	۰/۲۲	-۰/۱۳	۰/۳۱	-۰/۱٤	۰/۲۸
خلخال	-۰/۰۲	۰/۰۹	-۰/۲٥	۰/۰٦	-۰/۲۳	۰/۰۸	-۰/۱۸	۰/۱۷	۰	۱	۰/۱	۰/٤۳
خوی	۰	۰/۱۱	-۰/۱٤	۰/۲۸	-۰/۲۷*	۰/۰٤*	-۰/۱٦	۰/۲۲	-۰/۰۹	۰/٤۹	۰/۰۲	۰/۸۹
زنجان	-۰/۲٥	۰/۹۹	-۰/۲۲	۰/۱	-۰/۳۷*	۰/۰۰٥*	-۰/۲۷*	۰/۰٤*	-۰/۰۹	۰/٤٤	-۰/۱	۰/٤٥
سراب	۰/۰۱	۰/۰٥	-۰/۲۳	۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/٦	-۰/۰۹	۰/٥۱	۰/۰۹	۰/٤۹	۰/۰۰۲	۰/۹۹
سردشت	۰/۰۲	۰/۸۷	-۰/۱۳	۰/۳۱	-۰/۰۳	۰/۰۲	-۰/۲٤	۰/۰٦	-۰/۰۷	۰/٦	-۰/۱	۰/٤٥
سقز	-۰/۱	۰/٤۳	-۰/۱۳	۰/۳۲	-۰/۱٦	۰/۲٤	-۰/٤	۰/۷۷	-۰/۰٦	۰/٦٥	۰/۰٤	۰/۷٥
سهند	-۰/۰۸	۰/٥۳	-۰/۲۱	۰/۱	-۰/۲۳	۰/۰۸	-۰/۱۱	۰/٤	-۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۹٥
ماکو	-۰/۰٦	۰/٦٤	-۰/۱٦	۰/۲۳	-۰/۳٥*	۰/۰۱*	-۰/۰٥	۰/٦۸	-۰/۱۳	۰/۳۳	-۰/۱	۰/٤٦
مراغه	۰/۰۳	۰/۸	-۰/۲	۰/۱۳	-۰/۳۲*	۰/۰۲*	-۰/۱٤	۰/۳	-۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۸۷
مهاباد	-۰/۱۳	۰/۳۳	-۰/۱٦	۰/۲۲	-۰/۱٥	۰/۲٥	-۰/۰۲	۰/۹۱	۰/۰٤	۰/۷٤	۰/۱	۰/٤۷
میانه	-۰/۰۸	۰/٥٦	-۰/۲۷*	۰/۰٤*	-۰/۲۸*	۰/۰۳*	-۰/۲۳	۰/۰٥	-۰/۱	۰/٤٦	۰/۱۸	۰/۱۷

همان‌طور که در بالا ذکر شد در ٤۳ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی معنی‌دار در تعداد روزهای سرد ماه مارس رخ داده است. برای شناخت الگوی توزیع فضایی در روند روزهای سرد از شاخص انسلین محلی موران I و شاخص تحلیل لکه داغ Gi* استفاده شده است. نتایج حاصل این روش‌ها نشان می‌دهد که روند موجود در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

ایستگاه‌ها به‌صورت تصادفی، پراکنده و یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده است. شکل (۲) توزیع فضایی الگوی خودهمبستگی روند فراوانی روزهای سرد فرین ماه مارس را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که روند کاهشی معنی‌دار، مقادیر کم‌تر از ۰/۲۸- (در روش من کندال) به‌دست آمده که در نقشه با خوشه‌های آبی‌رنگ به‌عنوان ارزش عددی پایین (LL) نشان داده می‌شود، بنابراین لکه‌های آبی‌رنگ در واقع مکان‌هایی که در آن فراوانی روزهای سرد فرین روند کاهشی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند. لکه‌های قرمز نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد که به لحاظ آماری معنی‌دار نیستند و مقادیر نزدیک به صفر را در بر می‌گیرند که به‌صورت خودهمبستگی مثبت (HH) نشان داده شده است. شکل (۲) سمت راست نشان می‌دهد که خوشه‌های باارزش پایین (روند کاهش معنی‌دار) در گوشه جنوب‌شرقی و شمال‌غربی منطقه و خوشه‌های باارزش بالا (روند فاقد معنی‌داری) در شمال‌شرق و جنوب‌غرب منطقه تشکیل شده‌اند. وسعت زیادی از منطقه نیز مقادیر پراکنده را نشان می‌دهد که فاقد الگوی مشخصی هستند. شاخص لکه داغ GI* برای تحلیل فضایی روند روزهای سرد فرین ماه مارس، مکان وقوع لکه‌های داغ (خودهمبستگی مثبت) را در مکانی که شاخص موران محلی I نشان می‌دهد، تایید می‌کند و توزیع لکه‌های سرد را بسیار محدود به چند لکه سرد در جنوب شرق منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۲: توزیع فضایی الگوی خودهمبستگی فضایی بر اساس شاخص موران I (سمت راست) و بر اساس شاخص G* (سمت چپ)

Figure 2: Spatial distribution of spatial autocorrelation pattern based on Moran I index (right) and G * index (left)

برای نشان دادن توزیع فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین طی سال‌های مورد مطالعه نیز از دو شاخص نامبرده استفاده شد. باید ذکر شود که در تحلیل‌ها منظور از لکه داغ یا خودهمبستگی مثبت در هر یک از پارامترهای فراوانی و حداکثر روزهای فرین سرد در واقع نشان دهنده الگوی خوشه‌ای با ارزش بالا می‌باشد که پارامتر فراوانی و یا حداکثر، بیش‌ترین مقدار را در آن مکان نشان می‌دهد. همچنین خودهمبستگی منفی و یا لکه سرد نشان دهنده کم‌ترین مقدار این دو پارامتر در یک مکان است که به‌صورت الگوی خوشه‌ای با ارزش پایین شناسایی شده است. عدم معنی‌داری نیز یعنی مناطقی که مقادیر پراکنده از این دو پارامتر را نشان می‌دهد و الگوی خوشه‌ای مشخصی در آن‌ها تشکیل نشده است. جدول‌های (۲ و ۳) درصد مساحت تحت پوشش الگوهای حاصل از شاخص انسلین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

