

ارتباط دو الگوی دریای شمال- خزر (NCP) و شرق اروپا- شمال شرق ایران (ENEI) با بسامد رخداد سرماهای فرین دوره سرد سال ایران

سید ابوالفضل مسعودیان^۱ و محمد دارند^{۲*}

^۱استاد، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران
^۲استادیار، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران

(دریافت: ۹۰/۱۱/۱۶، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

چکیده

هدف این پژوهش شناسایی ارتباط بین دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران با بسامد رخداد سرماهای فرین ایران زمین طی دوره سرد سال است. برای اجرای آن از داده‌های میانگین دمای روزانه‌ی ۶۶۳ ایستگاه همید و اقلیمی روی پهنه ایران طی بازه زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ به مدت ۱۵۷۰۶ روز استفاده شد. داده‌های دمای روزانه به کمک روش درون‌یابی فضایی کریگینگ در یاخته‌هایی با ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر درون‌یابی شدند. چون هدف بررسی ارتباط بین رخداد سرماهای فرین هر یاخته در دوره سرد سال با دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران بود یک ماتریس با ابعاد ۷۸۵۳×۷۱۸۷ روز به‌دست آمد که روی سطرها روزها و روی ستون‌ها یاخته‌ها (۷۱۸۷) قرار گرفت. سپس به کمک روش فوجیه و همکاران (۲۰۰۷) بسامد رخداد سرماهای فرین ایران برای هر ماه از دوره سرد سال محاسبه شد. ارتباط بین رخداد سرماهای فرین هر یاخته در هر ماه از دوره سرد سال با دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران به کمک روش همبستگی و رگرسیون خطی برآورد شد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که رخداد سرماهای فرین نیمه غربی کشور ارتباط مستقیم و معنی‌داری با الگوی دریای شمال-خزر دارد. فاز مثبت الگوی دریای شمال-خزر منجر به افزایش رخداد سرماهای فرین در نیمه غربی کشور می‌شود. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که نقش الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران به‌مراتب بیشتر از الگوی دریای شمال-خزر است. به‌طوری‌که نه تنها گستره مکانی مناطق دارای ارتباط معنی‌دار بیشتر است، بلکه شدت ارتباط نیز به‌مراتب بیشتر است. به نظر می‌رسد با توجه به ویژگی‌های دو الگوی مورد بررسی، برای نیمه غربی کشور، بررسی ارتباط بین بسامد رخداد سرماهای فرین با الگوی دریای شمال-خزر و برای کل ایران، الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران نتایج بهتر و دقیق‌تری را برای توجیه بسامد رخداد سرماهای فرین نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سرماهای فرین، الگوی دریای شمال-دریای خزر، الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران

The relation between two patterns North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran (ENEI) with number of extreme cold temperatures in Iran during cold seasons

Masoodian, S. A.¹ and Darand, M.²

¹Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Iran

²Assistance Professor, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran

(Received: 05 Feb 2012, Accepted: 14 May 2013)

Summary

One of the effects of climate change is the possible increase in both frequency and

*نگارنده رابط: تلفن: ۰۸۷۱۶۶۲۸۲۱۱، دورنگار: ۰۸۷۱۶۶۲۰۵۵۰، E-mail: darand_mohammad@gmail.com

intensity of extreme weather events. Extreme weather and climate events have a major impact on ecosystems and human society due to their severity and the fact that they often occur unexpectedly. In warmer climates and during transition seasons, cold extremes have agricultural impacts that are manifested in the damage of crops due to frost. The identification of teleconnections and the analysis of their impact on the atmospheric circulation can be very useful for the understanding of anomalous events at many regions of the planet when one assumes that local forcing may influence the atmosphere circulation at remote locations. Teleconnection patterns are simultaneous correlations in the fluctuations of large scale atmospheric parameters at points on the Earth that are wide apart. The effect of these patterns could be significant throughout the dominant modes of the atmospheric variability. Teleconnection patterns reflect large-scale changes in the atmospheric wave and jet stream patterns, and influence temperature intensity over vast areas. Thus, they are often the culprit responsible for abnormal weather patterns occurring simultaneously over seemingly vast distances. The objective on this study is to clarify whether the frequency of extreme cold temperatures occurrence in Iran during cold period have correlation with North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran (ENEI) .

In order to study the relation between the monthly numbers of extreme cold temperature day number of Iran during cold period with North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran (ENEI), temperature data of 663 synoptic and climatic stations during 1/1/1962 to 31/12/2004 has been used. Then temperature on 15×15 kilometer pixels by using Kriging method interpolated over Iran. A matrix that was 7853×7187 has been created that for this period (7853) located on the rows and pixels on the columns (7187). There is no single definition of what constitutes an extreme event. In defining an extreme event some factors that may be taken into consideration include its magnitude, which involves the notion of the exceeding a threshold. The most general and simple, and so more wide used method for defining an extreme event of temperature is based on the definition of frequency of occurrence of the event. In this study, at first the extreme cold days during cold period recognized with Fumiaki Index. Then for each month during cold period, the number of extreme cold temperature occurrence was calculated. Monthly data during cold period of North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran pattern during study period extracted from NCEP/NCAR data site of United States National Oceanic and aAtmospheric Center. The correlation between the monthly numbers of extreme cold temperature days in Iran during the cold period with North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran (ENEI) was calculated.

After extracting the number of extreme cold day's occurrence for each month during the cold period of the year during the study period, the correlation was calculated with North Sea–Caspian pattern (NCP) and East Europe– Northeast Iran (ENEI). Also, the magnitude of explanation coefficient has been calculated. The map of correlation and explanation coefficient are showed in figures 2 to 6. There is a significant correlation between monthly numbers of extreme cold days during cold period with NCP and ENEI at the 95% confidence level.

The results showed that there is a positive correlation between the monthly numbers of extreme cold temperature days in Iran during cold period with an North Sea–Caspian pattern. The positive phase results in increase of cold extreme days in western part of Iran. The positive phase of North Sea–Caspian pattern (NCP) accompany with positive anomaly of the 500 hPa geopotential height level in the North Sea and negative anomaly in Caspian Sea. This indicates in cold air advection towards Iran especially in the western parts. In January, the correlation for 95% of Iran area is significant and positive. The

highest explained coefficient is observed for the west and northern part of Iran.

Keywords: Extreme cold temperature, North Sea-Caspian pattern, East Europe-Northeast Iran

۱ مقدمه

در ترکیه و همه فلسطین طی فاز مثبت، بارش بیشتری دریافت می‌کنند. در یک پژوهشی دیگر کوتیل و ترکیس (۲۰۰۵) نقش الگوی دریای شمال- خزر را بر رژیم دما و بارش منطقه مرکزی ترکیه بررسی کردند. هنگام رخداد فاز منفی شاخص، دما به طور معنی‌داری بیشتر از فاز مثبت است. همچنین ارتباط معنی‌داری بین فازهای متفاوت این شاخص با بارش منطقه وجود ندارد. تاتلی (۲۰۰۷) نقش الگوی دریای شمال- دریای خزر را بر دمای چارچوب ۵۰ درجه طول غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و صفر تا ۸۰ درجه عرض شمالی بررسی کرد.

