



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و چهارم، شماره ۸۸
زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۹۱-۱۶۸

علی شاهبایی کوتنایی^۱

حسین عساکره^۲

تحلیل همدید - پویشی موج‌های سرمای زمستانه در ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۵

چکیده

یکی از رویدادهای مهم اقلیمی که تاثیر زیادی در زندگی موجودات زنده دارد، رویدادهای فرین دمایی می‌باشد. روزهای سرد و موج‌های سرمایی نمونه‌ای از رویدادهای فرین دمایی هستند که در آن‌ها مقادیر غیر معمول دمای کمینه مشاهده می‌شود. ایجاد این شرایط دمایی، تابع الگوهای همدید و پویشی پیچیده‌ای می‌باشد که شناسایی آن‌ها می‌تواند در افزایش آگاهی از چگونگی تشکیل این شرایط و پیش‌بینی حالات مشابه و در نتیجه کاهش خسارات احتمالی مفید باشد. در این پژوهش بر اساس مفهوم نسبی بودن سرما در زمان و مکان، موج سرما به شرایطی اطلاق شد که در آن نمره‌ی استاندارد دمای کمینه کمتر از $1/2$ - باشد؛ حداقل ۳ روز تداوم یابد و بیش از ۲۰ درصد مساحت کشور را فراگیرد. به منظور تامین اهداف پژوهش حاضر از دو پایگاه داده‌ی محیطی (دمای کمینه) و جوی (فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای جو و مولفه‌ی باد مداری و نصف النهاری) برای زمستان‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. نتایج بررسی الگوها نشان داد تمامی سرماهای فراگیر در کشور بر اثر شکل‌گیری الگوی پرفشار در سطح زمین ایجاد شده‌اند. نحوه‌ی آرایش دو سامانه‌ی پرفشار سیبری و آזור نقش بسیار مهمی در هدایت هوای سرد عرض‌های شمالی به سوی کشور ایفا کرده‌اند. قرارگیری کم‌فشارهای جنب قطبی در مناطق شمالی اروپا و روسیه نیز موجب شده هوای سرد قطبی

۱- گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول). E-Mail: shahbai2008@yahoo.com

۲- گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

به سمت عرض‌های جنوبی‌تر حرکت کند. الگوهای تراز میانی جو نیز در ایجاد و تداوم امواج سرمایی تاثیر بسزایی داشته‌اند. به گونه‌ای که شدیدترین، فراگیرترین و مداوم‌ترین امواج سرمایی زمستانی هنگامی شکل گرفته‌اند که سامانه‌های مانع در شرق اروپا استقرار یافته و ناوهای شرقی آن‌ها بر روی ایران قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تحلیل همدید، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل پوششی، سرمای فراگیر، ایران

مقدمه

زندگی انسان همواره تحت تاثیر شرایط آب و هوایی قرار داشته (Karimi et al., 2013: 56) و امروزه آب و هوا جزء مهمی از زندگی روزمره‌ی انسان‌ها شده است (Mirzaei et al., 2022: 166). یکی از فراسنج‌های آب و هوایی که همواره نقش مهمی در تغییرات شرایط زندگی انسان‌ها ایفا نموده است، دما می‌باشد. مقداری از انرژی تابشی خورشید که به وسیله‌ی عوارض سطح زمین جذب و به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود؛ به شکل دما یا درجه‌ی حرارت جلوه می‌کند (Kaviani and Alijani, 2016: 230). دما از ارکان اصلی سامانه‌ی اقلیم است که تمامی سامانه‌های زیستی و غیر زیستی را متاثر می‌کند (Hoseinpoor et al., 2023: 87). عامل اصلی ایجاد تفاوت‌های دمایی در نقاط مختلف کره‌ی زمین، متفاوت بودن زاویه‌ی تابش خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف می‌باشد (Jamalizadeh et al., 2019: 865)؛ اما اگر این عامل را به عنوان تنها عامل موثر در تغییرات دمایی بپذیریم، تغییرات دما در طول یک سال و در سال‌های مختلف سیر منظمی خواهد داشت، در صورتی که در طبیعت چنین نیست و عواملی مانند توپوگرافی منطقه، جهت دامنه‌ها، پوشش خاک، دوری یا نزدیکی به پهنه‌های آبی و سامانه‌های جوی منطقه‌ای و سیاره‌ای این نظام را بر هم می‌زنند (Lashkari, 2009: 6; Masoodian, 2011: 122). نتیجه‌ی برهم خوردن شرایط معمول دمایی توسط عوامل محیطی و الگوهای جوی، وقوع تغییرات ناگهانی و رویدادهای حدی در مقادیر فراسنج دما می‌باشد. یک رویداد حدی رویدادی است که به ندرت نسبت به حالت نرمال اتفاق می‌افتد. رخدادهای حدی می‌توانند اثرات بسیار جدی اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی، اکولوژیکی و ... داشته باشند (Ghasemifar and Naserpour, 2018: 140). وقایع حدی، تغییرات در سیستم طبیعی و انسانی را بیشتر از میانگین شرایط اقلیمی تحریک می‌کنند (Peterson and Coauthors, 2008: 15). یکی از حالت‌های ویژه‌ی دمایی که در آن مقادیر حدی دمای کمینه مشاهده می‌شود امواج سرما است (Masoodian and Darand, 2013: 173). امواج سرما و یخبندان‌ها یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مورد مطالعه در اقلیم‌شناسی است که از نوسانات (نوسانات روزانه) دما در طول زمان ناشی می‌شود و به افت درجه حرارت به زیر صفر درجه‌ی سانتی‌گراد و کمتر از آن اطلاق می‌شود که در آن دمای هوا در ارتفاع ۱ یا ۲ متری از سطح زمین، به صفر یا زیر صفر درجه‌ی سانتی‌گراد نزول کند (Farajzadeh, 2014: 120). احتمال وقوع امواج سرمایی در تمام طول سال