موران محلی و شاخص GI* را برای روزهای سرد فرین در شمال‌غرب ایران نشان می‌دهند. با دقت به جدول‌ها و شکل‌های (۳ و ٤) توزیع فضایی شاخص موران محلی و شاخص لکه داغ مشخص می‌شود که در هر دو شاخص درصد زیادی از پهنه مورد مطالعه در هر دو فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین فاقد الگوی خوشه‌ای معنی‌داری هستند. نتایج حاصل از موران محلی نشان می‌دهد که در فراوانی روزهای سرد فرین، الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی منفی وسعت بیش‌تری را نسبت به خودهمبستگی مثبت به‌خود اختصاص داده است. لکه‌های سرد (آبی، یعنی کم ترین رخداد روزهای سرد) و لکه‌های داغ (قرمز، یعنی بیش‌ترین رخداد روزهای سرد) به‌صورت الگوهای پراکنده خوشه‌ای برای فراوانی و همچنین حداکثر روزهای سرد فرین در ماه‌های مختلف دیده می‌شود. الگوی خودهمبستگی منفی در ماه ژانویه برای فراوانی روزهای سرد فرین حدود ۱۲/۷ درصد و برای حداکثر روزهای سرد فرین حدود ۲۱/٦ درصد از شمال‌غرب کشور است که نسبت به الگوی خودهمبستگی مثبت (به‌ترتیب ۵/۲ و ۱۷/۷ درصد وسعت) قسمت‌های وسیع‌تری را درگیر کرده است. چند الگوی خوشه‌ای مثبت به‌صورت پراکنده از شرق تا غرب پهنه و چند الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی منفی در شمال‌شرق و جنوب‌غرب و جنوب‌شرق دیده می‌شود. در حداکثر روزهای سرد فرین نیز الگوی خوشه‌ای منفی با وسعت بیش‌تر در شرق تا جنوب کشیده شده و الگوی خودهمبستگی مثبت در شمال تا مرکز منطقه گسترش یافته است. در شکل (٤) توزیع فضایی روزهای سرد فرین حاصل از شاخص GI* از وسعت لکه‌های داغ (خودهمبستگی مثبت) به شدت کاسته شده و در حداکثر روزهای سرد فرین در شمال منطقه محدود ولی لکه‌های سرد به‌صورت لکه‌های پراکنده با وسعت کم‌تر در همان مناطق مشاهده می‌شود. در واقع توزیع فضایی شاخص GI* وضعیت مشابه به شاخص موران محلی را نشان می‌دهد با این تفاوت که از وسعت لکه‌ها در شاخص GI* کاسته می‌شود. در ماه فوریه (در فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین) وسعت مناطق فاقد الگوی معنی‌دار در شاخص موران محلی نسبت به ماه ژانویه حدود ۱۷ درصد کاسته شده و وسعت الگوهای خودهمبستگی فضایی مثبت و منفی افزایش یافته است و تقریبا در هر دو حدود ۱۷ تا ۱۷/۵ درصد از پهنه در دو پارامتر فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین دیده می‌شود. نقشه‌های شماره (۳) به روشنی افزایش سطح الگوهای خوشه‌ای خودهمبستگی مثبت و منفی را نسب به ماه ژانویه نشان می‌دهد. البته توزیع این الگوهای خوشه‌ای در منطقه در پارامتر فراوانی متفاوت از پارامتر حداکثر روزهای سرد فرین است و این عدم انطباق در ماه ژانویه نیز دیده می‌شود. در شکل (٤) توزیع فضایی خودهمبستگی بر اساس شاخص GI* نیز لکه‌های داغ و لکه‌های سرد در همان مناطقی که در شاخص موران محلی تشکیل شده، واقع گردیده‌اند با این تفاوت که مانند ماه ژانویه کاهش چشم‌گیر سطح دربرگیرنده این لکه‌ها نسبت به شاخص موران محلی دیده می‌شود. در ماه مارچ وسعت خودهمبستگی فضایی مثبت نسبت به ماه فوریه کاسته شده است. در این ماه مجددا پهنه‌های فاقد الگوی خوشه‌ای معنی‌دار افزایش می‌یابد. شکل (۳) الگوهای خودهمبستگی فراوانی روزهای سرد فرین به الگوهای حداکثر روزهای سرد فرین شباهتی ندارند و فقط لکه‌های خوشه‌ای منفی در بخشی از شرق منطقه تشابه مکانی دارند. پراکنش این الگوهای خوشه‌ای تقریبا در جهت مخالف در دو نقشه دیده می‌شود. در نقشه‌های حداکثر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