گوک‌تُرک و کاراکا (۲۰۰۶) اثر الگوی دریای شمال-خزر را بر هیدرواقليم ترکیه بررسی کردند. نتایج ایشان نیز به نوعی یافته‌های کوتیل و ترکیس (۲۰۰۵) و کوتیل و همکاران (۲۰۰۲) را در مورد نقش الگوی دریای شمال-خزر بر ناهنجاری‌های بارش و رواناب تأیید می‌کند. همچنین یافته‌ها نشان داد که نقش الگوی یاد شده بر بارش فصل زمستان بیشتر است و این ارتباط به صورت معکوس است. گیوندیوز و اُزسوک (۲۰۰۵) نیز نقش الگوی دریای شمال-دریای خزر را بر جریان‌های سطحی در منطقه اوراسیا- مدیترانه بررسی کردند. نتایج آنها روشن ساخت که در شرق مدیترانه، دوره‌های خشک طی فاز مثبت و دوره‌های ترسالی طی فاز منفی شاخص اتفاق می‌افتد. همچنین تأثیر این الگو بسیار بیشتر از شاخص نوسان اطلس شمالی است. پژوهش‌های دیگری نیز در مورد نقش الگوی دریای شمال-خزر بر بارش و دما در منطقه خاورمیانه و اروپا صورت

یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم، تغییر در بسامد و شدت رخداد فرین‌های اقلیمی است. سرماهای فرین به علت شدت و رخداد ناگهانی‌شان تأثیر بسزایی بر زیست‌بوم‌ها و جوامع بشری دارند. سرماهای فرین تحت شرایط خاصی از جو و گردش جوی رخنمود پیدا می‌کنند. ناهنجاری‌های فشار و گردش‌های جوی در مقیاس کلان روی قلمروهای جغرافیایی وسیع که از آنها به نام الگوهای پیوند از دور یاد می‌کنند (اکبری و مسعودیان، ۱۳۸۶) می‌توانند منجر به تغییرات شدید (فرین) بسیاری از سنج‌های اقلیمی شوند (لوپز-بوستینس و همکاران، ۲۰۰۸؛ ویسنت-سیرانو و همکاران، ۲۰۰۹). الگوهای پیوند از دور بسیار زیادی در نیمکره شمالی و جنوبی از سوی پژوهشگران شناسایی و معرفی شده است. شناسایی این الگوها به کمک بررسی و واکاوی فشار تراز دریا (slp) یا ارتفاع ژئوپتانسیل (hgt) در ترازهای گوناگون از جمله ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال صورت گرفته است. این الگوها به صورت دوقطبی (Dipole) با فازهای مختلف منفی و مثبت ظاهر می‌شوند. یکی از الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی، الگوی دریای شمال-خزر است که کوتیل و بناوچ آن را در ۲۰۰۲ عرضه کرده است. طی پژوهشی، کوتیل و همکاران (۲۰۰۲) نقش الگوی دریای شمال-خزر را بر اقلیم شرق مدیترانه بررسی کردند. نتایج آنها روشن ساخت که فاز منفی شاخص منجر به افزایش دما و فاز مثبت منجر به کاهش دما در منطقه می‌شود. تأثیر شاخص روی بارش پیچیده‌تر است. سواحل جنوبی در یونان و ترکیه بارش بیشتری طی فاز منفی شاخص دریافت می‌کنند، در حالی که سواحل شمالی مثل منطقه دریای سیاه

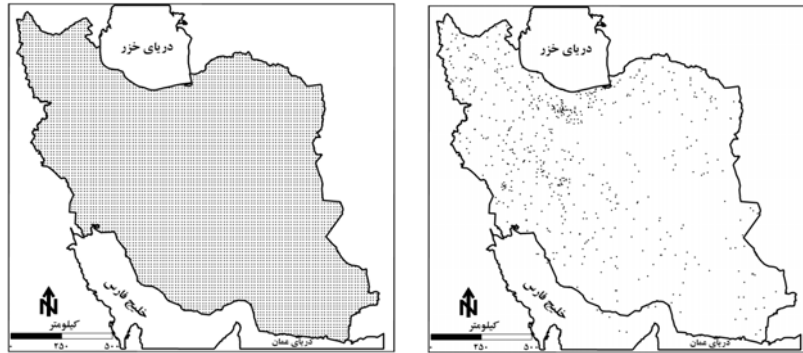
گرفته است. برای نمونه می‌توان به تحقیق (هاتراکي و همکاران، ۲۰۰۷؛ کوستوپولو و جونز، ۲۰۰۷ در شرق مدیترانه؛ براون و پیتکوا، ۲۰۰۷ در بالکان؛ کاظمین و زاتسپین، ۲۰۰۷ در دریای سیاه؛ ترکیس و همکاران، ۲۰۰۹ در ترکیه؛ فلدستاین و دایان، ۲۰۰۸ در فلسطین، حسینیان، ۲۰۰۴ در مصر و برونتی و کوتیل، (۲۰۱۱+) اشاره کرد. به‌طورکلی یافته‌های این پژوهش‌ها اهمیت نقش الگوی دریای شمال-خزر را روی رفتار سنجه‌های اقلیمی به‌ویژه دما و بارش را در خاورمیانه و اروپا نشان می‌دهد. در ایران، قاسمی و خلیلی (۲۰۰۸) نقش الگوی دریای شمال-خزر را بر دمای زمستان ایران بررسی کردند و نشان دادند که بین دمای زمستان ایران و الگوی دریای شمال-خزر ارتباط معنی‌دار و معکوسی وجود دارد. طی فاز منفی الگوی دریای شمال-خزر، چرخند کوچکی روی دریای عرب شکل می‌گیرد و منجر به راندن بادهای غربی به سمت ایران می‌شود و در فاز مثبت چرخند یاد شده از بین می‌رود. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که در سال‌هایی که الگوی دریای شمال-خزر فاز مثبت دارد، روی بخش‌های شمالی ایران و شرق مدیترانه در ترازهای بالای جو ناوه شکل می‌گیرد. در فاز منفی این ناوه ضعیف می‌شود و روی بخش‌های مرکزی اروپا قرار می‌گیرد. ناوه یاد شده ارتباط بسیار نزدیکی با دمای فصل زمستان ایران دارد. پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقی در ارتباط با نقش دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال‌شرق ایران بر بسامد رخداد سرماهای فرین ایران زمین صورت نگرفته است. براین‌اساس در این پژوهش بر آن شدیم تا ارتباط بین دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال‌شرق ایران بر بسامد رخداد سرماهای فرین ایران زمین را مورد بررسی و

واکاوی قرار دهیم.

۲ داده و روش‌شناسی

در این پژوهش به‌منظور شناسایی سرماهای فرین، از داده‌های میانگین دمای روزانه پایگاه داده اسفزاری استفاده شده است. این پایگاه داده به کمک داده‌های میانگین دمای روزانه ۶۶۳ ایستگاه از ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ به مدت ۱۵۷۰۶ روز روی یاخته‌های ۱۵ × ۱۵ کیلومتر به روش کریگینگ درون‌یابی شده است (پایگاه داده اسفزاری را سید ابوالفضل مسعودیان در دانشگاه اصفهان، تهیه کرده است). (شکل ۱). (برای اطلاعات بیشتر در مورد درون‌یابی داده‌ها به کمک روش کریگینگ و مزایای آن می‌توانید به مسعودیان (۱۳۸۴) رجوع کنید). به‌این‌ترتیب دمای ۷۱۸۷ نقطه متفاوت ایران برای دوره‌ای به طول ۱۵۷۰۶ روز از این پایگاه داده برداشت شد. چون هدف بررسی ارتباط بین رخداد سرماهای فرین هر یاخته در دوره سرد سال با دو الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال‌شرق ایران بود یک ماتریس با ابعاد ۷۱۸۷ × ۷۸۵۳ روز به‌دست آمد که روی سطرها روزهای دوره سرد و روی ستون‌ها یاخته‌ها (۷۱۸۷) قرار گرفت. برای شناسایی سرماهای فرین از نمایه انحراف به‌نجار شده دما بهره بردیم (فوجیه و همکاران، ۲۰۰۷). برای محاسبه این نمایه نخست میانگین بلندمدت دما برای هر یک از روزهای تقویمی سال طی دوره سرد سال محاسبه می‌شود تا بتوان انحراف دمای هر روز خاص را نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری در باره سردی یا گرمی آن روز قرار داد. میانگین بلندمدت دماهای هر روز تقویمی به کمک رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$\overline{T(i, j)} = \frac{\sum_{n=1962}^{2004} T(i, j, n)}{N} \quad (1)$$



شکل ۱. موقعیت ۶۶۳ ایستگاه همدید و اقلیمی کشور (سمت راست) و ۷۱۸۷ یاخته با ابعاد ۱۵ × ۱۵ کیلومتر (سمت چپ).

