

Evaluating the effect of simultaneous occurrence of Quasi-Biennial Oscillation phases with North Atlantic Oscillation and Arctic Oscillation phases on Iran's winter temperature

Bromand Salahi ^{*1}, Vahid Khojasteh Gholami³

1- Professor of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Ph.D. Student of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 26 June 2023

Accepted: 11 November 2023

Extended Abstract

Introduction

Earth's climate is not constant, and environmental changes are the result of changing climate systems. Temperature is one of the basic elements in climate and its change can cause changes in the climate structure of other regions. In atmospheric sciences, the relationship between circulation patterns in distant places and their relationship with the climate of different regions is called teleconnection. Teleconnection indices are known as factors affecting the climate on a large scale, and their effects on precipitation and temperature have been studied. The quasi-biennial oscillation is one of the main components on a global scale in the mantle layer with an average period of 26 months and is considered one of the main components in short-term climate fluctuations. The North Atlantic Oscillation indicates the westerly winds over the Atlantic Ocean, indicating the pressure difference between the northern latitudes (Iceland region) and the temperate latitudes (Azores region). The Arctic Oscillation is one of the most prominent patterns of sea level pressure changes in high latitudes (20° Northern Hemisphere). Considering the geographical location of Iran and consequently the influence of different weather masses from high latitudes, it is essential to know the factors affecting the climate of this region. The main aim of this study is to determine the role of the simultaneous occurrence of QBO with NAO and AO teleconnections on winter temperature in Iran.

Methodology

In this study, the average monthly temperature data of 100 selected stations in Iran obtained from the Iranian Meteorological Organization (IMO) and Tele-connection indices including QBO, NAO, and AO extracted from the National Oceanic and Atmospheric Organization (NOAA) for a statistical period of 30 years (1988-2019) were investigated. First, all data were sorted by weather seasons (December–January and February). To determine the Pearson correlation coefficient, monthly data as the dependent variable and Tele-connection indices as the independent variable were analyzed in STATISTICA software. The main purpose of this study was to investigate the simultaneous effect of North Atlantic Ocean Oscillations and Atlantic Oscillations with Quasi-Biennial Oscillation, their positive and negative phases were identified. In this way, for North Atlantic Ocean Oscillations and Atlantic Oscillation numbers less than -0.5 negative phase, numbers between 0.5 and -0.5 neutral phase, and more than 0.5 were considered positive phase. Considering that the range of changes in the cycle of quasi-

*. Corresponding Author (Email: salahi@uma.ac.ir).

biennial fluctuations is very large, in order to determine the phases of this cycle, after standardizing the existing values, its positive and negative phases were determined. In the next step, the monthly temperature anomalies for the mentioned months were calculated and their spatial distribution was zoned using the Inverse distance weighting (IDW) method.

Results and Discussion

The results of the research indicate that there is an inverse and significant relationship between the positive QBO phases and February temperature in most of the northern and western regions so, the highest correlation coefficient was calculated at Ilam station as -0.81. There is a significant inverse relationship between NAO and AO teleconnection with temperature in northern and western parts, especially in February and January, so the highest correlation coefficient up to -0.66 with the Arctic Oscillation index was observed in Tabriz station. The warmest and coldest winters of the statistical period coincided with the simultaneous occurrence of negative and positive phases of NAO and AO (the very warm winter of 2010 and the very cold winter of 2008). The coincidence of the positive phases of NAO and AO with positive phases of QBO causes normal and subnormal temperatures in most regions of the country, especially in the eastern half. Contrary to this situation, the coincidence of the positive phases of NAO and AO with the negative phases of quasi-biennial fluctuations has no coherent and regular effect on temperature changes. The coincidence of the negative phases of NAO, and AO with the negative phases of QBO causes normal and higher-than-normal temperatures in most of the western half of Iran, especially in the northwest so, the warmest winters of the statistical period have happened in this case (December 2009, January and February 2010). The coincidence of the positive phases of North Atlantic Oscillations and Arctic Oscillations with the neutral phases of quasi-biennial oscillations provides the conditions for the occurrence of below-normal temperatures in most parts of Iran, especially in the western parts of Iran. If, contrary to this situation, the coincidence of the negative phases of the North Atlantic oscillations and the Arctic Oscillations with the neutral phases of the quasi-biennial oscillations does not have a tangible effect on the winter temperature anomaly, and only the possibility of a temperature much warmer than normal seems unlikely.

Conclusion

The results showed that the simultaneous occurrence of positive phases of NAO and AO with positive phases of QBO causes normal and lower-than-normal temperatures in half of eastern Iran. The coincidence of the negative phases of NAO and AO with the negative phases of QBO causes higher-than-normal temperatures in most of the western half of Iran. Also, the simultaneous occurrence of neutral phases of QBO with positive phases of NAO and AO causes normal and lower-than-normal temperatures in most regions of Iran except the southern and southeastern parts. If exactly opposite to this situation, the simultaneous occurrence of neutral phases of QBO with negative phases of NAO and AO does not have a noticeable effect on temperature changes, and only the possibility of much hotter than normal temperatures in these conditions seems unlikely.

Keywords: AO, Iran, NAO, QBO, Winter Temperature.

ارزیابی تأثیر رخداد هم‌زمان فازهای نوسانات شبه‌دوسالانه با فازهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان بر دمای زمستانه ایران

برومند صلاحی^۱ - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
وحید خجسته غلامی، دانشجوی دکترای جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵

چکیده

افت و خیز دما کم‌وبیش تحت تأثیر دورپیوندها می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی نقش هم‌زمان دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با نوسانات شبه‌دوسالانه^۲ بر دمای فصل زمستان در ایران است. بدین منظور از داده‌های دمایی ۱۰۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۹ استفاده شد. ضرایب همبستگی میان داده‌های دورپیوندی NAO، QBO و AO با دمای ماهانه محاسبه شد. سپس حالات ممکن برای رخداد هم‌زمان الگوهای دورپیوند تعیین شد و بی‌هنجاری دمایی برای حالات تعیین شده با ترسیم نمودار و نقشه در محیط GIS تحلیل شد. نتایج نشان داد که ارتباط معکوس و معنی‌داری بین فازهای مثبت نوسانات شبه‌دوسالانه با دمای ماه فوریه در اغلب مناطق شمالی و غربی وجود دارد بطوریکه بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه ایلام به مقدار ۰/۸۱- محاسبه گردید. همچنین ارتباط معکوس و معنی‌داری بین دورپیوندهای NAO^۳ و به‌ویژه AO با دمای نیمه شمالی و غربی بخصوص در ماه‌های ژانویه و فوریه مشاهده گردید. هم‌زمانی رخداد فازهای منفی (مثبت) NAO و AO با فازهای منفی (مثبت) QBO موجب وقوع دمای بیشتر از نرمال (نرمال و کمتر از نرمال) در نیمه غربی (شرقی) می‌شود. بطوریکه گرم‌ترین زمستان‌های دوره آماری در هنگام رخداد هم‌زمان فازهای منفی NAO، AO و QBO اتفاق افتاده است. از طرفی رخداد هم‌زمان فازهای خنثای QBO با فازهای مثبت NAO و AO موجب وقوع دمای نرمال و کمتر از نرمال در اغلب مناطق به‌جز بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی می‌شود در صورتیکه بر خلاف این حالت، هم‌زمانی فازهای خنثای QBO با فازهای منفی NAO و AO موجب عدم رخداد ناهنجاری شدید دمایی شده و احتمال وقوع دمای بیشتر از نرمال با شدت بالا بعید به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: ایران، نوسانات شبه‌دوسالانه، دمای زمستانه، NAO، AO

مقدمه

آب و هوا یکی از عوامل مهم و اثرگذار بر زندگی انسان است (حجازی زاده و کربلائی درئی، ۱۳۹۴: ۲۲). دما یکی از عامل‌های اصلی شکل‌گیری آب و هوا بوده که نقش مهمی در فعالیت‌های انسانی ایفا می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۸) بطوریکه دما را می‌توان یکی از مهم‌ترین عناصر سامانه اقلیمی دانست (میریان و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۰). در علوم جوی رابطه بین الگوهای گردشی در نقاط دور و ارتباط آن‌ها با آب و هوای مناطق مختلف دورپیوند نامیده می‌شود (علیچانی، ۱۳۸۱: ۲۱۶)؛ این الگوها منعکس‌کننده بخش مهمی از تغییرپذیری سالانه و دهه‌ای چرخش اتمسفری هستند (صلاحی و حاجی‌زاده، ۱۳۹۲: ۱۱۹). از سوی دیگر نمایه‌های دورپیوندی به‌عنوان عوامل مؤثر بر اقلیم در مقیاس بزرگ شناخته شده و تأثیر آن‌ها بر بارش، خشک‌سالی، دوره‌های گرم و خشک و ... مورد مطالعه قرار گرفته است (هلالی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۹۲۲). پس می‌توان پیوند از دور را یکی از کلیدهای پیش‌بینی اقلیمی قلمداد کرد (خسروی، ۱۳۸۳: ۱۶۹). هدف مطالعه حاضر، تحلیل و بررسی تأثیر هم‌زمان الگوهای دورپیوندی نوسان شمالگان، نوسان اطلس شمالی و نوسانات شبه‌دوسالانه بر دمای زمستانه ایران است.

اولین مطالعات داخلی انجام شده در زمینه دور پیوند به دهه ۷۰ شمسی بر می‌گردد که اغلب آن‌ها معطوف به دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و انسو بوده است (غلامی رستم و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۴). نوسان شبه دوسالانه تأثیر مهمی بر تاوه قطبی لایه استراتوسفر در زمستان نیمکره شمالی دارد (Zhou and Fan, 2023: 705). این شاخص با تأثیر بر روی تاوه قطبی و تغییر بر روی الگوهای جوی می‌تواند بر روی اقلیم سطح زمین اثر بگذارد و همچنین با تأثیر بر روی مقدار انتشار و تخلیه ازون در روی عرض‌های جغرافیایی بالا، ارتباط با چرخه‌های خورشیدی و هم پیوندی با دورپیوندهایی دیگر نظیر انسو اقلیم سیاره زمین را تحت تأثیر قرار دهد (Young et al, 2013: 17). از طرفی لی و همکاران (Lee et al, 2010: 5) در بررسی اثرات QBO و ENSO بر دما و اوزون در منطقه شادوز به این نتیجه رسیدند که میزان دما و اوزون به‌صورت مستقیم در مقابل QBO کاهش می‌یابد و زمانی که انسو رخ می‌دهد میزان اوزون وردسپهری دارای جهش و سیگنال‌های مهمی است. علاوه بر این اثر شاخص QBO بر متغیرهای دمایی و تابشی در مقالات (Kunze et al, 2012, 142) بررسی شده و آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اثرات فعالیت‌های خورشیدی و QBO بر دما و فشار تراز دریا در لایه‌های پایینی جو با استفاده از نقشه‌های فشار و داده‌های عددی قابل اثبات است. همچنین (Hansen et al, 2016: 1355) در بررسی ارتباط بین شاخص‌های QBO و ENSO به این نتیجه رسیدند که اثرات QBO به هنگامی که در زمستان نیمکره شمالی لانینا حاکم است به سمت وردسپهر در شمال اقیانوس آرام گسترش می‌یابد و جت جنب حاره در این موقع در طی فاز شرقی QBO به نسبت فاز غربی به سمت عرض‌های بالایی جابجا می‌شود. مطالعات (Park and Son, 2022: 39) نشان می‌دهد که رخداد فازهای غربی QBO موجب کاهش دمای هوا در ماه مارس در کره‌ی شمالی می‌شود. (Adam et al, 2009: 2) با استفاده از نقشه‌های همدیدی اثرات فازهای متفاوت نوسان شبه‌دوسالانه در فصل زمستان در قاره اروپا را از طریق تأثیرگذاری بر نوسان قطبی بخصوص در ماه دسامبر مشاهده کردند. فازهای شرقی QBO با تضعیف بادهای غربی تجارتي به پدیده بلاکینگ در عرض‌های جغرافیایی بالا کمک می‌کنند (Chaim, 2011: 2028). همچنین اثرات این دور پیوند مانند تغییر بارش‌های موسمی در فصل زمستان در نیمکره شمالی به اثبات رسیده است (Yoshio, 2011: 268). بارزترین ویژگی نوسان اطلس شمالی نسبت به دورپیوندهای دیگر فعالیت آن در طول سال و گستردگی تأثیرات آن است (امیدوار

و جعفری، ۱۳۹۳: ۷۳). این شاخص نقش بسیار مهمی بر دمای زمستانه منطقه آسیا و اروپا دارد (Song et al, 2023: 4). بر اساس مطالعات (Ghasemi and Khalili, 2008: 64) فازهای مثبت شاخص نوسان شمالگان احتمال رخداد دمای زیر نرمال را افزایش می‌دهند. همچنین (Hyun et al, 2018: 77) ترکیب فازهای منفی شاخص مادون-جولیان با فاز مثبت شاخص نوسان شمالگان را موجب کاهش دمای منطقه جنوب و جنوب غرب آسیا عنوان می‌کنند.