روزهای سرد لکه‌های خوشه‌ای خودهمبستگی منفی ماه مارس و فوریه تقریبا در پهنه مشابه دیده می‌شود که تا حدودی مشابه با نقشه الگوهای ماه دسامبر می‌باشد. با مراجعه به جدول (۳) و نقشه‌های (٤) مشخص می‌شود که مقداری خودهمبستگی مثبت یا لکه های داغ در شاخص GI * نسبت به دو ماه قبل چندان قابل توجه نیست و همچنان محل تشکیل لکه‌های داغ و سرد منطبق بر نقشه‌های حاصل از موران محلی است و وسعت تحت پوشش را بسیار کم تر از نتایج شاخص موران محلی نشان می‌دهد. در ماه آوریل در شاخص موران محلی، درصد منطقه تحت پوشش خودهمبستگی مثبت و منفی (به ترتیب ۱۲/۸ و ۲۰/٤ درصد از پهنه) نسبت به سه ماه گذشته افزایش یافته و الگوی خوشه‌ای فاقد معنی‌داری نسبت به سایر ماه‌ها به کم‌ترین وسعت خود ۵۹/۸ درصد می رسد. در حداکثر روزهای سرد فرین الگوی خودهمبستگی منفی (الگوی خوشه‌ای با ارزش پایین) به کم‌ترین مقدار خود (٦/۷ درصد از وسعت منطقه) نسبت به سایر ماه‌ها رسیده است. در نقشه (۳) ماه آپریل، الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی مثبت فراوانی روزهای سرد به‌صورت چند لکه پراکنده در منطقه دیده می‌شود اما الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی منفی، یک خوشه متمرکز از شرق تا نزدیک جنوب منطقه را نشان می‌دهد. در الگوهای خوشه‌ای خودهمبستگی مثبت و منفی نیز پراکندگی این خوشه‌ها بیش‌تر در نیمه جنوبی منطقه دیده می‌شود. در شاخص GI* در فراوانی لکه‌ی سرد وسعت بیش‌تری نسبت به لکه‌های داغ دارد. دو لکه داغ در گوشه جنوب‌شرق و جنوب‌غرب منطقه شکل گرفته است. در مقابل در حداکثر روزهای سرد فرین لکه‌های داغ به‌صورت پراکنده وسعت بیش‌تری دارند و لکه سردی در نقشه مربوطه تشکیل نشده است. لکه‌های داغ و لکه‌های سرد این دو نقشه نیز در محل تشکیل الگوهای خوشه‌ای حاصل از شاخص موران محلی شکل گرفته است و تاییدی بر آن می‌باشد. الگوهای خوشه‌ای خودهمبستگی مثبت حاصل از شاخص موران محلی در ماه نوامبر، در فراوانی و حداکثر روزهای سرد (به ترتیب ۱۲/۹ و ۱۲/۷ درصد) نسبت به ماه آپریل و مارچ کاهش داشته که چندان چشمگیر نیست. الگوی خودهمبستگی منفی نسبت به سایر ماه‌ها تغییرات چندان زیادی را نشان نمی‌دهد. گرچه الگوی خودهمبستگی منفی حداکثر روزهای سرد نسبت به ماه آپریل افزایش داشته است. در این ماه در هر دو پارامتر حدود ٦۸ تا ٦۹ درصد وسعت منطقه دارای الگوی فاقد معنی‌داری هستند بنابراین در وسعت زیادی از منطقه الگوی خوشه‌ای تشکیل نشده است. شکل (۳)، نقشه‌های ماه نوامبر دو خوشه‌ی خودهمبستگی منفی در شرق و غرب و چند خوشه پراکنده که بزرگ‌ترین آن در جنوب منطقه شکل گرفته است را در فراوانی روزهای سرد فرین نشان می‌دهد. در حداکثر روزهای سرد فرین نیز یک خوشه خودهمبستگی منفی با وسعت بیش‌تر در غرب منطقه مانند الگوی فراوانی روزهای سرد تشکیل داده است. دو خوشه‌ی خودهمبستگی مثبت نیز در شمال‌غرب و شمال منطقه (با وسعت بیش‌تر) شکل داده است. در شکل (٤) لکه‌های داغ در مکان الگوی خوشه‌ای مثبت حاصل از موران محلی شکل گرفته ولی با وسعت بسیار کم‌تر از آن و لکه‌های سرد نیز همین‌طور با این تفاوت که وسعت بیش‌تری را نسبت به لکه‌های داغ نشان می‌دهند. وسعت تحت پوشش الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی منفی (شاخص موران محلی I) ماه دسامبر برای فراوانی و حداکثر رخداد روزهای سرد فرین در منطقه نسبت به ماه نوامبر کم‌تر شده است؛ اما الگوهای

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

خودهمبستگی مثبت فراوانی روزهای سرد تغییر چندانی نداشته و حداکثر روزهای سرد فرین به نسبت افزایش داشته است. خوشه‌های خودهمبستگی مثبت برای فراوانی روزهای سرد در جنوب و غرب و شمال‌غرب منطقه به‌صورت پراکنده تشکیل شده که خوشه مثبت در حداکثر روزهای سرد فرین تقریبا منطبق بر مکان شکل‌گیری آن در فراوانی روزهای سرد فرین است. الگوی خوشه‌ای خودهمبستگی منفی نیز در بخش‌های شمال‌غربی و شمالی در هر دو فراوانی و حداکثر روزهای سرد با وسعت متفاوت در مناطق یکسان دیده می‌شود و چند خوشه‌ی پراکنده دیگر در سایر نقاط منطقه نیز شکل گرفته است. در شاخص GI* نیز لکه‌های سرد تشکیل شده در گوشه شمال غرب منطقه تقریبا یکسان است (شکل ٤). در نقشه‌های حاصل از شاخص GI* وسعت لکه‌های شکل گرفته نسبت به خوشه‌های شاخص موران محلی مانند سایر ماه‌ها بسیار محدودتر است. لکه‌های داغ شکل گرفته در این ماه نیز وسعت بسیار کم تری را نسبت به الگوی خوشه‌ای موران محلی نشان می دهد.

جدول ۲- درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص موران محلی I روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران

Table 2- Percentage of area covered by the pattern obtained from the local Moran I index of cold days in northwestern Iran

نوع الگو		ژانویه	فوریه	مارس	آپریل	نوامبر	دسامبر
خودهمبستگی فضایی مثبت	فراوانی	۵/۲	۱۷/٦	۱۲/۸	۱۹/۷	۱۲/۹	۱۲/۳
	حداکثر	۱۷/۷	۱۷	۱۵	۱۵/۸	۱۲/۷	۱۵
فاقد معنی‌داری	فراوانی	۸۲/۱	٦٤/۹	۷۰/۸	۵۹/۸	٦۷/۷	۷۲/۵
	حداکثر	٦۰/۷	٦۵/۹	٦٦/۱	۷۷/٦	٦۸/۹	٦۹/۷
خودهمبستگی فضایی منفی	فراوانی	۱۲/۷	۱۷/۵	۱٦/٤	۲۰/٤	۱۹/٤	۱۵/۱
	حداکثر	۲۱/٦	۱۷/۱	۱۸/۹	٦/۷	۱۸/٤	۱۵/۳