روزبه روز دما دارد و برحسب فصل و منطقه متفاوت خواهد بود. از آنجاکه روی هر نقطه جغرافیایی معین دامنه تغییرات دما در روزهای متفاوت سال می تواند بسیار متفاوت باشد، بنابراین مقادیر مطلق انحراف دما از میانگین بلندمدت هر روز $\Delta T(i, j, n)$ نمی تواند نماینده شدت انحراف دمای آن روز نسبت به دیگر روزهای سال باشد. پس برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان های گوناگون در یک نقطه جغرافیایی و مکان های متفاوت در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند لازم است این مقادیر مطلق به کمک آماره انحراف معیار دما، استاندارد شوند (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰). مقدار پراش دمای هریک از روزهای تقویمی به کمک رابطه (۳) محاسبه شد و برای حذف نوفه ها، میانگین متحرک ۹ روزه سه بار روی آن اعمال شد.

$$\sigma^2(i, j) = \frac{\sum_{n=1962}^{2004} \sum_{j'=j-15}^{j+15} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j')}]^2}{31N} \quad (3)$$

مقدار $\overline{\Delta T(i, j)}$ از رابطه (۴) به دست می آید.

$$\overline{\Delta T_*(i, j)} = \frac{\sum_{n=1962}^{2004} \sum_{j'=j-15}^{j+15} \Delta T_*(i, j', n)}{31N} \quad (4)$$

سرانجام نمایه انحراف دمای استاندارد شده (NTD) از رابطه (۵) محاسبه می شود.

در رابطه (۱) $T(i, j, n)$ دمای روز i ام، ماه j ام و سال n ام طی دوره سرد سال است. چون در این پژوهش از داده های درون یابی شده سال های ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۴ (به طول ۱۵۷۰۶ روز) بهره برده ایم برای محاسبه میانگین بلندمدت دمای هریک از روزهای تقویمی ۴۳ مقدار در دست داشته ایم ($N = 43$). برای از بین بردن نوفه های (*Noise*) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار روی این داده ها اعمال شد. دلیل انتخاب ۹ روز این است که میانگین دوام تیپ های هوای ایران ۹ روز است. به این ترتیب میانگین بلندمدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۶ روز همسایه آن محاسبه می شود. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است. در نتیجه اثرات عوامل زودگذر محلی که موجب نوسان دما شده اند، حذف و اثرات سامانه های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می کنند، تقویت می شود. سپس به کمک رابطه (۲) انحراف دمای هریک از ۷۸۵۳ روز مورد بررسی نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد.

$$\Delta T(i, j, n) = T(i, j, n) - \overline{T(i, j)} \quad (2)$$

در اینجا $\Delta T(i, j, n)$ انحراف دمای روز i ام، ماه j ام و سال n ام نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز تقویمی است. شدت انحراف دما بستگی به تغییرات

در رابطه (۶) $NCPI$ شاخص الگوی دریای شمال-دریای خزر و gpm میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به متر در کرنل مورد نظر است. برای شناسایی فازهای متفاوت این الگو ابتدا مقادیر ماهانه هر الگو به کمک رابطه (۷) استاندارد شد:

$$Z_i = \frac{(NCPI_i - \overline{NCPI})}{\sigma} \quad (7)$$

در رابطه (۷) $NCPI_i$ مقدار ماهانه شاخص دریای شمال-خزر در سال i ، \overline{NCPI} میانگین بلندمدت ماهانه شاخص دریای شمال-خزر و σ انحراف معیار بلندمدت شاخص هستند. در صورتی که Z_i برابر یا بیشتر از ۰/۵ بود، فاز مثبت و اگر برابر یا کمتر از ۰/۵- بود، فاز منفی نام گذاری شد. در صورتی که Z_i بین ۰/۵ تا ۰/۵- باشد، شاخص خنثی است. به طور کلی اگر ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دریای شمال مثبت باشد ولی روی دریای خزر ناهنجاری منفی باشد، فاز مثبت و در غیر این صورت فاز منفی است. این شاخص به نوعی ممکن است که شاخص شرق اطلس-غرب روسیه (EA/WR) را که بارنستون و لیویزی (۱۹۷۸) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال عرضه کرده اند، منعکس کند. اما به نظر کوتیل و بناورج شاخص دریای شمال-دریای خزر بهتر می تواند نحوه این پیوند از دور را نشان دهد. در این پژوهش میزان شاخص از ژانویه ۱۹۶۲ تا دسامبر ۲۰۰۴ (۵۱۶ ماه) استفاده شده است. همچنین بررسی نقشه های مربوط به ارتفاع ژئوپتانسیل (داده های ارتفاع ژئوپتانسیل از پایگاه داده مرکز ملی پیش بینی محیطی و مرکز ملی تحقیقات جوئی ایالات متحده امریکا (NCEP/NCAR) نسخه یک (از سال ۱۹۶۲ تا ۱۹۷۹) و دو (از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۴) استخراج شد. و ناهنجاری آن برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هنگام رخداد سرماهای فرین ایران، نشان داد که هم زمان روی شرق اروپا پشته بسیار قوی و روی

$$x(i, j, n) = \frac{\Delta T(i, j, n)}{\sigma(i, j)} \quad (5)$$

که در آن، $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$ می باشد. برای هر یک از ۷۱۸۷ نقطه متفاوت ایران مقدار نمایه انحراف دمای استاندارد شده به همین روش محاسبه شد. سپس میانگین این نمایه روی ایران برای هر یک از ۷۸۵۳ روز طی دوره سرد سال به دست آمد. برای هر ماه سال طی دوره سرد سال جداگانه تعداد روزهایی که میزان نمایه دست کم ۲- بود شمارش شد. و در نهایت یک ماتریس 7187×258 به دست آمد که روی سطرها ماه های دوره سرد سال و روی ستون ها یاخته ها قرار داشتند. کوتیل و بناورج (۲۰۰۲) برای شناسایی الگوی دریای شمال-دریای خزر میانگین ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای ۶۶ یاخته در کرنل ۳۰ درجه طول غربی تا ۷۰ درجه طول شرقی از ۱۵ درجه تا ۶۵ درجه عرض شمالی بررسی کردند. ایشان برای اجرای آن پژوهش از داده های مرکز ملی پیش بینی محیطی و مرکز ملی تحقیقات جوئی ایالات متحده امریکا (NCEP/NCAR) در بازه زمانی ۱۹۵۸-۱۹۹۸ استفاده کردند. سپس برای هر ماه دوره سرد سال جداگانه همبستگی بین هر یاخته با دیگر یاخته ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ بررسی شد (شکل ۲-الف). هدف از اجرای همبستگی، شناسایی مناطقی با همبستگی معکوس و معنی دار (فازهای متفاوت) است. ایشان دو منطقه را با فازهای متفاوت، یکی در شمال دریای خزر و دیگری روی دریای شمال شناسایی و این الگو را الگوی دریای شمال-دریای خزر نام گذاری کردند (شکل ۲-ب). الگوی دریای شمال-دریای خزر به کمک رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$NCPI = \overline{gpm(0^\circ E, 55^\circ N; 10^\circ E, 55^\circ N)} - \overline{gpm(50^\circ E, 45^\circ N; 60^\circ E, 45^\circ N)} \quad (6)$$