در راستای تأثیرات دورپیوند QBO بر متغیرهای اقلیمی در ایران تنها تحقیقات انگشت‌شماری انجام شده است؛ که به نمونه می‌توان به مطالعات اسبقی و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر تأثیر QBO بر روی جرم تاوله قطبی در فصل زمستان، مهرزاد و همکاران (۱۳۹۸) مبنی بر تأثیر فازهای QBO بر بارش‌های جنوب ایران و خدادادی و همکاران (۱۴۰۱) مبنی بر تأثیر QBO بر روی شکست امواج در منطقه مدیترانه اشاره کرد. در تحقیق حاضر برای اولین بار تأثیر هم‌زمان دورپیوند QBO با دورپیوندهای نوسان شمالگان و نوسان اطلس شمالی بر دمای زمستانه ایران بررسی شده است که این می‌تواند به عنوان نوآوری این پژوهش محسوب گردد. تغییر دما، موضوعی است که امروزه مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۴). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌داری میان تغییرات دمایی ایران و دورپیوندها وجود دارد (هلالی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۹۲۳). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و به تبع آن، نفوذ توده‌های مختلف آب و هوایی از عرض‌های بالا و جنب حاره (خسروی و همکاران، ۱۳۸۶) و تغییرات شدید دمایی آن (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۶) بخصوص در فصل زمستان (احمدی و داداشی، ۱۳۹۸: ۹۵) و از طرفی تأثیر محسوس دورپیوندهای نوسان شمالگان، نوسان اطلس شمالی و نوسانات شبه دوسالانه بر آب و هوای ایران و همچنین عدم انجام مطالعات درباره تأثیرات هم‌زمان دورپیوند QBO با دورپیوندهای دیگر بر آب و هوای ایران، لذا بررسی هم‌زمان تأثیر فازهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با دورپیوند QBO بر دمای ایران از اهمیت بالایی برخوردار است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است.

مبانی نظری

دما یکی از عناصر اساسی در آب و هوا بوده و تغییر در آن می‌تواند موجب تغییر در ساختار آب و هوای مناطق دیگر شود (Asakareh et al, 2019: 114). این عنصر یکی از عناصر مهم در برنامه‌ریزی و تدوین راهبردها بوده و یکی از عامل‌های مهم محیطی می‌باشد (جاهدی، ۱۴۰۱: ۴۴۱). در میان عناصر اقلیمی اندازه‌گیری دما در مقایسه با سایر عناصر اقلیمی از سابقه بیشتری برخوردار است، زیرا تغییر آن منشأ بسیاری از تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳۰). نوسان شبه دوسالانه یکی از مؤلفه‌های اصلی در مقیاس سیاره‌ای در لایه پوش-سپهر با میانگین دوره‌ی تناوب ۲۶ ماهه می‌باشد (Balachandron et al, 1999: 113) و یکی از اجزای اصلی در نوسان‌های کوتاه‌مدت آب‌وهوایی به شمار می‌آید (Brazdil et al, 1995: 5). این شاخص همچون شاخص‌های دورپیوندی دیگر نظیر انسو، ناو و... دارای دو فاز مثبت و منفی می‌باشد که در واقع فازهای مثبت نشانگر جهت غربی باد در لایه پوش‌سپهر حاره‌ای و فازهای منفی نشان دهنده جهت شرقی باد در لایه مذکور است. پایداری زمانی فاز شرقی تقریباً دو برابر مدت زمان در فاز غربی بوده و حرکت روبه پایین بادهای شرقی نامنظم‌تر از بادهای غربی است (James et al, 2010: 1404).

نوسان شبه دوسالانه، آب و هوای لایه‌های تروپوسفر و استراتوسفر را با تأثیر بر الگوهای گردشی جو کنترل می‌کند (Wenwen and Hong, 2023: 924). نوسان اطلس شمالی مهم‌ترین الگوی دور پیوندی است که در تمام طول سال

در نیمکره‌ی شمالی فعال است. این شاخص نتیجه برهمکنش میان جو و اقیانوس در اقیانوس اطلس شمالی بوده (حداد و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۹۱) و نشان‌دهنده‌ی بادهای غربی بر روی اقیانوس اطلس می‌باشد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۶) که بیانگر اختلاف فشار بین عرض‌های منطقه ایسلند و منطقه آروز است (Ismail et al, 2020: 101). نوسان شمالگان اولین الگوی دورپیوندی فعال در منطقه جنب حاره در میانه زمستان است (Midhuna and Dimri, 2018: 1158). این الگو یکی از برجسته‌ترین الگوهای تغییرات فشار تراز دریا در عرض‌های جغرافیایی بالا (۲۰ درجه نیمکره شمالی) است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۹۰: ۱۵۰). این الگو در ابتدا به شکل تقارن مداری و حرکت الاکلنگی توده‌های جوی میان حوضه شمالگان و عرض‌های میانه شناخته شد (حجتی و مسعودیان، ۱۳۹۷: ۵۷۸).

روش پژوهش

در این پژوهش داده‌های میانگین دمای ماهانه ۱۰۰ ایستگاه منتخب از وبگاه سازمان هواشناسی کشور و شاخص‌های دور پیوندی شامل NAO, QBO, AO و از وبگاه سازمان اقیانوس‌شناسی آمریکا (NOAA) برای دوره آماری سی‌وسه ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۹) به‌عنوان داده‌های پایه دریافت و مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا همه‌ی داده‌ها به‌صورت فصول اقلیمی (یانگ و های، ۲۰۱۵) و متناظر با نیاز (دسامبر-ژانویه و فوریه) مرتب‌سازی گردید. داده‌های نرمال شده دمایی ماهانه به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های دورپیوندی به‌عنوان متغیر مستقل جهت تعیین ضرایب همبستگی پیرسون وارد نرم‌افزار STATISTICA گردید. با توجه به این‌که هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی تأثیر هم‌زمان دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با دورپیوند نوسانات شبه‌دوسالانه می‌باشد، فازهای مثبت و منفی دورپیوندهای مذکور، شناسایی گردید، بدین ترتیب که برای دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسانات شمالگان، اعداد کوچک‌تر از ۰/۵- فاز منفی، بین ۰/۵- تا ۰/۵ فاز خنثی و بزرگ‌تر از ۰/۵ فاز مثبت تلقی گردید (سنگ و تورگای، ۲۰۱۹). از طرفی با توجه به اینکه دامنه تغییرات دورپیوند نوسانات شبه‌دوسالانه بسیار زیاد است، جهت تعیین فازهای این دورپیوند، پس از استانداردسازی مقادیر موجود، فازهای مثبت و منفی آن مشخص گردید (یونا و همکاران، ۲۰۱۹). جدول شماره ۱، نحوه شناسایی ترکیب‌های ممکن شاخص‌های دورپیوندی مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۱. حالت‌های مختلف هم‌زمانی دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با نوسانات شبه‌دوسالانه

دورپیوند	نوسانات شبه‌دوسالانه - نوسان شمالگان - نوسان اطلس شمالی											
فاز	نوسانات شبه‌دوسالانه مثبت			نوسانات شبه‌دوسالانه منفی			نوسانات شبه‌دوسالانه مثبت			نوسانات شبه‌دوسالانه منفی		
	فازهای مثبت نوسان‌های شمالی			فازهای منفی نوسان‌های شمالی			فازهای مثبت نوسان‌های شمالی			فازهای منفی نوسان‌های شمالی		
ماه	فوریه	ژانویه	دسامبر	فوریه	ژانویه	دسامبر	فوریه	ژانویه	دسامبر	فوریه	ژانویه	دسامبر
سال‌ها	۱۹۹۰	۲۰۰۸	۲۰۱۱		۲۰۱۱	۲۰۱۰	۱۹۹۶	۲۰۱۰	۱۹۹۶	۱۹۹۵	۱۹۹۳	۱۹۹۴
		۲۰۱۵					۲۰۱۰		۲۰۰۰			۱۹۹۹
									۲۰۰۹			۲۰۰۶
												۲۰۱۳
												۲۰۱۵
جمع	حالت ت-۵ مورد			حالت پ-۲ مورد			حالت ب-۶ مورد			حالت الف-۷ مورد		

نوسانات شبه دوسالانه - نوسان شمالگان - نوسان اطلس شمالی						
نوسانات شبه دوسالانه خنثی - فازهای مثبت نوسان‌های شمالی			نوسانات شبه دوسالانه خنثی - فازهای منفی نوسان‌های شمالی			
شمالی						
دسامبر	ژانویه	فوریه	دسامبر	ژانویه	فوریه	ماه
۲۰۰۴	۱۹۸۹	۱۹۸۹	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۲۰۰۴	سال‌ها
		۲۰۰۰	۲۰۰۲	۱۹۹۷	۲۰۱۳	
				۱۹۹۸		
حالت ت-۴ مورد			حالت ج-۷ مورد			
جمع			جمع			

منبع: (یافته های نگارندگان)

در گام بعد با شناسایی ماه‌های فوق، بی‌هنجاری دمایی ماهانه طبق فرمول زیر برای ماه‌های مذکور محاسبه شده و نحوه پراکندگی تغییرات آنومالی در نرم‌افزار GIS به روش معکوس فاصله وزنی IDW پهنه‌بندی گردید. با توجه به پوشش مطلوب و گسترده ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، عدم تغییر مقادیر عددی ناشی از درون‌یابی در موقعیت ایستگاه‌ها، تأثیر زیاد نقاط نزدیک به نقطه مورد نظر در درون‌یابی (مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۹) و از طرفی به دلیل مرسوم بودن روش معکوس فاصله وزنی در پهنه‌بندی‌های اقلیمی (مهرزاد و همکاران، ۱۳۹۸ و پور غلام و همکاران، ۱۴۰۰)، از روش IDW برای پهنه‌بندی استفاده شده است.