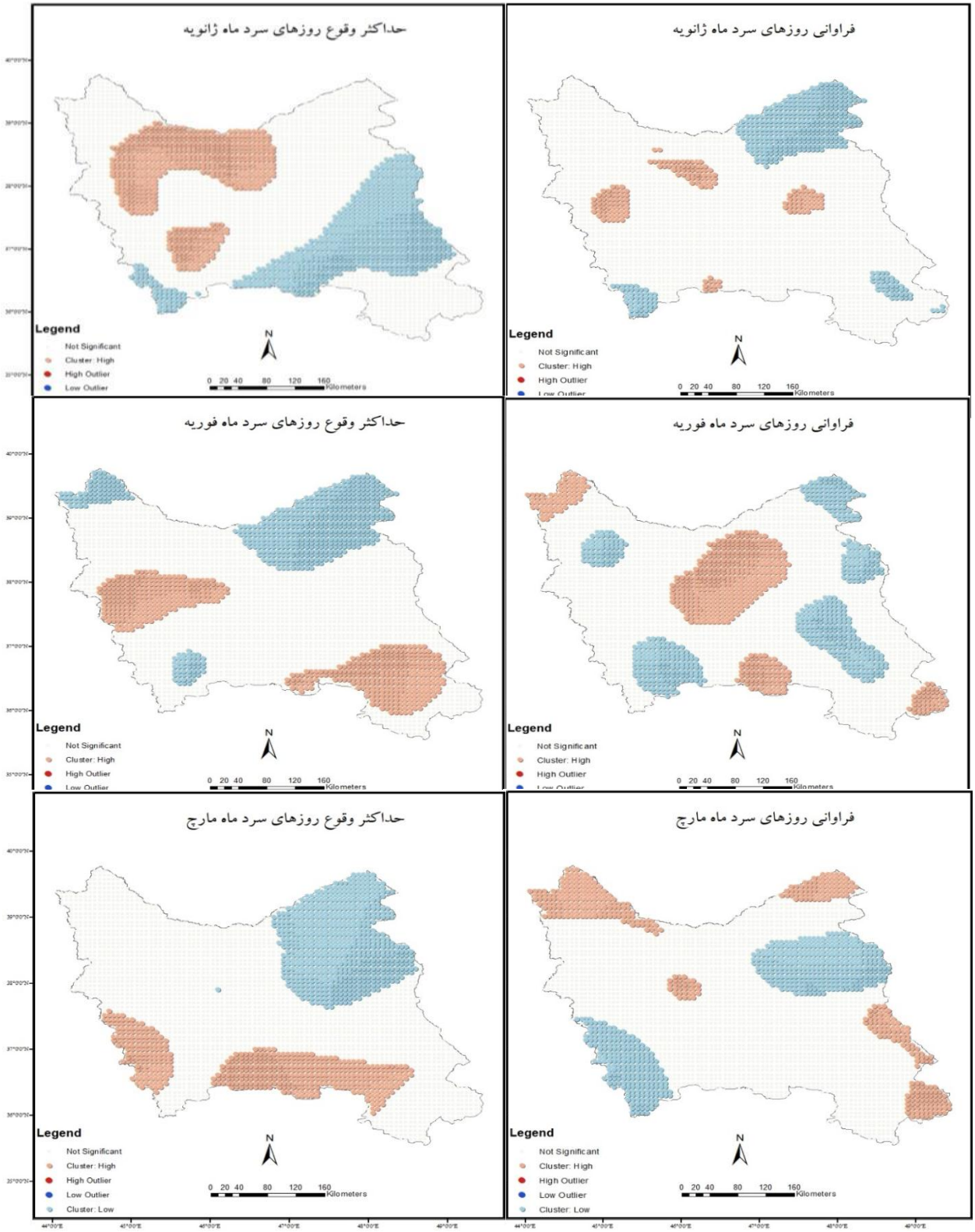
جدول ۳- درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص *GI روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران

Table 3: Percentage of area covered by the pattern obtained from the GI index * Cold days in northwestern Iran

نوع الگو		ژانویه	فوریه	مارس	آپریل	نوامبر	دسامبر
خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد	فراوانی	۳/۳	۰/۷	۱/۲	۰	۰	۱/۸
	حداکثر	۰	۰/۳	۰	۰	۰/۳	۰
خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۵ درصد	فراوانی	۲/۸	۱/٤	٤/۱	۰/٤	۲/۸	۲/٤
	حداکثر	۰/٦	٤/۳	۰/۹	۰	٤/۷	۱/۷
خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۰ درصد	فراوانی	۱/٦	۲	۲/۸	٤/٦	٤/۳	۳/۵
	حداکثر	۳/۵	۳/۷	٤/۷	۰	۳/۷	۲/۳
فاقد الگوی معنی‌داری	فراوانی	۹۲/۲	۹۲/۲	۸۹	۹۲/۷	۸۸/۵	۹٤/٤
	حداکثر	۹۳	۹۱	۹۰/۳	۹۲/٤	۹۰/۷	۹۰/۸
خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۰ درصد	فراوانی	۰/۱	۲/۷	۲/۲	۲/٤	۲/۸	۱/٦
	حداکثر	۱/۷	۰/۷	۲/۷	۲/۲	۰/٦	½
خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۵ درصد	فراوانی	۰	۱	۰/٦	۰	۱/٦	۱/۲
	حداکثر	۱/۱	۰	۱/٤	۲/۵	۰/۱	۱/۹
خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد	فراوانی	۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰
	حداکثر	۰	۰	۰	۲/۹	۰	۱/۳