محاسبه شد:

$$ENEI = \overline{gpm}(17.5^{\circ}E, 45^{\circ}N; 37.5^{\circ}E, 62.5^{\circ}N) - \overline{gpm}(55^{\circ}E, 30^{\circ}N; 65^{\circ}E, 42.5^{\circ}N) \quad (8)$$

در رابطه (۸) شاخص الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران و \overline{gpm} میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به متر در کرنل مورد نظر است. همانند الگوی دریای شمال- خزر برای شناسایی فازهای متفاوت این الگو ابتدا مقادیر ماهانه هر الگو به کمک رابطه (۹) استاندارد شد:

$$Z_i = \frac{(ENEI_i - \overline{ENEI})}{\sigma} \quad (9)$$

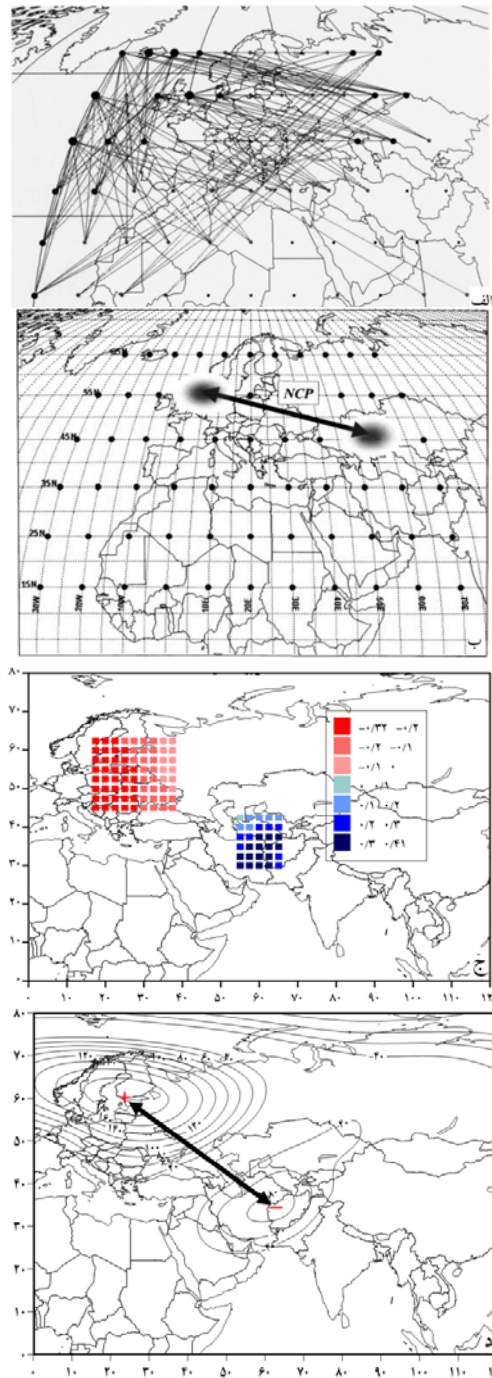
در رابطه (۹) مقدار ماهانه الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران در سال i ، $ENEI_i$ میانگین بلندمدت ماهانه شاخص شرق اروپا- شمال شرق ایران و σ انحراف معیار بلندمدت شاخص است. برای هر کدام از ماه‌های دوره مورد بررسی، مقدار شاخص به دست آمد. در صورتی که Z_i برابر یا بیشتر از ۰/۵ بود، فاز مثبت و اگر برابر یا کمتر از -۰/۵ بود، فاز منفی نام گذاری شد. در صورتی که Z_i بین ۰/۵ تا -۰/۵ بود، شاخص خنثی در نظر گرفته شد. فاز مثبت بیانگر ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی شرق اروپا و ناهنجاری منفی روی شمال شرق ایران زمین است. عکس آن برای فاز منفی صادق است. به کمک رگرسیون خطی نوع همبستگی (مثبت یا منفی) و ضریب تبیین ارتباط ماهانه الگوی دریای شمال- خزر و الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران طی دوره سرد سال با بسامد ماهانه رخداد سرماهای فرین هر کدام از ۷۱۸۷ یاخته در سطح اطمینان ۹۵ درصد در محیط نرم افزار مت‌کب محاسبه شد. سپس در نرم افزار Surfer نوع همبستگی و ضریب تبیین (r^2) تبدیل به نقشه درآمدند.

شمال شرق ایران ناوه عمیقی مشاهده می‌شود. شکل ۲-د ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل را هنگام رخداد سرماهای فرین ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است یک دو قطبی با فازهای مختلف مثبت و منفی روی شرق اروپا (مثبت) و روی شمال شرق ایران (منفی) مشاهده می‌شود. به بیانی دیگر، هنگام رخداد سرماهای فرین ایران روی شرق اروپا ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منجر به ایجاد یک پشته قوی و روی شمال شرق ایران ناهنجاری منفی منجر به ایجاد یک ناوه عمیق می‌شود. بر همین مبنا بهینه‌ترین موقعیت محور پشته و ناوه هنگام رخداد سرماهای فرین ایران در چارچوب مورد بررسی، شناسایی شد. شکل ۲-ج نیز همبستگی بین ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای شاخص شناسایی شده با میزان دمای ایران هنگام رخداد سرماهای فرین را نشان می‌دهد. بر پایه این شکل، بین میزان دمای ایران هنگام رخداد سرماهای فرین با ناهنجاری‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در دو قطب الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران ($ENEI$) رابطه منفی (شرق اروپا) و رابطه مثبت (شمال شرق ایران) دیده می‌شود. به بیانی دیگر ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ در شرق اروپا (شمال شرق ایران) با کاهش (افزایش) دمای ایران هنگام رخداد سرماهای فرین ایران و ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ در شرق اروپا (شمال شرق ایران) با افزایش (کاهش) دمای ایران هنگام رخداد سرماهای فرین ایران همراه است. میانگین مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل ماهانه از ژانویه ۱۹۶۲ تا دسامبر ۲۰۰۴ روی محدوده شناسایی شده برای پشته (ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) و ناوه (ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) حساب شد و الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران ($ENEI$) به کمک رابطه (۸)

۳ بحث نتایج

در این پژوهش برای نشان دادن ارتباط بین الگوی دریای شمال-دریای خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران با رخداد سرماهای فرین ایران زمین، نوع همبستگی (مثبت یا منفی) و میزان ضریب تبیین (r^2) به صورت نقشه آورده شده است. ارتباط بین الگوی دریای شمال-خزر با رخداد سرماهای فرین ایران در ماه ژانویه در شکل ۳ آمده است. در ماه ژانویه حدود ۹۵ درصد از پهنة ایران رابطه معنی دار و مستقیمی با الگوی دریای شمال-خزر دارد. به بیانی دیگر اگر ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی دریای شمال مثبت و روی دریای خزر منفی باشد، رخداد سرماهای فرین ایران در ماه ژانویه افزایش می یابد. در نیمه غربی کشور میزان همبستگی به بیشترین حد خود می رسد. حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از تغییرات رخداد سرماهای فرین در غرب کشور توسط رخداد فاز مثبت الگوی دریای شمال-دریای خزر توضیح داده می شود. در ماه فوریه رخداد سرماهای فرین تنها در ۸ درصد از پهنة ایران با الگوی دریای شمال-دریای خزر ارتباط معنی دار و مثبتی نشان می دهد که از لحاظ مکانی این مناطق روی جنوب غرب، غرب ایران و غرب دریای خزر و همچنین روی اردبیل و تهران قرار دارد. میزان ضریب تبیین نیز نسبت به ماه ژانویه کاهش یافته است. در ماه مارس در ۲۵ درصد از گستره ایران رخداد سرماهای فرین ارتباط معنی داری و مثبتی با الگوی دریای شمال-دریای خزر نشان می دهد. از لحاظ مکانی این مناطق روی نیمه شمالی کشور و به صورت پراکنده روی جنوب غرب و غرب کشور قرار دارند. ضریب تبیین ۱۲ درصد از مناطقی که دارای همبستگی معنی دار هستند، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است.