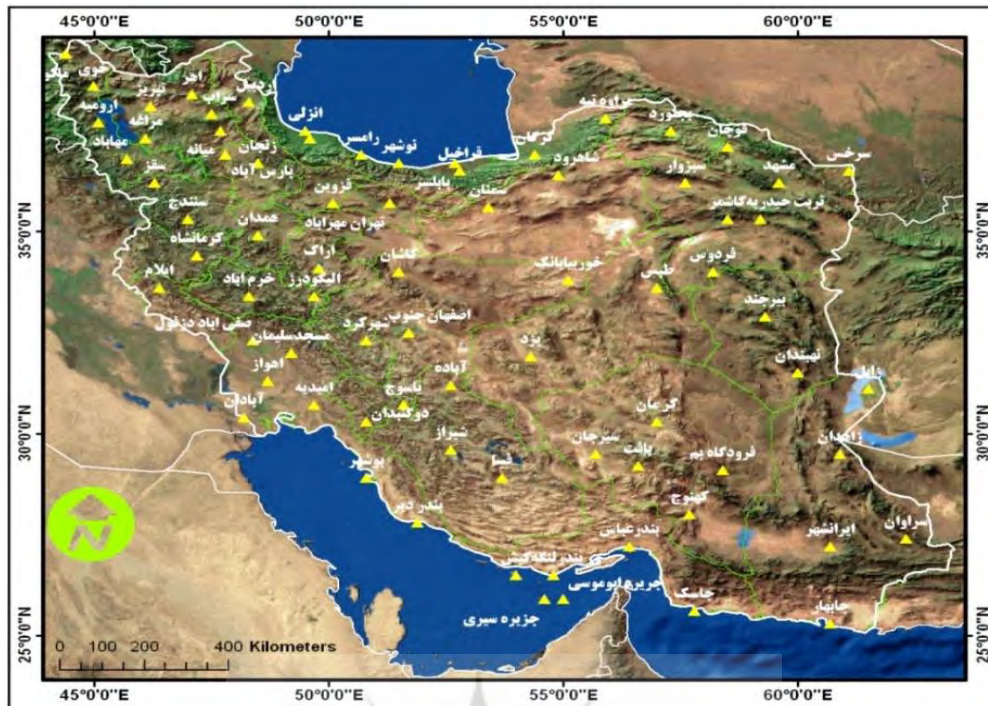
$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta}$$

رابطه (۱)

که در رابطه فوق Z : بی‌هنجاری دمایی ماهانه، x_i : مقدار دمایی معین برای یک ماه، \bar{x} : میانگین دمایی ماه‌های معین در بازه ۳۳ ساله و δ : انحراف از معیار دمایی ماه‌های فصل زمستان در بازه ۳۳ ساله است. هدف از پهنه‌بندی، شناسایی مکان‌هایی است که به لحاظ داشتن صفت مورد نظر یکسان هستند (دارند، ۱۳۹۳: ۷۳).

محدوده مورد مطالعه

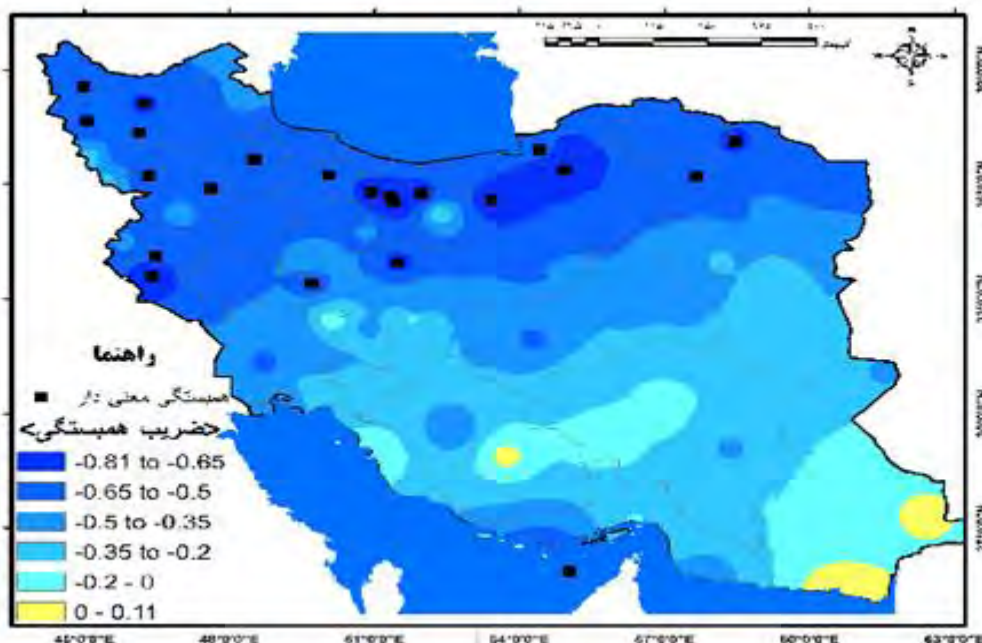
محدوده مورد مطالعه در تحقیق حاضر، ۱۰۰ ایستگاه همدیدی ایران می‌باشد. دوره آماری و ایستگاه‌های مورد مطالعه طوری انتخاب شدند که هم بیشترین طول دوره آماری را شامل شوند و هم به لحاظ گستردگی اغلب نقاط کشور را پوشش دهند. (شکل ۱) نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

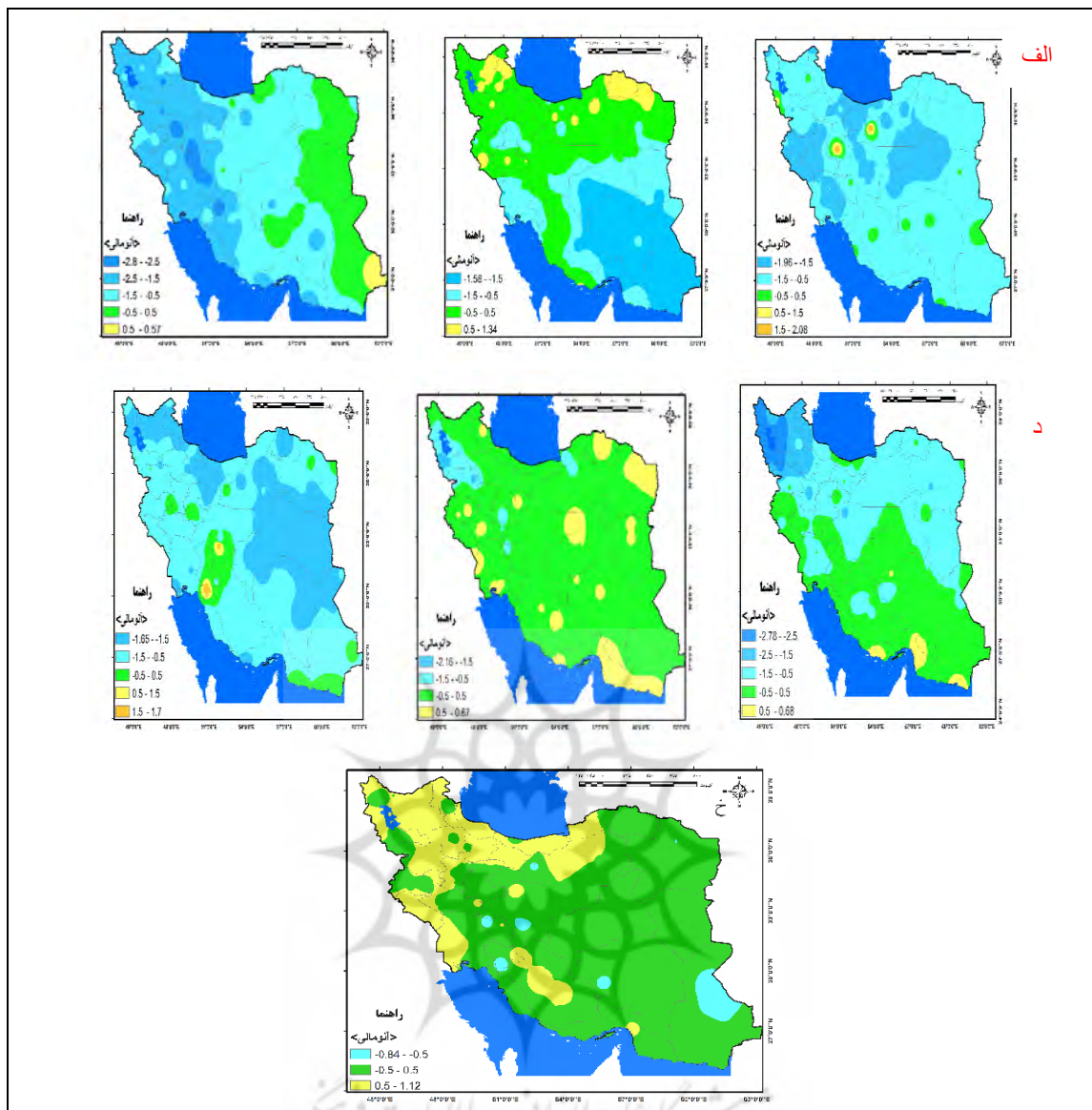
بحث و یافته‌ها

بر اساس یافته‌های تحقیق، ارتباط معکوس و معناداری بین دورپیوندهای NAO و به‌ویژه AO با دمای ماه‌های ژانویه و فوریه در اغلب نواحی شمالی و غربی ایران وجود دارد که بیشترین ارتباط در ایستگاه تبریز به مقدار $-0/66$ با دورپیوند AO مشاهده گردید، به‌طور کلی با افزایش مقادیر عددی این دورپیوندها از فازهای منفی به سمت فازهای مثبت دمای مناطق شمالی و غربی کاهش می‌یابد. از طرفی ارتباط معناداری بین فازهای مثبت QBO با دمای برخی از ایستگاه‌های واقع در نیمه شمالی و غربی در ماه فوریه وجود دارد بطوریکه بیشترین ارتباط در بخش‌های غربی و در ایستگاه ایلام به مقدار $-0/81$ محاسبه گردید (شکل ۲). به‌طور کلی با افزایش مقادیر عددی این دورپیوند از فازهای مثبت بسیار ضعیف به فازهای حدی مثبت دمای مناطق این مناطق کاهش می‌یابد. بر خلاف تأثیر جداگانه این شاخص بر دمای ماه فوریه، ارتباط معناداری میان تغییرات دمای ماه دسامبر و ژانویه با شاخص QBO مشاهده نگردید.