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

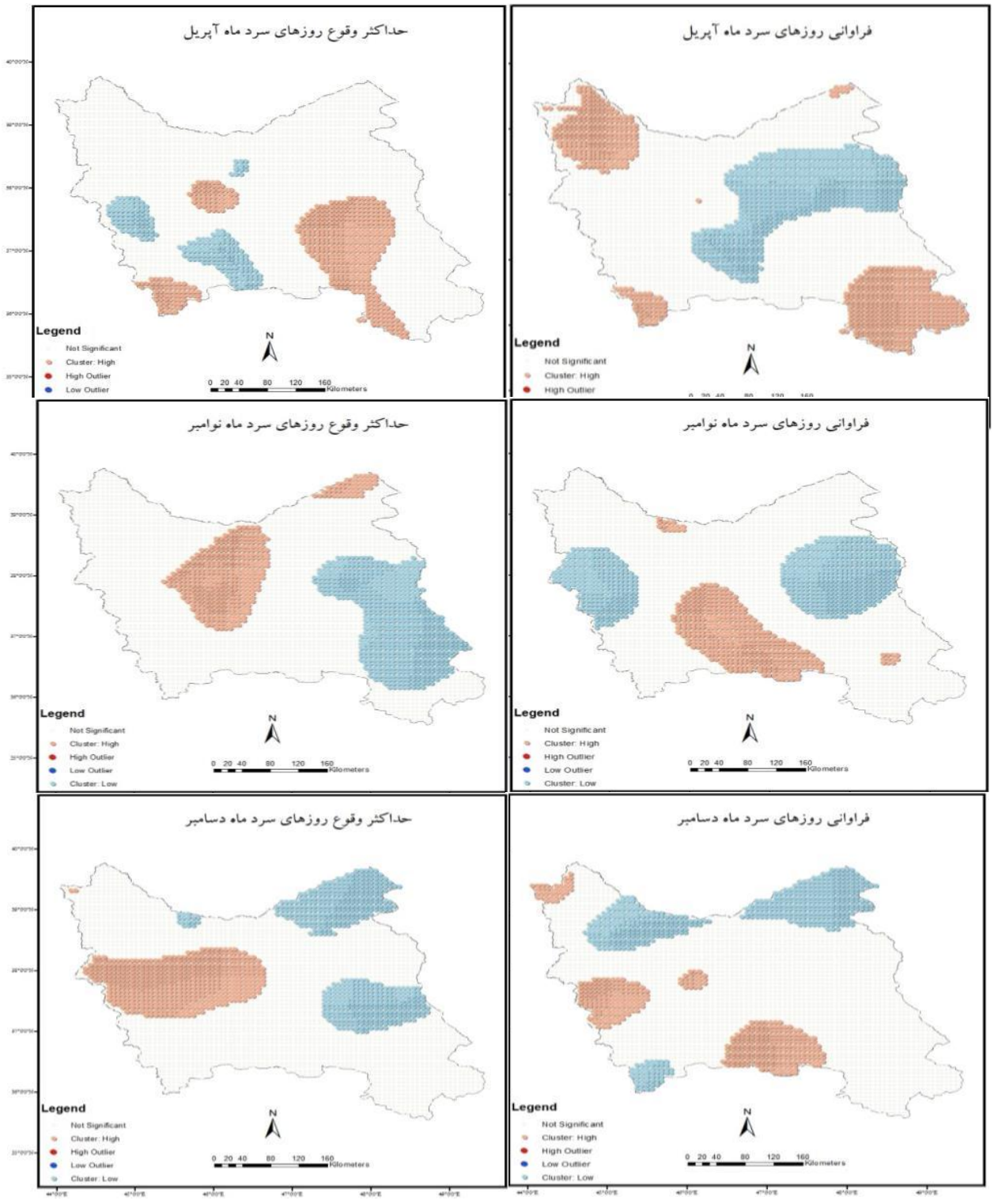


شکل ۳: توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران (بر اساس شاخص موران محلی I)

Table 3: Spatial distribution of spatial autocorrelation pattern of frequency and maximum cold days in northwest of Iran (based on (local Moran index I