در ماه نوامبر رخداد سرماهای فرین حدود ۲۰ درصد از پهنة ایران ارتباط معنی دار و مثبتی با الگوی دریای شمال-خزر نشان می دهد. این مناطق روی شمال غرب و



شکل ۲. (الف) همبستگی بین یاخته های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، (کوتیل و همکاران، ۲۰۰۲)، (ب) دوقطبی های شاخص دریای شمال-خزر (کوتیل و بناوچ، ۲۰۰۲)، (ج) همبستگی بین ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یاخته های شاخص شرق اروپا-شمال شرق ایران با رخداد سرماهای فرین ایران و (د) دوقطبی های مربوط به آن به کمک یکی از الگوهای ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل.

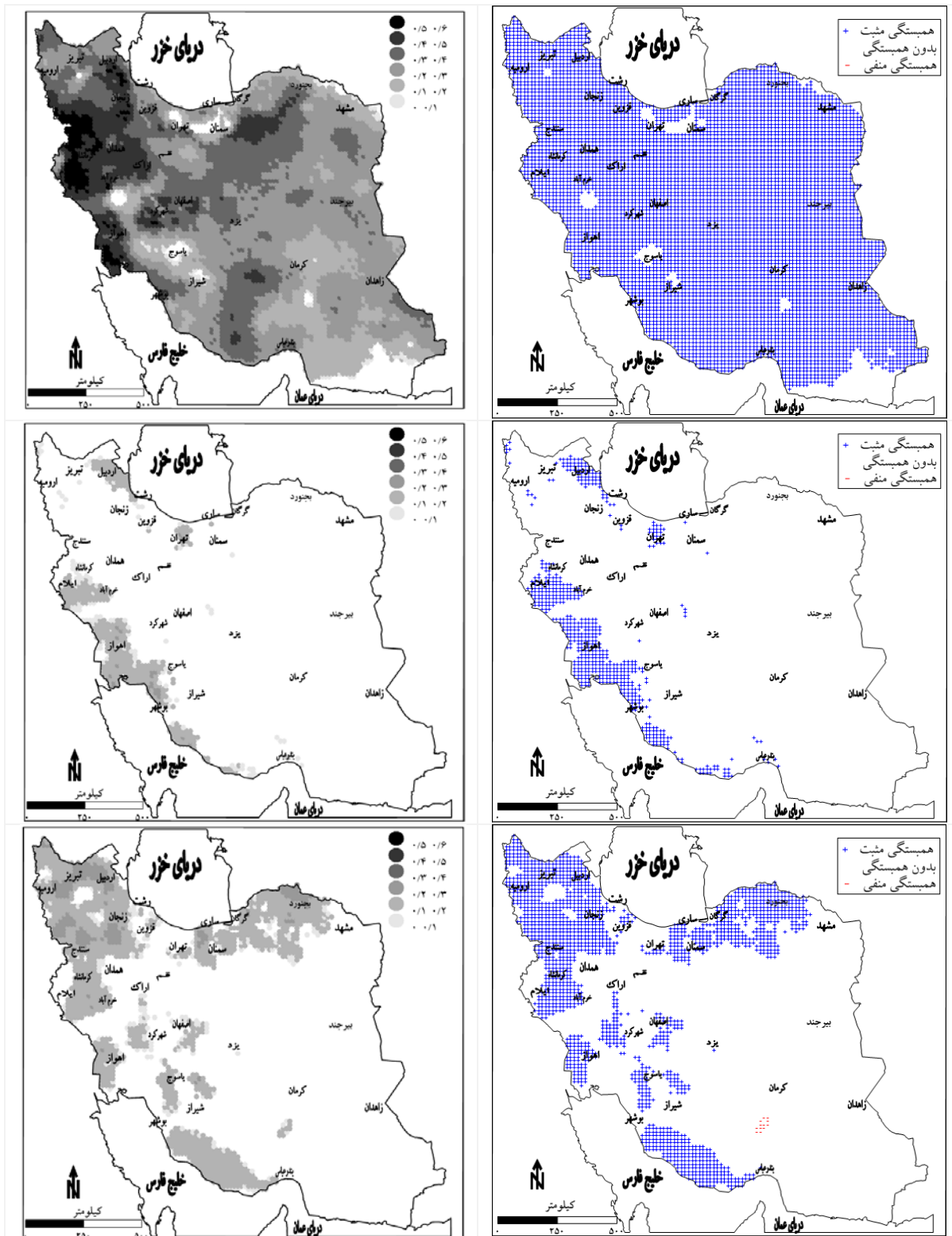
ریزش هوای سرد آن از جانب شمال غرب به سمت ایران زمین خواهد شد. نقشه مربوط به ضریب تبیین در این ماه نشان می‌دهد که روی مناطق بین زنجان، قزوین و سنندج حدود ۰/۶ تا ۰/۷ تغییرات بسامد رخداد سرماهای فرین با این الگو توجه و تبیین می‌شود. برای برخی مناطق دیگر از جمله شمال غرب، غرب و شمال شرق کشور نیز میزان ضریب تبیین به بیش از ۰/۵ می‌رسد. در ماه فوریه و مارس نیز همچنان بسامد رخداد سرماهای فرین درصد بسیار زیادی از گستره ایران زمین ارتباط مستقیم و معناداری با الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران نشان می‌دهند. در ماه فوریه بیشترین ضریب تبیین در اردبیل، جنوب سمنان و گرگان مشاهده شد. به‌طور کلی در نیمه شرقی کشور ارتباط بیشتری دیده می‌شود. در ماه مارس نسبت به سایر ماه‌های فصل زمستان از میزان ارتباط و ضریب تبیین کاسته شده است. روی نوار باریکه جنوبی و شرق کرمان هیچ‌گونه ارتباطی مشاهده نشد. به‌طور کلی در فصل زمستان نه تنها گستره ارتباط معنی‌دار و مثبت بین بسامد رخداد سرماهای فرین ایران با الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران نسبت به الگوی دریای شمال- خزر افزایش یافته است بلکه شدت و میزان ارتباط نیز به مراتب بیشتر است.

غرب کشور قرار دارد. درصد بسیار کوچکی از پهنه ایران بین زاهدان و کرمان ارتباط منفی و معکوس نشان می‌دهد. در ماه دسامبر رخداد سرماهای فرین حدود ۲۳ درصد از پهنه ایران ارتباط معنی‌دار و مثبتی با الگوی دریای شمال- خزر نشان می‌دهد. به لحاظ پراکنش مکانی این مناطق روی نیمه شمالی و غرب کشور قرار دارند. در برخی مناطق از جمله زنجان، سنندج و جنوب ایلام، میزان ضریب تبیین ۰/۲ تا ۰/۳ است.