شکل ۲. ضریب همبستگی میان فازهای مثبت QBO با دمای فوریه
 منبع: (ترسیم از نگارندگان)

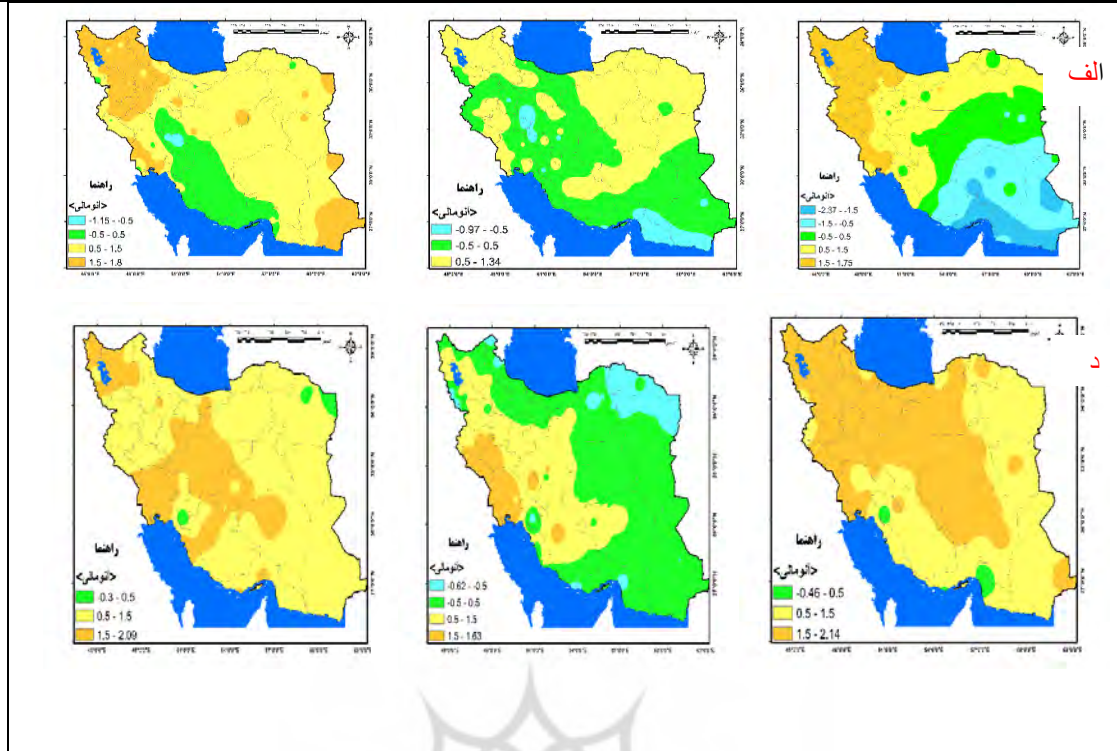
برای تشخیص تأثیر هم‌زمانی رخداد فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای مثبت نوسانات شبه‌دوسالانه (حالت الف جدول ۱) نقشه‌های (شکل ۳) ترسیم گردید. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییرات بی‌هنجاری دما در حالت کلی نرمال و کمتر از نرمال می‌باشد. بیشترین تغییرات بی‌هنجاری دمایی، مربوط به دسامبر ۲۰۰۶ (شکل ۳-ج)، (۲/۵) درجه کمتر از نرمال در دامنه‌های زاگرس) می‌باشد. از طرفی در هیچ‌کدام از سال‌های مشابه، دمای گرم‌تر از نرمال با شدت و گستردگی مکانی بالا رخ نداده است. نقشه‌های گویای این واقعیت است که رخداد هم‌زمان فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای مثبت نوسانات شبه‌دوسالانه شرایط را برای رخداد وقوع زمستانی با دمای نرمال و کمتر از نرمال در اغلب نقاط کشور بخصوص بخش‌های شرقی فراهم می‌کند.



شکل ۳. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۱۹۹۴ (الف)، ۱۹۹۹ (ب)، ۲۰۰۶ (ج)، ۲۰۱۳ (د) و ۲۰۱۵ (ه)، ژانویه ۱۹۹۳ (خ) و فوریه ۱۹۹۵ (و)

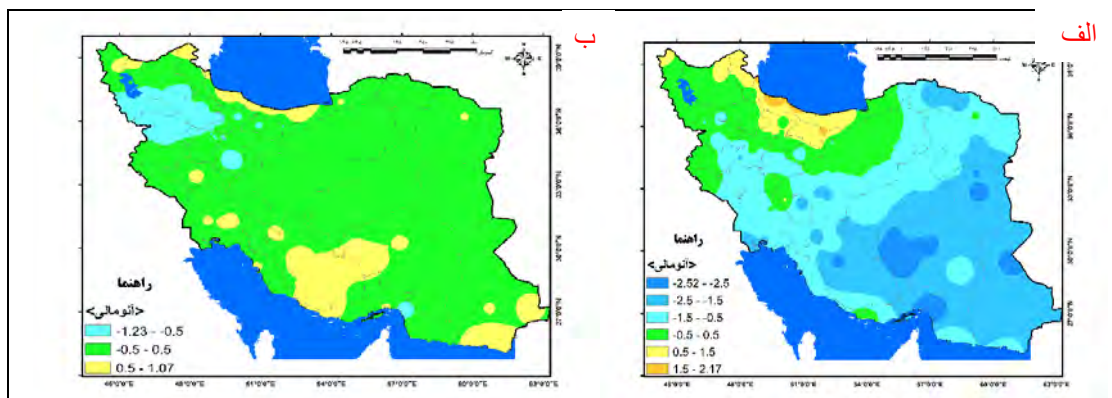
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

برای توصیف تأثیر هم‌زمانی رخداد فازهای منفی نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای منفی نوسانات شبه-دوسالانه (حالت ب) نقشه‌های (شکل ۴) ترسیم گردید. تغییرات بی‌هنجاری دما در حالت کلی نرمال و بیشتر از نرمال می‌باشد. بطوریکه در دسامبر ۲۰۰۹ (شکل ۴-ج) ژانویه و فوریه ۲۰۱۰ (شکل‌های ۴-د و ۴-خ) شاهد دمای گرم‌تر از نرمال در اغلب مناطق بوده‌ایم. نکته مهم اینکه، گرم‌ترین زمستان‌های دوره آماری در این حالت رخ داده‌اند که به نمونه می‌توان به ژانویه و فوریه ۲۰۱۰ اشاره کرد (اشکال ۴-د و ۴-خ)، چنین به نظر می‌رسد هم‌زمانی رخداد فازهای منفی نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای منفی نوسانات شبه‌دوسالانه شرایط را برای وقوع دمای گرم‌تر از نرمال در اکثر مناطق بخصوص بخش‌های شمال غربی و غربی فراهم می‌کند و انتظار وقوع شرایط آب و هوایی سرد و زمستانی بعید به نظر می‌رسد.



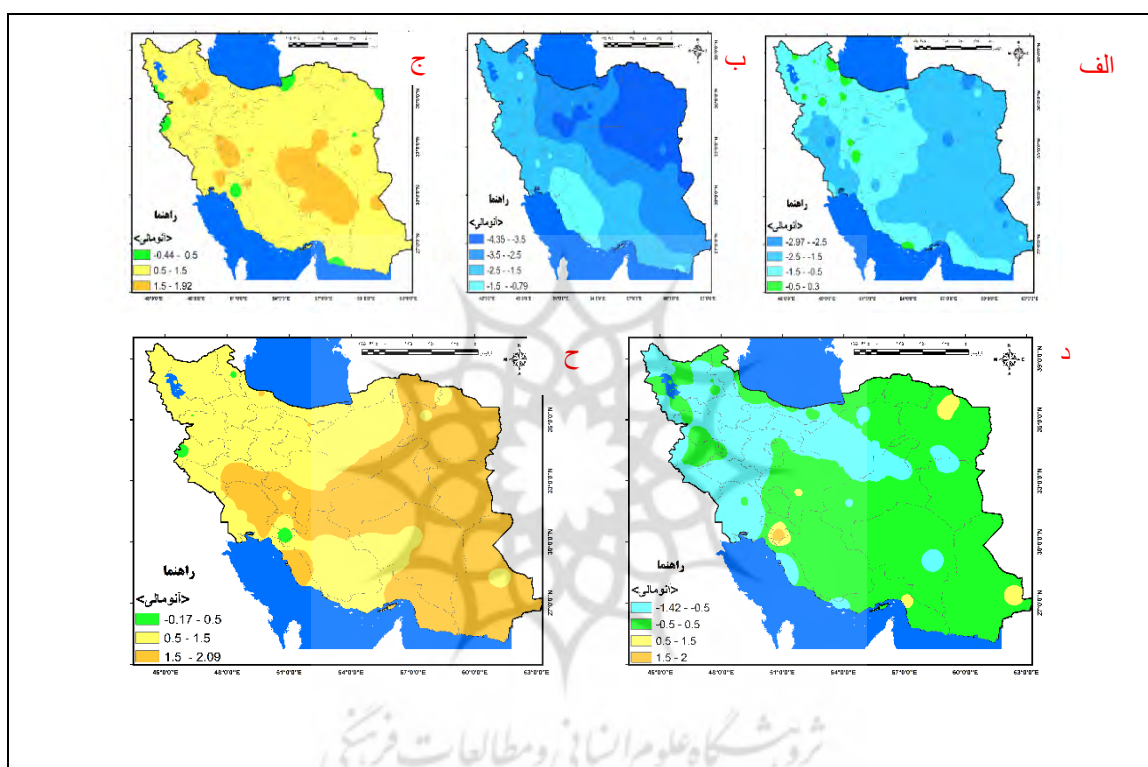
شکل ۴. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۱۹۹۶ (الف)، ۲۰۰۰ (ب) و ۲۰۰۹ (ج)، ژانویه ۲۰۱۰ (د) و فوریه ۱۹۹۶ (ه) و ۲۰۱۰ (و) (خ)
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

برای بررسی تأثیر هم‌زمان فازهای منفی نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای مثبت نوسانات شبه دوسالانه (حالت پ) نقشه‌های (شکل ۵) ترسیم گردید. همان‌طور که آشکار است، تغییرات دمایی در اغلب نقاط کشور به‌جز سواحل شمالی، نرمال و کمتر از نرمال است. بیشترین تغییرات دمایی، در نواحی جنوبی و جنوب شرقی مشاهده گردید. بطوریکه در دسامبر ۲۰۱۰ رخداد دمای کمتر از نرمال با شدت بالا در این نواحی مشهود است. از طرفی در ژانویه ۲۰۱۱، در اغلب نقاط کشور شاهد دمای نرمال بوده‌ایم. چنین به نظر می‌رسد که هم‌زمانی رخداد فازهای منفی نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای مثبت نوسانات شبه دوسالانه شرایط را برای رخداد دمای نرمال و کمتر از نرمال در اغلب نقاط کشور به‌جز سواحل شمالی فراهم می‌کند.