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

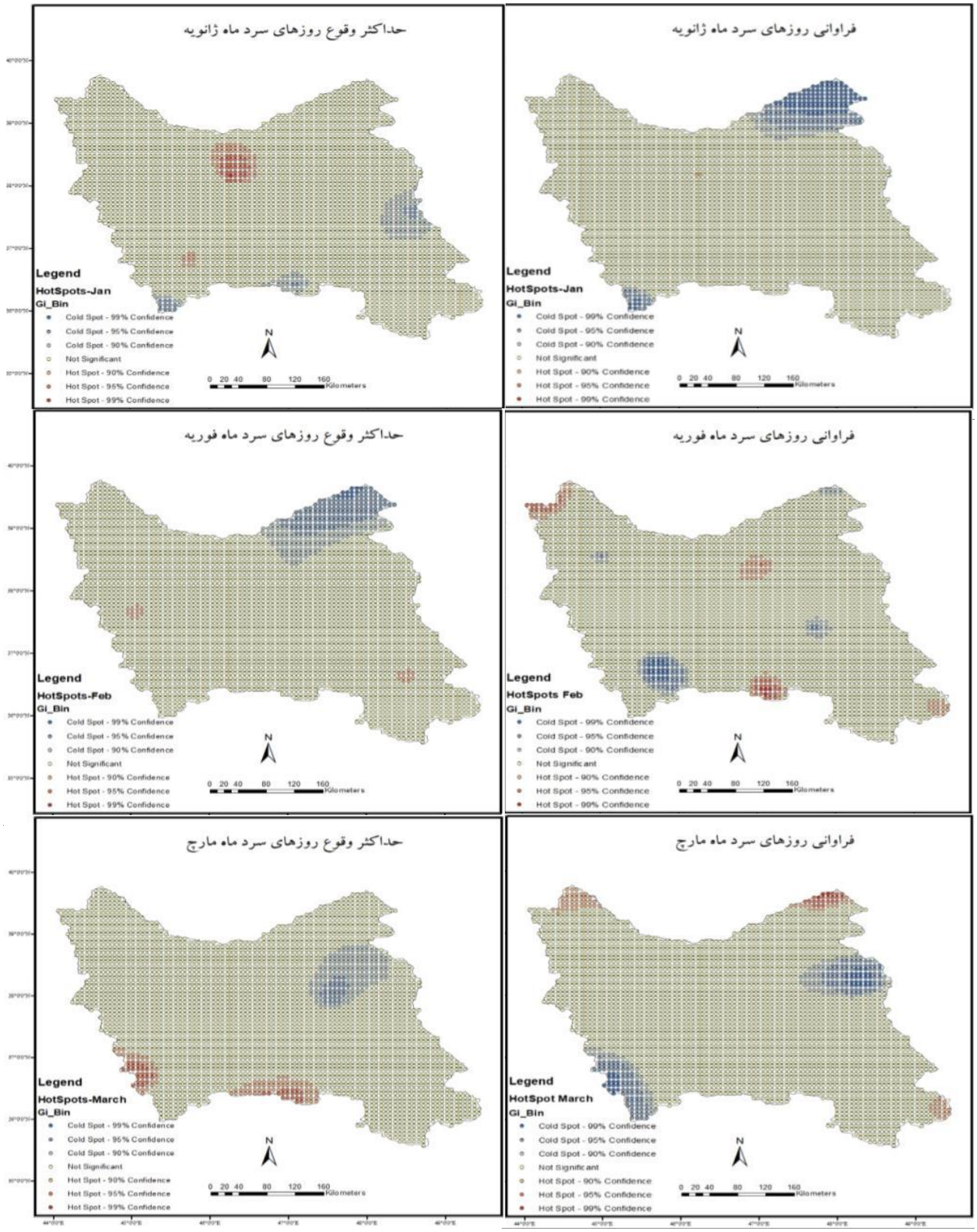


ادامه شکل ۳: توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین شمال غرب ایران (بر اساس شاخص موران محلی I)

Continue of Figure 3: Spatial distribution of spatial autocorrelation pattern of frequency and maximum cold days in northwest of Iran (based on local Moran index I)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

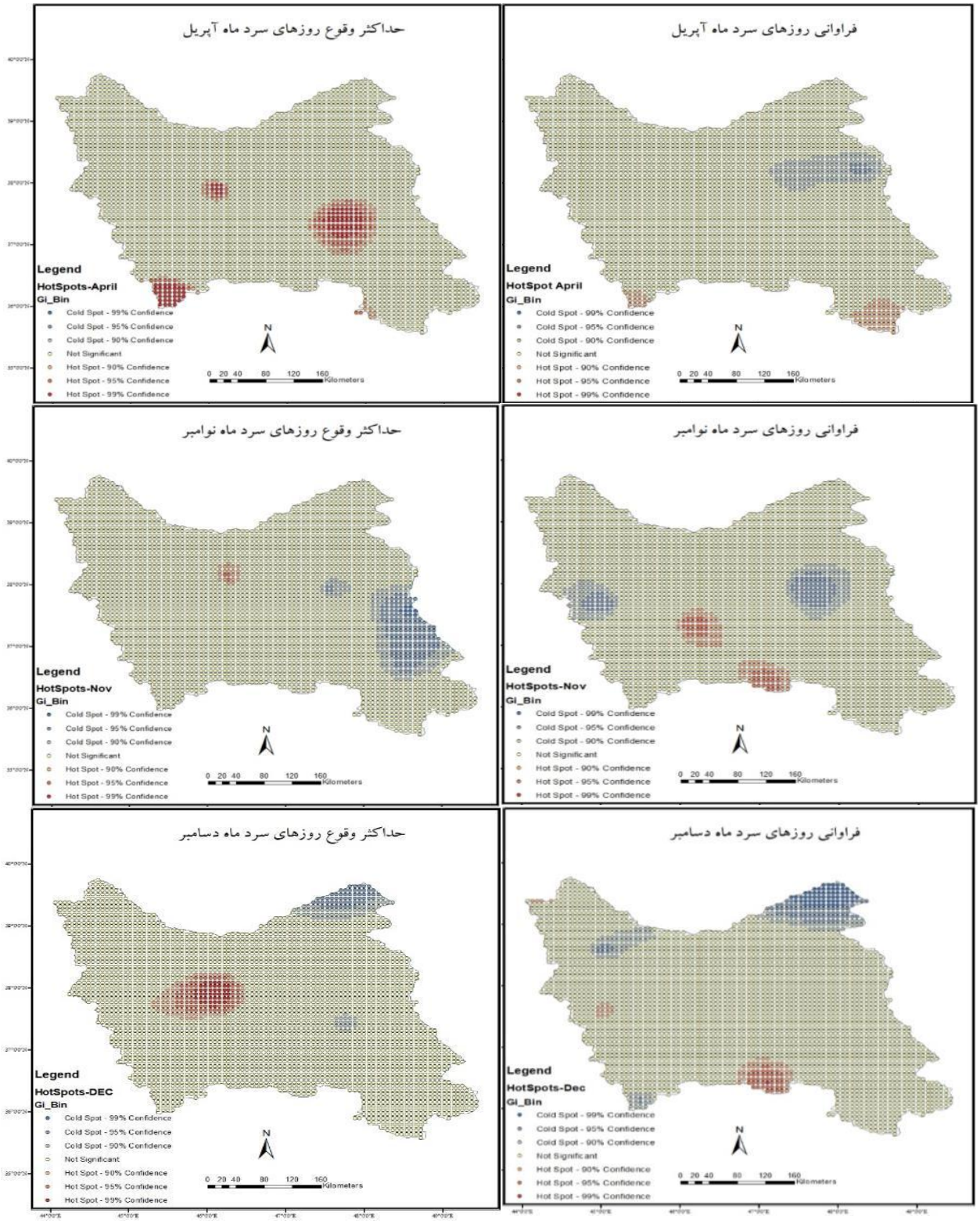


شکل ٤: توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران (بر اساس شاخص (G^*)

Figure 4: Spatial distribution of spatial autocorrelation pattern of frequency and maximum cold days in northwest of Iran (based on G * index)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]



ادامه شکل ٤: توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی فراوانی و حداکثر روزهای سرد فرین شمال‌غرب ایران (بر اساس شاخص G^*)