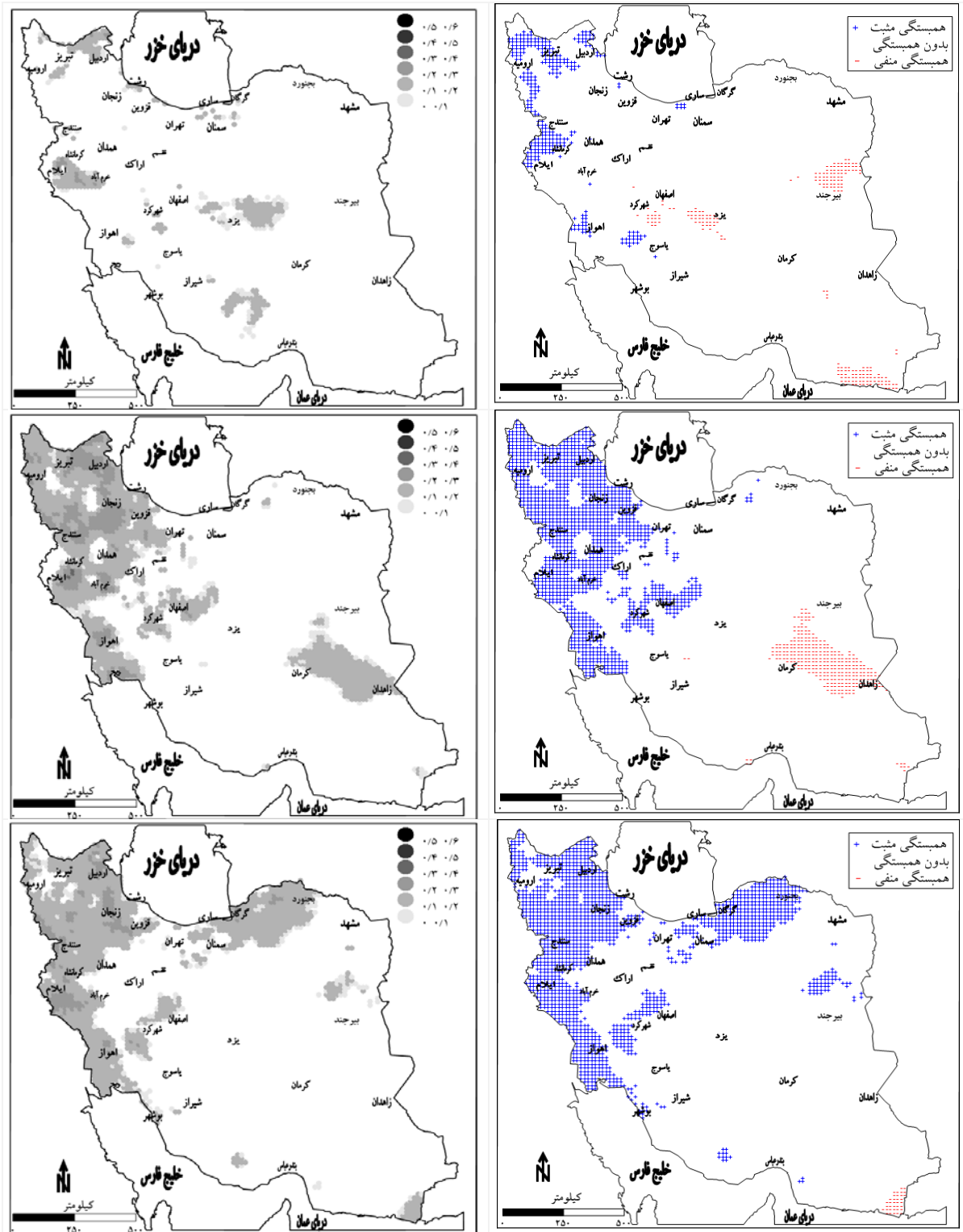
در شکل ۵ نوع همبستگی و ضریب تبیین مربوط به ارتباط بین الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران در فصل زمستان آمده است. همان‌طور که قابل ملاحظه است بسامد رخداد سرماهای فرین ۹۶/۳ از پهنه ایران زمین ارتباط مستقیم و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران نشان می‌دهد. به‌بیانی دیگر فاز مثبت الگوی یادشده منجر به افزایش بسامد رخداد سرماهای فرین ایران زمین خواهد شد. همان‌طور که گفته شد در فاز مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی شرق اروپا ناهنجاری مثبت از خود نشان می‌دهد در حالی که روی شمال شرق ایران ناهنجاری منفی است. چنین آرایشی از ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منجر به تقویت سامانه واچرخندی روی شرق اروپا و

جدول ۱. درصدی از پهنه که رخداد سرماهای فرین در آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارتباط معنی‌داری با الگوی دریای شمال- خزر نشان می‌دهد.

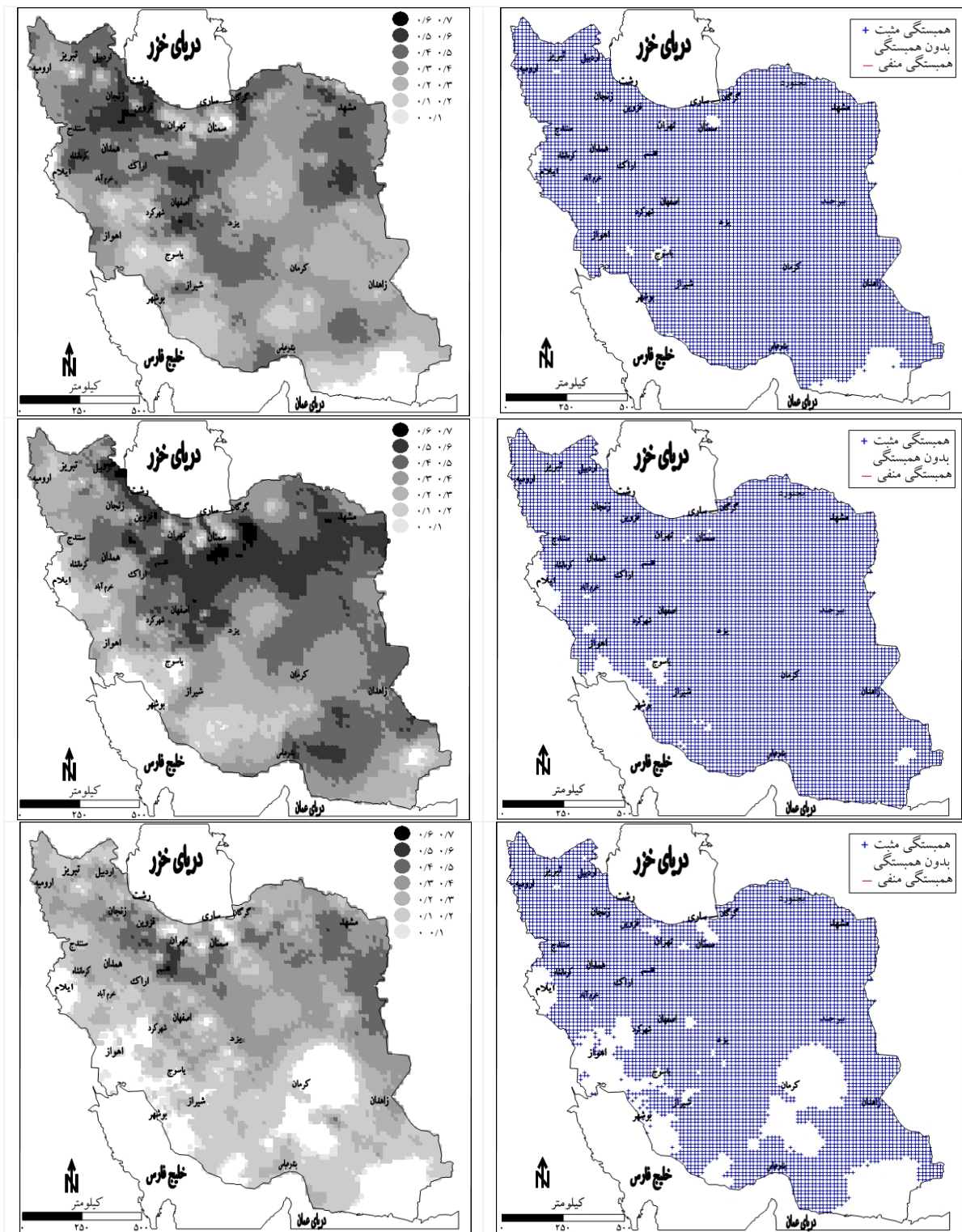
دسامبر	نوامبر	اکتبر	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۲۲/۷	۱۹/۷	۴/۲	۷/۱	۱۲/۳	۲۵/۳	۲۴/۷	۸	۹۵	همبستگی مثبت
۷۶/۸	۷۵/۸	۹۲/۹	۸۸/۹	۷۷/۵	۷۴/۷	۷۵/۱	۹۲	۵	بدون همبستگی
۰/۵	۴/۵	۲/۹	۴	۱۰/۲	۰	۰/۲	۰	۰	همبستگی منفی