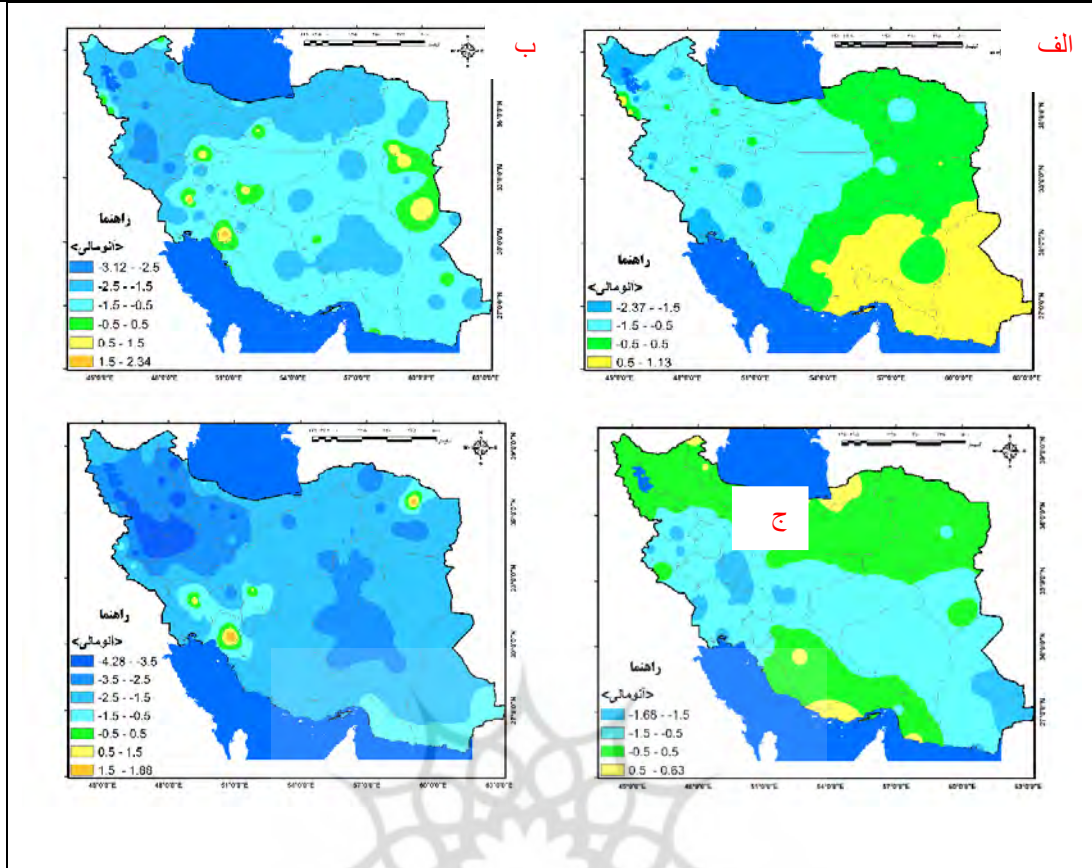
شکل ۵. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۲۰۱۰ (الف) و ژانویه ۲۰۱۱ (ب)
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

برای بررسی تأثیر هم‌زمان فازهای مثبت نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای منفی نوسانات شبه دوسالانه (حالت ت)، نقشه‌های شکل ۶ ترسیم گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این حالت تغییرات منظم و مشخص دمایی مشاهده نمی‌شود. بطوریکه در دسامبر ۲۰۱۱ و ژانویه ۲۰۰۸ (نقشه‌های الف و ب شکل ۶) شاهد دمای کمتر از نرمال در اغلب نقاط بوده‌ایم. بر خلاف این در ژانویه و فوریه ۲۰۱۵ (نقشه‌های ج و ح شکل ۶)، دمای بیشتر از نرمالی در اغلب مناطق رخ داده است. به نظر می‌رسد رخداد هم‌زمان فازهای مثبت دورپیوندهای شمالی با فاز منفی نوسانات شبه دوسالانه، تأثیر منظم و مشهودی بر دمای زمستانه ندارند و در هنگام وقوع چنین حالتی، پیش‌بینی دمایی کشورمان دشوار به نظر می‌رسد.



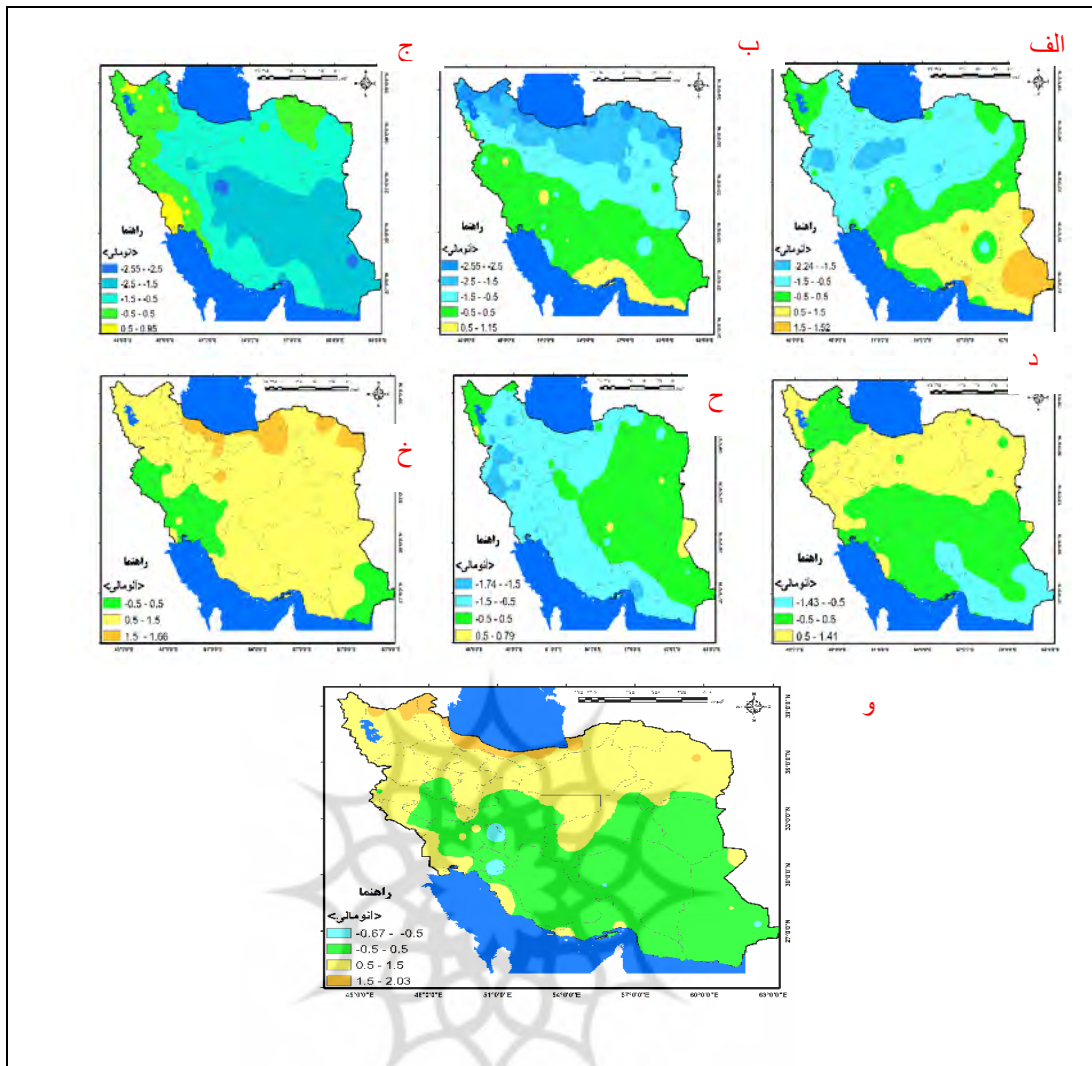
شکل ۶. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۲۰۱۱ (الف)، ژانویه ۲۰۰۸ (ب) و ۲۰۱۵ (ج) و فوریه ۱۹۹۰ (د) و ۲۰۱۵ (ح)
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

برای بررسی تأثیر هم‌زمان فازهای مثبت نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه (حالت ث)، نقشه‌های شکل ۷ ترسیم گردید. همان‌گونه که مشخص است در این حالت اغلب نقاط کشور به جز بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی دمای نرمال و کمتر از نرمالی را تجربه کرده‌اند. در این میان بخش‌های شمال غربی و غربی شاهد بیشترین تغییرات منفی دمایی بوده‌اند بطوریکه دمای ژانویه ۱۹۸۹ (نقشه ب) و فوریه ۲۰۰۰ (نقشه د) در اغلب مناطق شمال غربی و غربی بیشتر از ۴ درجه سلسیوس نسبت به نرمال کاهش یافته است. نقشه‌های زیر گویند این واقعیت است که هم‌زمانی رخداد فازهای مثبت نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه شرایط را برای رخداد دمای کمتر از نرمال در اغلب نقاط کشور بخصوص در بخش‌های غربی کشور فراهم می‌کند.



شکل ۷. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۲۰۰۴ (الف)، ژانویه ۱۹۸۹ (ب) و فوریه ۱۹۸۹ (ج) و ۲۰۰۰ (د)
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

برای بررسی تأثیر هم‌زمان فازهای منفی نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه (حالت ج)، نقشه‌های (شکل ۸) ترسیم گردید. تغییرات بی‌هنجاری دمایی در این حالت به‌طور منسجم و سیستماتیک نیست. بطوریکه در برخی سال‌ها همچون دسامبر ۲۰۰۲ (شکل ۸-ب) شاهد کاهش دما نسبت به نرمال بوده‌ایم. از طرفی در فوریه ۲۰۰۴ و ۲۰۱۳ شاهد افزایش دما در بخش‌های شمالی کشور بوده‌ایم. اگرچه رفتار مشخصی از هم‌زمانی رخداد فازهای منفی نوسانات اطلس شمالی و نوسانات شمالگان با فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه بر روی دمای کشور مشاهده نگردید اما مطلب مهم اینکه، در این حالت، دمای گرم‌تر از نرمال با شدت بیشتر (افزایش دمای بیش از ۱/۵ درجه نسبت به نرمال) مشاهده نگردید. به‌طور کلی چنین به نظر می‌رسد رخداد فازهای منفی دورپیوندهای شمالی با فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه شرایط را برای رخداد دمای نرمال در بخش‌های جنوب غربی فراهم می‌کند.



شکل ۸. بی‌هنجاری دمای دسامبر ۱۹۹۵ (الف) و ۲۰۰۲ (ب)، ژانویه ۱۹۹۶ (ج)، ۱۹۹۷ (د) و ۱۹۹۸ (ح) و فوریه ۲۰۰۴ (خ) و ۲۰۱۳ (و)

منبع: (ترسیم از نگارندگان)

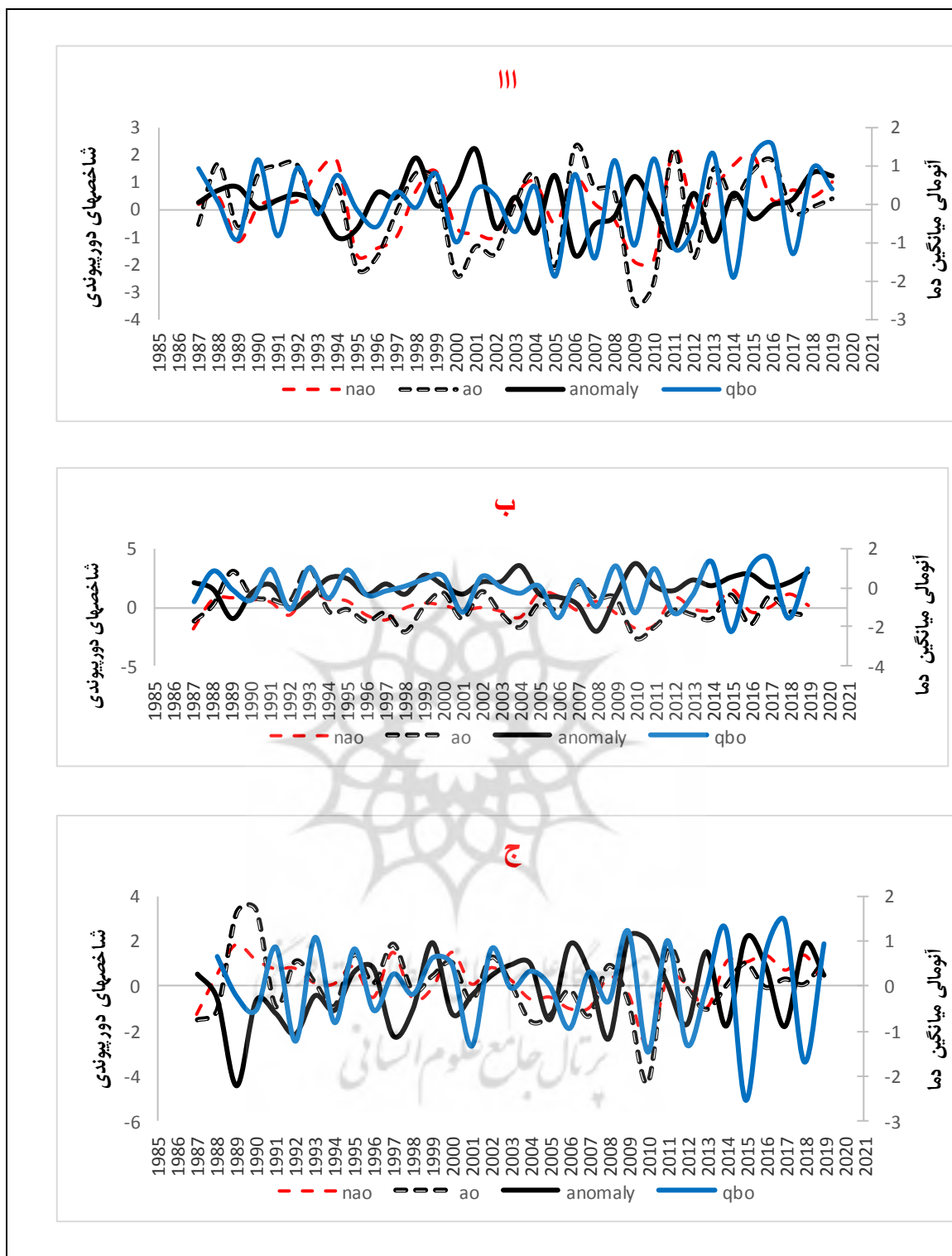
(شکل ۹) روند تغییرات میانگین دمای زمستانه ایران را در مقایسه با روند تغییرات شاخص‌های دور پیوندی نوسانات شبه-دوسالانه، نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان در ماه‌های دسامبر (شکل ۹-الف)، ژانویه (شکل ۹-ب) و فوریه (شکل ۹-ج) نشان می‌دهد.