Continue of Figure 4: Spatial distribution of spatial autocorrelation pattern of frequency and maximum cold days in northwest of Iran (based on G * index)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

نتیجه‌گیری

با توجه به این که شرایط آب‌وهوایی جز لاینفک محیط طبیعی است و بر ابعاد مختلف زیست بشر تاثیر مستقیم دارد و دما نیز یکی از عناصر مهم اقلیم کره زمین و تعیین کننده آب‌وهوای هر منطقه به‌شمار می‌رود که کوچک‌ترین تغییری در مقدار آن می‌تواند وقایع اقلیمی مخربی مانند سیلاب‌ها، طوفان‌ها، خشکسالی، یخبندان‌های شدید و ... را ایجاد نماید؛ بنابراین بررسی و شناخت هر چه بیش‌تر ابعاد مختلف دمایی در هر منطقه‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد و نیز شناخت روند، فراوانی و حداکثر رخداد روزهای سرد فرین می‌تواند کمک بسیاری به برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی برای جلوگیری از اثرات مخرب فرین‌های آب‌وهوایی داشته باشد. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات رفتار روزهای سرد فرین در منطقه شمال‌غرب ایران از حداقل دمای روزانه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۷ (۳۲ سال) برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آپریل، نوامبر و دسامبر استفاده شده است. برای استخراج روزهای سرد فرین با استفاده از ضریب شاخص استاندارد z روزهایی با مقادیر پایین‌تر از ۱/۲- به‌عنوان روزهای سرد فرین در نظر گرفته شد. با اعمال آزمون من کندال بر روی روزهای سرد فرین استخراج شده، با توجه به این که تقریبا در اکثر ماه‌ها و ایستگاه‌ها روند منفی دیده می‌شود ولی در بازه اطمینان ۹۵ درصد این روند معنی‌دار نبود. مگر در یکی دو ایستگاه (که در ماه نوامبر و دسامبر روند معنی‌دار کاهشی داشتند). روند کاهشی معنی‌دار در حدود ٤۳ درصد از ایستگاه‌ها در بازه اطمینان ۹۵ درصد فقط در ماه مارس اثبات شد که بر اساس شاخص موران محلی I و شاخص G^* روند کاهشی خوشه‌ی خودهمبستگی منفی و لکه سرد در شمال‌غرب و جنوب‌شرق منطقه تشکیل داده است. وجود روند کاهشی تعداد روزهای سرد در ترکیه (Acar et al., 2018) و سایر نقاط دنیا (Kim and Lee, 2019; Kohen et al., 2014; Fischer and Knutti, 2014) و همچنین در شمال‌غرب ایران نیز طی سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۰۸ (Alijani and Farajzadeh, 2015) اثبات شده است.

با هدف شناخت الگوهای خوشه‌ای و به بیانی دیگر آرایش مکانی و تحلیل رفتار پارامترهای فراوانی مطلق و حداکثر تعداد رخداد روزهای سرد فرین در هر ماه طی دوره مورد مطالعه، از شاخص انسلین موران محلی I و شاخص لکه داغ G^* برای تحلیل فضایی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که فراوانی مطلق و حداکثر تعداد رخداد روزهای سرد فرین در شمال‌غرب ایران در تمامی ماه‌های مورد مطالعه، الگوی خوشه‌ای بالا (خودهمبستگی مثبت: بیش‌ترین فراوانی هر دو پارامتر) و الگوی خوشه‌ای پایین (خودهمبستگی منفی: کم‌ترین فراوانی هر دو پارامتر) را در پهنه مورد مطالعه تشکیل داده‌اند و نیز بیش‌تر وسعت منطقه در ماه‌های مختلف، فاقد الگوی فضایی معنی‌داری می‌باشد. همچنین نتایج گویای این واقعیت است الگوهای خوشه‌ای تشکیل شده در ماه‌های مورد مطالعه در مکان‌های مختلفی تشکیل شده است. بدین معنی که الگوی خوشه‌ای و یا لکه‌های داغ و سرد در این ماه‌ها رفتار یکسان در منطقه نداشته‌اند. نتایج مشابه در مطالعه Jahanbakhsh et al (2011) نیز نشان داد میانگین منطقه‌های حداقل دما و روند آن در شمال‌غرب ایران در ماه‌های مختلف سال رفتار یکسانی نداشته است. همچنین نتایج حاصل بر اساس شاخص G* محل تشکیل خوشه‌ها را در شاخص موارن محلی I تایید می‌کند با این تفاوت که در شاخص G*

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

وسعت لکه‌های داغ و سرد بسیار محدودتر از الگوهای خوشه‌ای موران محلی می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به این‌که روش‌های به‌کار رفته برای تحلیل فضایی عوارض در پهنه، بر اساس میزان شباهت نقاط همسایه عمل می‌کند و با توجه به این که پهنه شمال‌غرب کشور به لحاظ توپوگرافی پیچیدگی منحصر به فردی دارد و تقریبا در ارتفاعات ایستگاه جوی وجود ندارد و همچنین ایستگاه‌های موجود نیز از نظر پراکنش توزیع مناسبی در سطح پهنه مورد مطالعه ندارند، بنابراین انتظار می‌رود با تغییر تعداد ایستگاه‌ها (به خصوص در مناطق مرتفع) و نیز روش‌های دیگر نتایج کامل‌تر و متفاوتی به‌دست آید.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