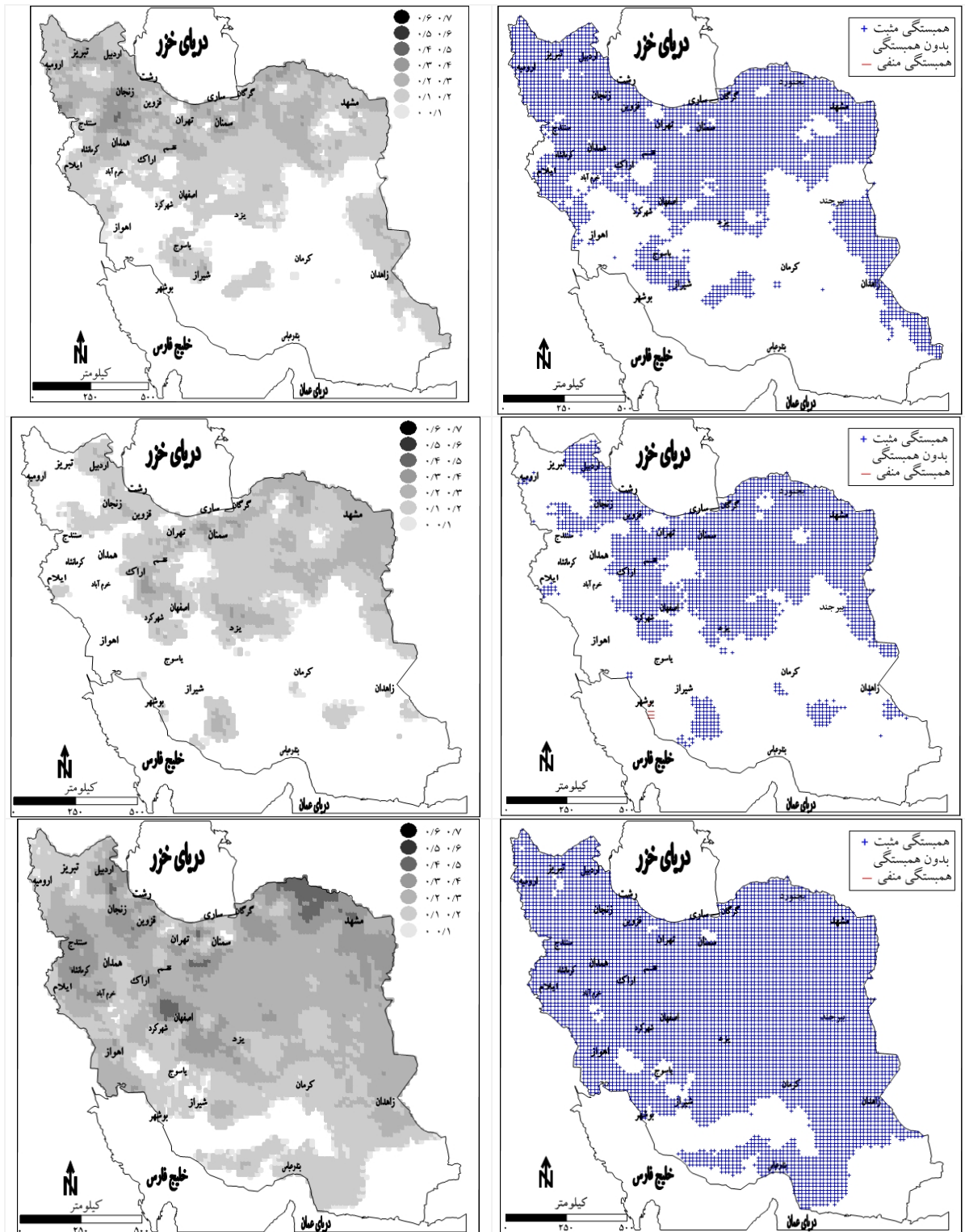
شکل ۳. همبستگی بین الگوی دریای شمال-خزر با رخداد سرمایه‌های فرین (سمت راست) و میزان ضریب تبیین (سمت چپ) در فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب از بالا به پایین).



شکل ۴: همبستگی بین الگوی دریای شمال- خزر با رخداد سرماهای فرین (سمت راست) و میزان ضریب تبیین (سمت چپ) در فصل پاییز (اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب از بالا به پایین).



شکل ۵. همبستگی بین الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران با رخدادهای سرمایه‌های فرین (سمت راست) و میزان ضریب تبیین (سمت چپ) در فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب از بالا به پایین).



شکل ۶. همبستگی بین الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران با رخداد سرماهای فرین (سمت راست) و میزان ضریب تبیین (سمت چپ) در فصل پاییز (اکتبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب از بالا به پایین).

جدول ۲. درصدی از پهنه که رخداد سرمایه‌های فرین در آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارتباط معنی‌داری با الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران نشان می‌دهند.

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	اکتبر	نوامبر	دسامبر
همبستگی مثبت	۹۶/۳	۹۶/۸	۸۲/۴	۱۰	۶۸/۳	۲/۱	۵۱/۹	۳۹/۵	۸۴/۶
بدون همبستگی	۳/۷	۳/۲	۱۷/۶	۹۰	۳۱/۷	۹۷/۵	۴۸/۱	۶۰/۴	۱۵/۴
همبستگی منفی	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴	۰	۰/۱	۰