با توجه به نمودارهای زیر ارتباط مشخصی میان وقوع زمستان‌های سرد و گرم با فازهای مثبت و منفی QBO مشاهده نگردید. به‌عنوان نمونه گرم‌ترین زمستان‌های دوره آماری طرفی (دسامبر ۲۰۰۱ با بی‌هنجاری دمایی $+1/43$ ، ژانویه ۲۰۱۰ با بی‌هنجاری دمایی $+1/22$ و فوریه ۲۰۰۹ با بی‌هنجاری دمایی $+1/23$) به ترتیب با فازهای خنثی، منفی و مثبت QBO همراه بوده‌اند. از طرفی سردترین زمستان‌های دوره آماری (دسامبر ۲۰۰۶ با بی‌هنجاری دمایی $1/32$ ، ژانویه ۲۰۰۸ با بی‌هنجاری دمایی $-2/25$ و فوریه ۱۹۸۹ با بی‌هنجاری دمایی $-2/22$) به ترتیب با فازهای مثبت، منفی و خنثی QBO مصادف بوده‌اند. بر خلاف عدم تأثیر جداگانه این دورپیوند بر دمای زمستانه، ارتباط مشخصی بین فازهای NAO و AO با دمای زمستانه ایران وجود دارد بطوریکه گرم‌ترین و سردترین زمستان‌های دوره آماری به ترتیب مصادف با رخداد هم‌زمان فازهای منفی و مثبت NAO و AO همراه بوده است که به نمونه می‌توان به زمستان بسیار

گرم ۲۰۱۰ و زمستان بسیار سرد ۲۰۰۸ اشاره کرد. نتیجه مهم و اصلی تحقیق تأثیر هم‌زمان فازهای نوسانات شبه-دوسالانه با دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان بر تغییرات دمایی ایران است به‌گونه‌ای که رخداد هم‌زمان فازهای مثبت NAO و AO با فازهای مثبت QBO موجب رخداد بی‌هنجاری دمایی نرمال و سردتر از نرمال می‌گردد. به‌عنوان مثال می‌توان به دسامبر ۲۰۰۶، ژانویه ۱۹۹۳ و فوریه ۱۹۹۵ (که در آن‌ها بی‌هنجاری دمایی به ترتیب $-1/32$ ، $-0/45$ و $+0/31$ بود) اشاره کرد.

دقیقاً برخلاف این حالت، رخداد هم‌زمان فازهای منفی NAO و AO با فازهای منفی QBO موجب رخداد بی-هنجاری دمایی نرمال و گرم‌تر از نرمال می‌شود بطوریکه گرم‌ترین زمستان‌های دوره آماری در این حالت رخ داده است که به نمونه می‌توان به دسامبر ۲۰۰۹، ژانویه ۲۰۱۰ و فوریه ۲۰۱۰ اشاره کرد که به ترتیب بی‌هنجاری دمایی آن‌ها $+0/72$ ، $+1/22$ و $+1$ محاسبه گردید. همچنین رخداد هم‌زمان فازهای خنثای QBO با فازهای مثبت NAO و AO موجب وقوع بی‌هنجاری دمایی سردتر از نرمال شده است بطوریکه که در سال‌های مصادف با این شرایط همانند (دسامبر ۲۰۰۴، ژانویه ۱۹۸۹ و فوریه ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰) به ترتیب بی‌هنجاری دمایی $-0/74$ ، $-1/59$ ، $-2/22$ و $-0/61$ مشاهده گردید. رفتار تغییرات دمایی منطبق بر تغییرات دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان و همچنین هم‌زمانی آن‌ها با نوسانات شبه دوسالانه می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر همسو با مطالعات پارک و سون (۲۰۲۲)، ریوندی و همکاران (۱۳۹۳) و اسبقی و همکاران (۱۳۹۳) مبنی بر کاهش دمای فصل زمستان در هنگام رخداد فازهای مثبت نوسانات شبه دوسالانه است. همچنین نتایج تحقیق حاضر با مطالعات قاسمی و خلیلی (۲۰۰۸)، مرادی (۱۳۸۳)، قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، امیدوار و جعفری (۱۳۹۳) و محمودی و همکاران (۱۳۹۴) در مورد تأثیر فازهای مثبت دورپیوندهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان بر وقوع دمای زیر نرمال در اغلب مناطق کشور، حسین پور و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر تشدید سرمای زمستان ۱۳۸۶ به دلیل رخداد فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان و در تضاد با مطالعه حلبیان و همکاران (۱۴۰۰) مبنی بر افزایش دما در هنگام رخداد فازهای مثبت نوسان شمالگان همسو می‌باشد.



شکل ۹. نمودار مقایسه بی‌هنگاری دمای ماه دسامبر (الف)، ژانویه (ب) و فوریه (ج) با تغییرات فازهای QBO، NAO و AO
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

نتیجه گیری

نواحی شمالی و غربی ایران وجود دارد که بیشترین ارتباط در ایستگاه‌های شمال غرب مشاهده گردید. همچنین ارتباط معکوس و معنی‌داری بین دورپیوند نوسان اطلس شمالی با دمای ماه فوریه در اغلب نقاط ایران مشاهده شد. به‌طور کلی با

افزایش مقادیر عددی این دورپیوندها دمای هوا در اغلب مناطق ایران بخصوص در ماه فوریه کاهش می‌یابد. از طرفی ارتباط مستقیم و معنی‌داری فقط در تعداد محدودی از ایستگاه‌های واقع در بخش‌های شمالی و غربی ایران با فازهای مثبت نوسانات شبه دوسالانه با دمای ماه فوریه مشاهده شد. نتیجه اصلی و مهم این‌که رخداد هم‌زمان فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای مثبت نوسانات شبه‌دوسالانه موجب وقوع دمای نرمال و کمتر از نرمال در بخش‌های شرقی می‌شود در صورتیکه بر خلاف این حالت هم‌زمانی فازهای منفی شاخص‌های نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای منفی نوسانات شبه‌دوسالانه موجب رخداد دمای نرمال و بیشتر از نرمال در اغلب مناطق نیمه غربی بخصوص شمال غرب کشور می‌شوند بطوریکه گرم‌ترین زمستان‌های دوره آماری در این حالت رخ داده است. این در صورتی است که بی‌هنجاری مشخصی در هنگام وقوع هم‌زمان فازهای منفی دورپیوندهای مذکور دیده نمی‌شود. همچنین رخداد هم‌زمان فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه با فازهای مثبت دورپیوندهای شمالی موجب وقوع دمای نرمال و کمتر از نرمال در اغلب مناطق به‌جز بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی می‌شود به‌گونه‌ای که شدت سرما در بخش‌های غربی و شمال غربی بیشتر است. در صورتیکه بر خلاف این حالت رخداد هم‌زمان فازهای خنثای نوسانات شبه دوسالانه با فازهای منفی دورپیوندهای شمالی تأثیر محسوسی بر تغییرات دمایی نداشته و تنها احتمال وقوع دمای بسیار گرم‌تر از نرمال در این شرایط بعید به نظر می‌رسد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله، حامی مالی نداشته است.

منابع

- امیدوار، کمال و جعفری ندوشن، مهدی (۱۳۹۳). اثر نوسان قطبی بر نوسان‌های دما و بارش فصل زمستان در ایران مرکزی، نشریه جغرافیایی سارزمین، دوره ۱۱، شماره ۴۱، صص. ۶۵-۷۶. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_7933.html
- حجتی، زهرا و مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۷). واکاوی پیوند میان نوسان شمالگان و رخداد بارش در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، صص. ۵۹۱-۵۷۷. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- حلبیان، امیرحسین؛ کریمپور، مصطفی و محمودی مهر، فریبا (۱۴۰۰). ارتباط نوسان شمالگان با تغییرپذیری دمای زمستانه شمال غرب ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۲، شماره ۴۷، صص. ۱۴۰-۱۲۱. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- حداد، فرنوش؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ محب‌الحجه، علیرضا و میرزایی، محمد (۱۴۰۲). بررسی دینامیکی رابطه توفندهای اقیانوس اطلس در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ و مسیر توفان اطلس با استفاده از رهیافت انرژی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۹، شماره ۱، صص. ۲۱۱-۱۸۹. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- خسروی، محمود (۱۳۸۳). مطالعه روابط بین الگوهای چرخشی جوی کلان‌مقیاس نیمکره شمالی از جمله AO با خشکسالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲، شماره ۳، صص. ۱۸۸-۱۶۷. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- خسروی، محمود؛ کریمی خواجه لنگی، صادق و سلیقه، محمد (۱۳۸۶). ارتباط شاخص نوسان قطبی با نوسان‌های دمایی، مطالعه موردی: ایستگاه شهرکرد، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۵، شماره ۹، صص. ۱۳۶-۱۲۵. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- خدادادی، محمد مهدی؛ آزادی، مجید؛ مرادی، محمد و رنجیر، عباس (۱۴۰۱). تأثیر نوسان شبه دوسالانه بر شکست امواج روی شرق مدیترانه و غرب آسیا از دیدگاه عرض‌های بحرانی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۸، شماره ۱، صص. ۱۴۳-۱۲۵. https://clima.irimo.ir/article_142696.html