References

- Alijani, B., Farajzadeh, H., (2015), " Trend analysis of extreme temperature indices in the north west of iran", ***Geography and Planning***, 52 (19): 229-256. [In Persian].
- Acar, Z., Gnencgil, B., Korucu, N., Çanakkale, G., (2018), "Long-term changes in hot and cold extremes in turkey", ***Journal of Geography***, 37: 57-67.
- Ahmadi, M., Gavidel,Y., (2011), "Identification and analyzing of the widespread low extreme temperatures in north west region of iran, by using ntd method", ***Researches In Earth Sciences,*** 6: 77-92. [In Persian].
- Alijani, B., Hoshyar, M., (2009), "Synoptic origin of cold temperatures over the northwest of Iran", ***Physical Geography Research Quarterly***, 65: 1-16. [In Persian].
- Asakereh, H., (2008), "Kriging application in climatic element interpolation a case study: Iran precipitation in 1996.12.16", ***Journal of Geography and Development***, 12: 25-42. [In Persian].
- Asakereh, H., (2009), "Spectral analysis of Tabriz annual temperature time series", ***Journal of Geographical Research***, 76: 35-50. [In Persian].
- Azizi, G., Miri, M., Rahimi, M., (2015), "Identification of synoptic patterns influencing formation of temperature anomalies in Iran and Europe", ***Physical Geography Research***, 47 (1): 91-104. [In Persian].
- Cohen, J., Screen, J. A., Furtado, J. C., Barlow, M., Whittleston, D., Coumou, D., (2014), "Recent arctic amplification and extreme mid-latitude weather", ***Nature Geoscience***, 7: 627-637.
- Darand, M., Dolatyari, Z, Aslani, F., Azizi, Y., (2014)," The investigation of extreme precipitation and temperature behavior in kermanshah by statistic tests", ***Journal Of Geographic Space***, 46: 213-233. [In Persian].
- Doostkamian, M., Jalali, M., Taherianzad, A., (2018), "Statistical synoptic analysis of pervasive cooling waves in northwest iran", ***Journal Of Physical Geography Research*** , 49: 699-718. [In Persian].
- Fischer, E. M., Knutti, R., (2014), "Detection of spatially aggregated changes in temperature and precipitation extremes", ***geophysical research letters***, 41 (2): 553-570.
- Francis, J. A., Vavrus, S. J., (2012), "Evidence linking arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes geophysics", ***Res. Lett***., 39 (6): 1-6.
- Geties, A., Ord, J. K., (1992), "The analysis of spatial association by use of distance statistics", ***Geogmphicd Analysis***, 24: 189-206.
- Honda, M., Inoue, Yamane, S., (2009), "Influence of low arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters", ***Geophysics. Res. Lett***, 36 (8):1-60.
- Hozhbar Pour, Gh., Alijani, B., (2007), "Synoptic analysis of frost days of Ardebil province", ***Geography And Development***, 10: 89-106. [In Persian].
- IPCC., (2012), IPCC managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, Ipcc special report environ, Health Prospect., Number P. A58, Scopus google: Cambridge.
- Jahanbakhsh, S., Rezaie, S., Ghasemeh, A., Tadayoni, M., (2011), "The synoptically analysis of the spring frosts in Tabriz (case study: spring frosts 2003 & 2004)", ***Journal of Geographical Research***, 26: 1-24. [In Persian].
- Kim, B. M., Son, S. W., Min, S. K., Jeong, J. H., Kim, S. J., Zhang, X., (2014), "Weakening of the stratospheric polar vortex by arctic sea-ice loss nat", ***Nature comunication***, 4646: 1-8.
- Massodiyan, S.A., Darand, M., (2011), "Synoptic analysis of farin colds of Iran", ***Geography And Development***, 22 (9):165-185. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]

- Mirza, M. Q., Warrick, R. A., Ericksen, N. J. Kenny, G. J., (1998), "Trends and persistence in precipitation in the ganges, Brahmaputra and Meghna river basins", ***Hydrological Sciences-Journal- Des Sciences Hydrologiques***, 43: 845-858.
- Mohammadi, S., Mohammadi, G, H., Rashrdi,SH. Hoseini Sadr, A., (2018), "Study of the cold period monthly minimum temperature trend in northwest of Iran", ***Journal Of Geography And Planning***, 21: 72-96. [In Persian].
- Ord, J. K., Geties, A., (1995), "Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application", ***Geographical Analysis***, 27 (4): 286-306.
- Orsolini, Y. J., Senan, R., Vitart, F., Balsamo G., Weisheimer, A., Doblas-Reyes, F. J., (2016), "Influence of the eurasian snow on the negative north atlantic oscillation in subseasonal forecasts of the cold winter 2009/2010", ***Clim. Dyn***, 47 (3-4): 1325-1334.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., Fattahi, E., (2008), "Variability of extreme temperature and precipitation in iran during recent decades", ***International Journal of Climatology***, 29: 329-343.
- Screen, J. A., Simmonds, I., (2010), "The central role of diminishing sea ice in recent arctic temperature amplification", ***Nature***, 464: 1334-1337.
- Serreze, M. C., Barrett, A. P., Stroeve, J. C., Kindig, D. N., Holland, M. M., (2009), "The Emergence of surface-based Arctic amplification", ***Cryosphere***, 3: 11-19.
- Shekhar, S. E., Michael, R., Kang, J. M., Andmohan, P., (2011), "Identifying Patterns In Spatialinformation", ***A Survey Of Methods***, 1: 191-214.
- Sneyers, R., (1975), "Sur l'analyse statistique des series d'observations.omm publication no.415, note technique 143. omm", World meteorological Organization (WMO), Geneva & Switzerland.
- Sotodeh, F., Alijani B., (2015), "The relationship between spatial distribution of heavy precipitation and pressure patterns in Guilan province", ***Journal of Spatial Analysis Environmental hazarts***, 2 (1) :63-73.
- Stroeve, J., C., C. Serreze, M., Holland, M., Maslanik,J., Barrett, A. P., (2012), "The arc tic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis", ***Clim. Change***, 110: 1005-1027.
- Yarmoradi, Z., Keikhosravi, GH., Nasiri, B., (2018)," Investigating cold weather waves in the western part of Iran", ***Journal Of Researches In Earth Sciences***, 35 (9): 51-67. [In Persian].
- Yazdanpanah, H., Nazari, A., Sepandar, N., Ahmadian, M., (2013), "Analysis of Sanandaj cold waves in the period 1961-2009", Naional conference on border cities and security, Zahedan, 18-19 April 2013. [In Persian]

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1400.21.76.7.5]