۴ نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، بررسی ارتباط بین الگوی دریای شمال-خزر و شرق اروپا-شمال شرق ایران با رخداد سرمایه‌های فرین ایران طی دوره سرد سال بود. نتایج نشان داد که بین الگوی دریای شمال-خزر و بسامد رخداد سرمایه‌های فرین ایران طی دوره سرد سال در سطح اطمینان ۹۵ درصد، همبستگی معنی‌داری وجود دارد. رخداد سرمایه‌های فرین ایران در گستره وسیعی از ایران به‌ویژه در نیمه شمالی و غرب کشور ارتباط معنی‌دار و مستقیمی با الگوی دریای شمال-خزر نشان می‌دهد. به‌بیانی دیگر، فاز مثبت الگوی دریای شمال-خزر منجر به افزایش رخداد سرمایه‌های فرین ایران در این مناطق می‌شود. فاز مثبت برابر با ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی دریای شمال و ناهنجاری منفی روی دریای خزر است. هوای سرد عرض‌های شمالی اروپا و غرب روسیه در فاز مثبت الگو به سمت ایران به‌ویژه نیمه غربی کشور ریزش می‌کند. در فاز مثبت الگوی دریای شمال-خزر، گستره‌ای از ایران که رخداد سرمایه‌های فرین آن ارتباط معنی‌داری نشان می‌دهد، بسیار وسیع است. نتایج این پژوهش به‌نوعی یافته‌های کوتیل و بناوچ (۲۰۰۲)، کوتیل و ترکیس (۲۰۰۵) و قاسمی و خلیلی (۲۰۰۸) را در مورد تأثیر این الگو بر دمای منطقه تأیید می‌کند. همچنین یافته‌های این پژوهش روشن ساخت که

در ماه اکتبر روی نیمه شمال کشور ارتباط بین الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران با بسامد رخداد سرمایه‌های فرین ایران ارتباط معنی‌دار و مستقیمی دیده می‌شود. روی نوار باریکی از شرق کشور و روی برخی مناطق استان فارس نیز ارتباط مستقیم و معنی‌دار مشاهده می‌شود. در شمال غرب کشور ضریب تبیین این ارتباط به ۰/۳ تا ۰/۴ می‌رسد. در ماه نوامبر روی حدود ۴۰ درصد از گستره ایران ارتباط معنی‌دار است که از اردبیل، زنجان و شهرکرد تا شمال شرق کشور را در بر دارد. در ماه دسامبر گستره مکانی ارتباط معنی‌دار افزایش یافته است و به حدود ۸۵ درصد گستره ایران رسیده است که به جز برخی مناطق جنوبی، روی سایر مناطق ارتباط مستقیم و معنی‌دار است. روی شمال غرب استان اصفهان و استان خراسان شمالی بیشترین میزان همبستگی و ارتباط مشاهده شد. به‌طور کلی در فصل پاییز نقش الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران روی بسامد رخداد سرمایه‌های فرین ایران در مقایسه با الگوی دریای شمال-خزر بیشتر است. الگوی دریای شمال-خزر در این فصل از سال تنها ارتباط معنی‌دار و مستقیمی با نیمه غربی و شمال غرب کشور نشان می‌دهد در حالی که الگوی شرق اروپا-شمال شرق ایران روی گستره بیشتری از ایران زمین ارتباط نشان می‌دهد.

- explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **11**, 2881-2888.
- Feldstein, S. B. and Dayan, U., 2008, Circumglobal teleconnections and wave packets associated with Israeli winter precipitation, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 455-467.
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K. and Nakamigawa, H., 2007, Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *papers in Meteorology and Geophysics*, **58**, 63-72.
- Ghasemi, A. R. and Khalili, D., 2008, The effect of the North Sea-Caspian pattern (NCP) on winter temperatures in Iran, *Theor. Appl. Climatol.*, **92**, 59-74.
- Gokturk, O.M. and Karaca, M., 2006, Influence of North Sea- Caspian Pattern on the hydroclimate of Turkey, *Geophys Res Abs*, **8**, 00314.
- Gunduz, M. and Ozsoy, E., 2005, Effects of the North Sea Caspian Pattern on surface fluxes of Euro-Asian-Mediterranean Seas, *Geophys Res Lett.*, **32**, 1-4.
- Gunduz, M. and Ozsoy, E., 2005, Influence of the North Sea- Caspian Pattern (NCP) on the air fluxes in the Mediterranean, Black and Caspian Seas region, *EMS Annual Meeting Abstracts*, **1**, 00027.
- Hasanean, H. M., 2004, Wintertime surface temperature in Egypt in relation to the associated atmospheric circulation, *Int. J. Climatol.*, **24**, 985-999.
- Hatzaki, M., Flocas, H. A., Asimakopoulos, D. N. and Maheras, P., 2007, The eastern Mediterranean teleconnection pattern: identification and definition, *Int. J. Climatol.*, **27**, 727-737.
- Kazmin, A. S. and Zatsepin, A. G., 2007, Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the largescale atmospheric forcing, *J. Marine Syst.*, **68** 293-301.
- Kostopoulou, E. and Jones, P. D., 2007, Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean, Part II: relationships between atmospheric circulation patterns and surface climatic elements, *Int. J. Climatol.*, **27**, 1351-1371.
- Kutiel, H. and Benaroch, Y., 2002, North Sea-Caspian Pattern (NCP)-unupper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: identification and definition, *Theor. Appl. Climatol.*, **71**, 17-28.
- الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران ارتباط معنی دار و مستقیمی با بسامد رخداد سرماهای فرین ایران دارد. به طور کلی نقش این الگو به مراتب بیشتر از الگوی دریای شمال- خزر است. نه تنها گستره مکانی ارتباط معنی دار بسامد رخداد سرماهای فرین ایران با الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران بیشتر است بلکه شدت ارتباط نیز به نسبت بیشتر است. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می رسد که برای نیمه غربی و شمال غرب کشور، بررسی ارتباط بین بسامد رخداد سرماهای فرین با الگوی دریای شمال- خزر و برای کل ایران، الگوی شرق اروپا- شمال شرق ایران نتایج بهتر و دقیق تری را برای توجیه بسامد رخداد سرماهای فرین نشان می دهد.
- تشکر و قدردانی**
- از داوران گرامی و دلسوز به پاس راهنمایی های بی دریغ و دلسوزانه شان در جهت ارتقای علمی این مقاله، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.
- مراجع**
- اکبری، ط. و مسعودیان، ا.، ۱۳۸۶، شناسایی نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی بر دمای ایران، م. پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۱(۲۲)، ۱۱۷-۱۳۲.
- مسعودیان، ا. و دارند، م.، ۱۳۹۰، تحلیل همیدید سرماهای فرین ایران، جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۸۵-۱۶۵.
- مسعودیان، ا.، ۱۳۸۴، شناسایی رژیم های بارش ایران به روش تحلیل خوشه ای، پژوهش های جغرافیایی، ۵۲، ۴۷-۵۹.
- Barnston, A. G, Livezey, R. E., 1987, Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- Brown, R. D. and Petkova, N., 2007, Snow cover variability in Bulgarian mountainous regions, 1931-2000, *Int. J. Climatol.*, **27**, 1215-1229.
- Brunetti, M. and Kutiel, H., 2011, The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in

- Tatli, H., 2007, Synchronization between the North Sea–Caspian pattern (NCP) and surface air temperatures in NCEP, *Int. J. Climatol*, **27**, 1171-1187.
- Turkes, M., Koc, T. and Saris, F., 2009, Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey, *Int. J. Climatol.*, **29**, 1056-1074.
- Vicente-Serrano, S. M., Santiago Begueria., J. and López-Moreno, I., 2009, Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in northeast Spain: Role of the North Atlantic Oscillation, the Western Mediterranean Oscillation, and the Mediterranean Oscillation, *Journal of Geographical Research*, **114**, 1-19.
- Kutiel, H., Maheras, P., Turkes, M. and Paz, S., 2002, North sea-caspian pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern mediterranean – implications on the regional climate, *Theor Appl Climatol*, **72**, 173-192.
- Kutiel, H. and Turkes, M., 2005, New evidence for the role of the North Sea-Caspian Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey, *Geografiska Annaler: Series A, Phys Geography*, **87**, 501-513.
- Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., and Sanchez-Lorenzo, A., 2008, Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns, *Global Planet, Change*, 171–176.