- ۸) دارند، محمد (۱۳۹۳). پایش خشک‌سالی ایران به کمک شاخص شدت خشک‌سالی پالمرو و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی-اقیانوسی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۹، شماره ۴، صص. ۶۷-۸۲-۱- <https://georesearch.ir/article-1-324-fa.html>
- ۹) صلاحی، برومند و حاجی‌زاده، زهرا. (۱۳۹۲). تحلیلی بر رابطه زمانی نوسان اطللس شمالی و شاخص‌های دمای سطحی اقیانوس اطلس با تغییرپذیری بارش و دمای استان لرستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۸، شماره ۳، صص. ۱۲۸-۱۱۷. https://jgr.ui.ac.ir/article_17999.html
- ۱۰) علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). آب و هواشناسی سینوپتیک، چاپ دوم، تهران: موسسه انتشارات سمت.
- ۱۱) علیجانی، بهلول و کاویانی، محمدرضا (۱۳۹۰). مبانی آب و هواشناسی، چاپ اول، تهران: موسسه انتشارات سمت.
- ۱۲) اسبقی، قربان؛ جغتایی، محمد و محب‌الحجه، علیرضا (۱۳۹۴). بررسی اثر نوسان شبه دوسالانه بر ورود سپهر برون‌حاره‌ای در اوایل زمستان از دیدگاه انرژی، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۶، شماره ۲۴، صص. ۳۳-۳۸. https://clima.irimo.ir/article_40463.html
- ۱۳) عساکره، حسین؛ خوش‌اخلاق، فرامرز و شامحمدی، زینب (۱۳۹۵). استخراج الگوهای همدیدی توأم با فاز مثبت نوسان اطللس شمالی و تأثیر آن بر بارش زمستانه ایران، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳، شماره ۹، صص. ۱۱۳-۱۳۷. 20.1001.1.23833254.1395.3.9.6.6
- ۱۴) غلامی رستم، مهدی؛ ساداتی نژاد، جواد و ملکیان، آرش (۱۳۹۷). بررسی مطالعات انجام شده درباره تأثیر الگوهای دورپیوندی بر اقلیم ایران ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳، مجله علمی و ترویجی نیوار، دوره ۴۲، شماره ۱۰۲-۱۰۳، صص. ۷۳-۸۸. 10.30467/NIVAR.2018.81045
- ۱۵) قوبدل رحیمی، یوسف؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر و حاتمی کیا، م (۱۳۹۵). نوسان شمالگان و نقش آن در تغییرپذیری دماهای کمینه منطقه شمال شرق ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۴۲، صص. ۴۱-۵۹. 20.1001.1.22287736.1395.16.42.3.8
- ۱۶) مفیدی، عباس (۱۳۸۵). تحلیل دینامیکی نقش گردش بزرگ‌مقیاس پوش سپهری در کاهش ازون پوش سپهری، فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های زمین، دوره ۳، شماره ۱۰، صص. ۱۲۷-۱۵۵. https://journals.srbiau.ac.ir/article_5957.html
- ۱۷) مساح بوانی، علیرضا؛ مرید، سعید و محمدزاده، محسن (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های کوچک‌مقیاس کردن و مدل‌های AOGCM در بررسی تأثیر تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۴، صص. ۹۹-۱۱۰. 20.1001.1.2538371.1389.36.4.9.9
- ۱۸) محمودی، پیمان؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سیدابوالفضل و خسروی، محمود (۱۳۹۴). رابطه بین الگوهای دورپیوند و یخبندان‌های فراگیر ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۳، شماره ۴۰، صص. ۱۷۵-۱۹۴. 10.22111/GDIJ.2015.2105
- ۱۹) مسعودیان، ابوالفضل؛ موحدی، سعید؛ حسینی، محمد و عادل زاده، عبدالحسین (۱۳۹۶). پیش‌یابی میانگین روزانه دما در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و ارتباط آن با ارتفاع ژئوپتانسیل، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۸، شماره ۲، صص. ۱۴۴-۱۳۹. 10.22108/GEP.2017.97962.0.۱۳۹
- ۲۰) میریان، مینا؛ کریمپور، مصطفی؛ مرادی، محمد؛ قائمی، هوشنگ و نصیری، بهروز (۱۳۹۷). تحلیل روند دمای بلندمدت ایستگاه‌های همدیدی ایران (بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۰)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره ۱۶، شماره ۵۸، صص. ۴۹-۶۳. https://mag.iga.ir/article_253446.html
- ۲۱) مسعودیان، ابوالفضل؛ دارند، محمد و ناظمی فرد، گلانه (۱۳۹۸). واکاوی فصول دمایی ایران زمین و وردایی آن طی دهه‌های اخیر، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۱۷، شماره ۵۵، صص. ۴۵-۶۲. 10.22111/GDIJ.2019.4578
- ۲۲) مهرزاد، حسن؛ سلیقه، محمد؛ اکبری، مهتری و حجازی زاده، زهرا (۱۳۹۸). آشکارسازی فازهای تأثیرگذار شاخص نوسان شبه دوسالانه (QBO) بر افزایش تعداد روزهای همراه با بارش سنگین، نشریه هواشناسی و علوم جو، دوره ۲، شماره ۱، صص. ۲۸-۱۵. https://www.ims-jmas.net/article_115306.html
- ۲۳) احمدی، محمود؛ لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم و آزادی، مجید (۱۳۹۴). تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال ۱۳، شماره ۴۵، صص. ۵۳-۷۵. https://mag.iga.ir/article_253520.html

- (۲۴) ۳۰. هلالی، جلیل؛ پیشداد، الهام؛ علی دادی، معصومه؛ لوک زاده، صدیقه؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم و نوروز ولاشیدی، رضا (۱۳۹۹). بررسی همبستگی بارش‌های پاییزه حوضه‌های آبریز ایران با نمایه‌های دورپیوندی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۸، صص. ۱۹۳۶-۱۹۲۱. 10.22059/IJSWR.2020.294238.668434
- (۲۵) احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی و ابراهیمی، رضا (۱۳۹۶). دورنمای فرین‌های گرم ایران مبتنی بر برونداد مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای (REGCM4)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره پانزدهم، شماره ۵۲، صص. ۸۰-۶۷. https://mag.iga.ir/article_254322.html
- (۲۶) احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۸). پایش روند دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برونداد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص. ۱۰۳-۸۶. https://mag.iga.ir/article_247710.html
- (۲۷) جاهدی، آرمان (۱۴۰۱). مدل‌سازی آماری میانگین سالانه دما در ایستگاه مهرآباد تهران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۸، شماره ۲، صص. ۴۵۲-۴۴۱. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2022.332720.1007372>
- (۲۸) پورغلام، مسعود؛ انصاری، محمد؛ عراقی نژاد، شهاب و بابائیان، ایمان (۱۴۰۰). مدل‌سازی رابطه طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای حدی و متوسط دما در نیمه غربی کشور، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۲، شماره ۴۵، صص. ۱۲۶-۱۱۳. https://clima.irimo.ir/article_132210.html
- (۲۹) حسین پور، فرناز؛ محب‌الحجه، علیرضا و احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۱). دینامیک مسیره‌های توفان در زمستان ۲۰۰۸-۲۰۰۷ از دیدگاه انرژی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۴، صص. ۱۸۷-۱۷۵. 10.22059/JESPHYS.2013.30214
- (۳۰) حجازی زاده، زهرا و کربلائی درئی، علیرضا (۱۳۹۴). آسایش حرارتی ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال ۱۳، شماره ۴۶، صص. ۳۹-۲۱. <https://www.sid.ir/paper/506755/fa>
- 31) Alijani, B. (2002). Synoptic Climatology, edition 2, Tehran, Samt Publications. [Persian].
- 32) Alijani, B. & Kaviani, M. R. (2011). Principal of Climatology, edition1, Tehran, Samt Publications. [Persian].
- 33) Adam, A. & Andrew, G. (2009). Impact of the QBO on surface winter, Geophysical Research, Vol. 114, No, 18, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1029/2009JD011737>
- 34) Asbaghi, Gh. Joghataei, M. & Mohebalhojeh, A. (2014). Examination of the impact of the Quasi-Biennial Oscillation (QBO) on the polar vortex structure in early winter, The 16th Iran Geophysics Conference, pp. 362-366. [Persian].
- 35) Ahmadi, M. Lashkari, H. Keykhosravi, G. & Azadi, M. (2015). Analysis of extreme temperature indicators in the detection of climate change in Greater Khorasan, Journal of Geography, Vol. 13, No. 45, pp. 53-75. [Persian]. https://mag.iga.ir/article_253520.html
- 36) Asbaghi, Gh. Joghataei M. Mohebalhojeh A. (2016). An Energy View of The Impact of The Quasi-Biennial Oscillation (QBO) on Extratropical Troposphere in Early Winter, Journal of Climate Research, Vol. 6, No. 23, pp. 33-38. [Persian]. https://clima.irimo.ir/article_40463.html
- 37) Asbaghi, Gh. Joghataei, M. & Mohebalhojeh, A. (2016). Impact of the QBO on the North Atlantic and Mediterranean storm tracks, Geophysical Research Letters, Vol. 44, No. 2, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1002/2016GL072056>
- 38) Asakereh, H. Khoshakhlag, F. & Shamohamadi, Z. (2017). Phase Extraction of Synoptic Patterns with Positive North Atlantic Oscillation (NAO) and its Impact on the Winter Precipitation in Iran, Vol. 3, No.9, pp. 113-137. [Persian]. 20.1001.1.23833254.1395.3.9.6.6
- 39) Asakereh, H. Khosravi, Y. Doostkamian, M. & Solgimoghaddam, M. (2019). Assessment of Spatial Distribution and Temporal Trends of Temperature in Iran, Journal of Atmospheric Science, Vol. 56, No. 4, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00150-9>
- 40) Ahmadi, M. & Dadashi Rudbari, A. (2019). Monitoring Iran's monthly temperature trend based on the output of the European Medium Term Forecast Center, Journal of Geography, Vol. 17, No. 60, pp. 86-104. [Persian]. https://mag.iga.ir/article_247710.html
- 41) Ahmadi, M. Dadashi Rudbari, A & Ebrahimi, R. (2022). Prospects of Iran's warm climates based on the regional mesoscale model output (REGCM4), Journal of Geography, Vol. 15, No. 52, pp. 67-81. [Persian]. https://mag.iga.ir/article_254322.html

- 42) Brazdil, R. & Zolotkrylin, A.N. (1995). The QBO Signal in Monthly Precipitation Fields Over Europe, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 51, No. 3, pp. 3-12. <https://doi.org/10.1007/bf00865535>
- 43) Balachandron, S. & Guhathakurta, P. (1999). On the Influence of QBO over North Indian Ocean Storm and Depression Tracks, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 70, No. 1, pp. 111-118. <https://doi.org/10.1007/s007030050028>
- 44) Chaim I. Garfinkel. & Dennis L. Hartmann. (2011). The Influence of the Quasi-Biennial Oscillation on the Troposphere in winter in a Hierarchy of Models, Part II: Perpetual Winter WACCM Runs, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 68, No.9, pp. 2026-2041. <https://doi.org/10.1175/2011jas3702.1>
- 45) Cen. S. & Turgay, P. (2019). The impacts of Arctic oscillation and the North Sea Caspian pattern on the temperature and precipitation regime in Turkey, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol.131, No.6, pp. 1677-1696. <https://doi.org/10.1007/s00703-019-00665-w>
- 46) Darand, M. (2014). IRAN Drought monitoring using Palmer drought Severity index and its relation to atmospheric-oceanic teleconnection patterns, *Geographical Researches quarterly journal*, Vol. 29, No.4, pp. 68-72. [Persian]. <https://georesearch.ir/article-1-324-fa.html>
- 47) Ghavidel Rahimi, Y. Farajzadeh Asl, M. & Hatamikia, M. (2016). Arctic Oscillation and its Role in Variability of Minimum Temperatures in Northeastern Region of Iran, *Journal of Applied Research in Geographic Sciences*, Vol. 16, No. 42, PP. 41-59. [Persian]. 20.1001.1.22287736.1395.16.42.3.8
- 48) Ghasemi, A.R. & Khalili, D. (2008). The effect of the North Sea- Caspian pattern (NCP) on winter temperatures in Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 92, No. 1, pp. 59-74. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0309-1>
- 49) Gholami Rostam, M. Sadatinejad, S.J. & Malekian, A. (2018). Literature Review on the Connection between Iran's Climate and Teleconnection in the Period of 1999 to 2014, *Scientific Journal of Iran Meteorological Organization (NIVAR)*, Vol. 42, No. (102-103), pp. 73-88. [Persian]. 10.30467/NIVAR.2018.81045
- 50) Hosseinpour, F. Mohebalhojeh, A. & Ahmadi-Givi, F. (2013). Storm track dynamics in anomalous winter 2007-2008 from an energetic perspective, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol.38, No. 4, pp. 175-187. [Persian]. 10.22059/JESPHYS.2013.30214
- 51) Hejazizadeh, Z. & Karbalaie, A. (2015). Thermal comfort in Iran, *Journal of Geography*, Vol. 13, No.46, pp. 21-39. [Persian]. <https://www.sid.ir/paper/506755/fa>
- 52) Hansen, F. Matthes, K. & Wahl, S. (2016). Tropospheric QBO-ENSO Interactions and Differences between the Atlantic and Pacific, *Journal of Climate*, Vol.29, No. 4, pp. 1353-1358. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-15-0164.1>
- 53) Hyun, J L. Kyong-H, S. Qigang, W. Seoung-S, L. & Hyo, S. P. (2018). Combined Effect of the Madden-Julian Oscillation and Arctic Oscillation on Cold Temperature Over Asia, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 55, No.10, pp. 75-89. <https://doi.org/10.1007/s13143-018-0091-2>
- 54) Hojati, Z. & Masoodian, S.A. (2018). Relationship between Arctic Oscillation and Precipitation in Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, Vol. 50, No. 3, pp. 577-591. [Persian]. 10.22059/JPHGR.2018.244741.1007135
- 55) . Helali, J. Pishdad, E. Alidadi, M. Loukzadeh, S. & Asadi Oskouei, E. (2020). Investigating the relationship between climate Teleconnection Indices and Autumnal Rainfall in Iran Watersheds, *Iranian Journal of Water and Soil Research*, Vol. 51, No. 8, pp.1921-1936. [Persian]. 10.22059/IJSWR.2020.294238.668434
- 56) Halabian, A. Karampour, M. & Mahmoodimehr, F. (2022). Relationship of Arctic Oscillation (AO) and winter temperatures variability on the north- west Iran, *Journal of Climate Research*, Vol. 12, No. 47, pp. 121-140. [Persian]. https://clima.irimo.ir/article_142696.html
- 57) Haddad, F. Ahmadi-Givi, F. Mohebalhojeh, A. & Mirzaei, M. (2023). Investigating the relation between the hurricanes in 2017–2019 period and the North Atlantic storm track using energy perspective, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 49, No. 1, pp. 189-211. [Persian]. 10.22059/JESPHYS.2022.339565.1007408

- 58) Ismail, E. Khalid, O. & Hassan, A. (2020). A Links Between the North Atlantic Oscillation and Winter Drought in the Mediterranean Watersheds of the Western Rif, *Journal of European Scientific*, Vol.16, No. 15, pp.99-114. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n15p99>
- 59) James, A. Anstey, Theodore, G.S. & John, F.S. (2010). Influence of the QBO on the Extra-tropical Winter Stratosphere in an Atmospheric General Circulation Model and in Reanalysis Data, *Journal of the Atmospheric Science*, Vol. 67, No. 5, pp. 1402-1419. <https://doi.org/10.1175/2009jas3292.1>
- 60) Jahedi, A. (2022). Statistical modeling of the mean annual temperature at Mehrabad station, Tehran, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 48, No. 2, pp. 441-452. [Persian]. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2022.332720.1007372>
- 61) Khosravi, M. (2003). Study of the relationship between atmospheric-scale cyclic patterns including AO with annual Droughts of Sistan and Baluchestan Region, *Research Geography and Development*, Vol. 2, No. 3, pp. 167-188. [Persian]. 10.22111/GDIJ.2004.3835
Khosravi, M. Karimi Khajeh Lengi, S. & Saligheh, M. (2007). The Relationship Between Arctic Oscillation Index AND Temperature Variabilities in Shahrekord Station, *Geography and Development*, Vol. 5, No. 9, pp. 125-136. [Persian]. 10.22111/GDIJ.2007.3671
- 62) Kunze, M. & Labitzke, K. (2012). Interactions between the stratosphere, the sun and the QBO during the northern summer, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 75, No. 3, pp. 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2011.04.011>
- 63) Khodadi, M.M. Moradi, M. Azadi, M. & Ranjbar Saadat Abadi, A. (2022). The QBO effect on the wave breaking over the east of Mediterranean and west Asia: Critical Latitude Aspect, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 48, No. 1, pp. 125-143. [Persian]. 10.22059/JESPHYS.2022.323817.1007322
- 64) Lee, See. shelow, D.M. Thompson, A.M, Miller. S.K. (2010). QBO and ENSO Variability in Temperature and Ozone From SHADOZ, *Journal of geophysical research*, Vol.115, No. 18, pp. x-1-x-38. <https://doi.org/10.1029/2009jd013320>
- 65) Mofidi, A. (2007). Dynamical Analysis of the Role of Stratospheric Large-scale Circulation on the Stratospheric Ozone Depletion, *Quarterly Geographical Journal of Territory*, Vol. 3, No. 10, pp.128-156. [Persian]. https://journals.srbiau.ac.ir/article_5957.html
- 66) Massah Bavani, A. Morid, S & Mohammadzadeh, M. (2011). Evaluating different AOGCMs and downscaling procedures in climate change local impact assessment studies, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol. 36, No. 4, pp. 99-110. [Persian]. 20.1001.1.2538371.1389.36.4.9.9
- 67) Mahmoudi, P. Alijani, B. Masoudian, A. & Khosravi, M. (2015). The Relationship Between the patterns of teleconnection and sweeping ice-over of IRAN, *Research Geography and Development*, No 40, pp. 175-194. [Persian]. 10.22111/GDIJ.2015.2105
- 68) Masoodain, S.A. movahdi, S. hosseni, M. & adelzadeh, A. (2017). Forecasting Average Daily Temperature in the Southern Coast of the Caspian Sea and its Relationship with Geopotential Height, *Geography and Environmental Planning*, Vol. 28, No. 2, pp. 139-144. [Persian]. 10.22108/GEP.2017.97962.0
- 69) Midhuna, T.M. & Dimri, A.P. (2018). Impact of AO on Indian winter monsoon, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 131, No. 2, pp. 1157-1167. <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0628-z>
- 70) Mirian, M. Karampoor, M. Moradi, M. Ghaemi, H & Nasiri, B. (2018). Analysis of the long-term temperature trend of the observation stations in Iran (period 1960-2010), *Journal of Geography*, Vol. 16, No. 58, pp. 49-63. [Persian]. https://mag.iga.ir/article_253446.html
- 71) Masoodian, S.A. Darand, M. & Nazemi, G. (2019). Analysis of Iran's thermal seasons and variation during last decades, *Geography and Development*, Vol.17, No. 55, pp. 45-62. [Persian]. 10.22111/GDIJ.2019.4578
- 72) Mehrzad, H. Saligheh, M. Akbari, M. & Hejazizadeh, Z. (2019). Detecting the Influential Phases of the Quarterly Oscillating Index (QBO) on Increasing Number of Days with Heavy Rainfall in the Southern Half of Iran, *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 15-28. [Persian]. https://www.ims-jmas.net/article_115306.html

- 73) Omidvar, K. & Jafarinadoshan, M. (2014). Study of Arctic Oscillation Effect on Temperature and Precipitation Fluctuations at Winter in Central Iran, Vol.11, No. 41, pp. 65-76. [Persian]. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_7933.html
- 74) Pourgholam, M. Ansari, M. Araghinejad, S. & Babaeian, I. (2021). Modeling the Relationship between Dust Storms and Extreme and Average Temperature Variables in the Western Half of Iran. *Journal of Climate Research*, Vol. 12, No. 45, pp.113-126. [Persian]. https://clima.irimo.ir/article_132210.html
- 75) Park, C. & Son, S. (2022). Relationship between the QBO and Surface Air Temperature in the Korean Peninsula, *Atmosphere*. Korean Meteorological Society, Vol. 32, No.1, pp. 39-49.
- 76) Rivandi, A. Mohamadiha, A. & Mohammad Pur, M. (2014). Effect of Teleconnection patterns of South West Asia Region: A Case Study Quasi-biennial oscillation, The 16th Iran Geophysics Conference, pp. 331-336. [Persian].
- 77) Salahi, B. & Hajizadeh, Z. (2013). An analysis on the relationship between North Atlantic Oscillation and sea surface temperature of Atlantic Ocean with rainfall & temperature variability in Lorestan province, *Geographical Research*, Vol.28, No. 3, pp.117-128. [Persian]. https://jgr.ui.ac.ir/article_17999.html
- 78) Safarrad, T. Rordeh, H. & Sabanpour nouzari, S. (2017). Relationship between Teleconnection patterns and water cycle in the Atmosphere of IRAN, *Quarterly Journal of International Geographic Society of Iran*, No 54, pp. 263-274. [Persian].
- 79) Song, X. Yin, Z. & Zhang, Y. (2023). Subseasonal reversals of winter surface air temperature in mid-latitude Asia and the roles of westward-shift NAO, *Environmental Research Letters*, Vol.18, No. 3, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb787>
- 80) Yoshio, K. Kevin, H. & Shingo, W. (2011). The Quasi-Biennial Oscillation in a Double CO2 Climate, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 68, No. 2, pp. 265-283. <https://doi.org/10.1175/2010jas3623.1>
- 81) Young, K.L. & Hye, D.V. (2015). Comparison of the impact of the Arctic Oscillation and Eurasian teleconnection on interannual variation in East Asian winter temperatures and monsoon, *Theor Appl Climatology*, Springer, Vol.17, No. 124, pp. 267-279. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1418-x>
- 82) Young, In. W. & Jang, M .Y. (2013). Intensity of climate variability derived from the satellite and MERRA reanalysis temperatures: AO, ENSO and QBO, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 95-96, No. 1, pp. 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2013.01.002>
- 83) Yuna, L. Seok, Woo S. Andrew G, M. Harry, H. H. & Kyong, Hwan S. (2019). Influence of the QBO on MJO prediction skill in the sub-seasonal-to-seasonal prediction models, *Climate Dynamics*, Vol. 53, No. 4, pp.1-15. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04719-y>
- 84) Zhou, H. & FAN, K. (2023). Intensified Impact of the Equatorial QBO in August–September on the Northern Stratospheric Polar Vortex in December–January since the Late 1990s, *Journal of Meteorological Research*, Vol. 36, No. 5, pp. 703-717. <https://doi.org/10.1007/s13351-022-2012-7>
- 85) Wenwen, Xu & Hong, Li. (2023). A CEOF-based method for measuring amplitude and phase properties of the QBO, *Climate Dynamics*, Vol 61, No. 3, pp. 923-937. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-066>