وجود دارد اما در فصل زمستان به دلیل کم بودن زاویه تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیشتری عمل نموده (Asakereh and Shahbaee Kotenae, 2018: 112) و می توانند باعث ایجاد خسارت در بخش های مختلف اقتصادی، زیست محیطی و عمرانی مانند جاده سازی، سد سازی و پل سازی شوند (Hozhbar pour and Alijani, 2008: 90). شکل گیری موج های سرمای تابع الگوهای همدید و پویایی پیچیده می باشد که برخی از آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته اند. واکاوی الگوهای همدید و شرایط پویایی ایجاد کننده ی امواج سرمای در زمستان می تواند به شناخت بنیادی عوامل پدید آورنده و ویژگی های آنها کمک موثری نموده (Jahanbakhsh et al., 2012: 5) و در افزایش شناخت ما از چگونگی شکل گیری الگوهای موج های سرمای و شرایط تکرار آنها در آینده کمک کننده باشد. در زمینه مطالعه ی امواج سرمای و الگوهای ایجاد کننده ی آن مطالعات مختلفی در ایران و سایر نقاط جهان صورت پذیرفته است؛ از جمله (Serrano et al (2022); Demirtas (2022); Teringa et al (2022); Karimi et al (2020); Xie et al (2019); Aalijahan et al (2019); Asakereh and Shahbaee Kotenae (2019); Karimi et al (2013); Roustae et al (2016); Dizerence et al (2017); Asakereh and Shahbaee Kotenae (2018) در این زمینه به تحلیل شرایط شکل گیری امواج سرمای و عوامل جوی و محیطی موثر در آن پرداخته اند. بررسی این پژوهش ها نشان داد نفوذ سامانه های پرفشار سرد، شکل گیری ناهای تراز میانی جو بر روی منطبق مختلف و برهم خوردن شرایط عادی سامانه ی گردش عمومی جو از طریق ایجاد سامانه های بندالی در کنار نقش عوامل محیطی از قبیل پراکنش ناهمواری های سطح زمین، از جمله عوامل شناخته شده ی ایجاد موج های سرمای در نواحی مختلف جهان به شمار می روند. بر این اساس هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی و تحلیل الگوهای همدید و شرایط دینامیکی موثر در شکل گیری موج های سرمای فصل زمستان در ایران می باشد. در این پژوهش تلاش شده تا با استفاده از داده های دمای کمینه با دوره ی آماری طولانی (۵۵ سال) و بهره گیری از داده های ترازهای مختلف جو، سازوکار همدید - پویایی موثر در شکل گیری موج های سرمای زمستانی در کشور با دقتی بالا شناسایی گردد.

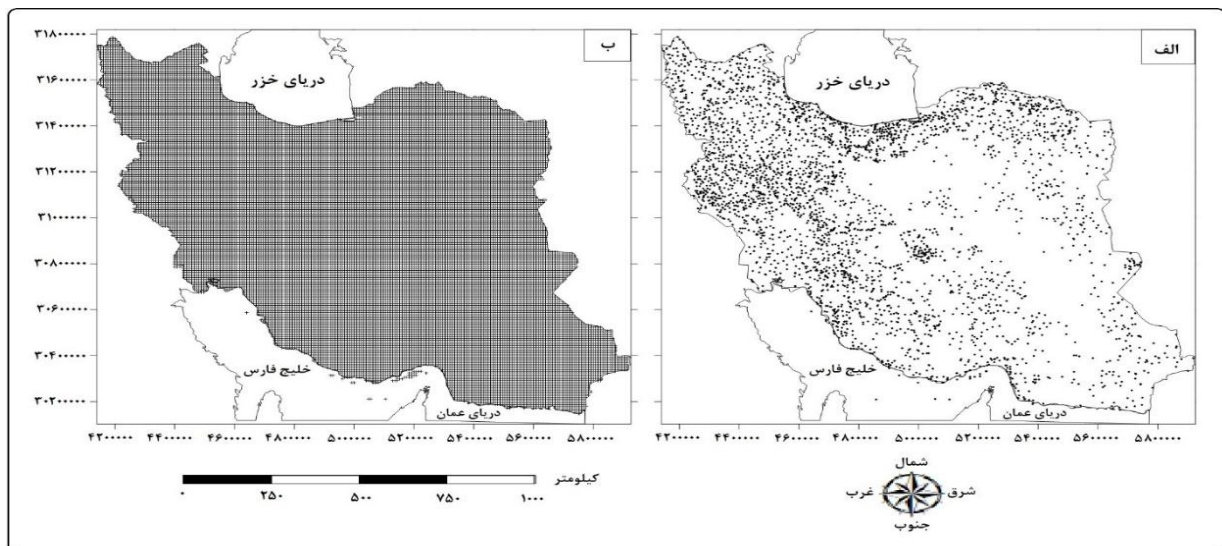
مواد و روش ها

محدوده ی مورد مطالعه

محدوده ی مورد مطالعه در این پژوهش شامل تمامی پهنه ی کشور ایران می باشد (شکل ۱-الف). سرزمین ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع، مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است - (Asakereh and Shahbaee Kotenae, 2019: 5). ایران کشوری است ناهموار و ارتفاع میانگین آن از تراز دریا حدود ۱۲۵۰ متر است و نقش ناهمواری ها در آرایش مکانی دمای ایران کاملاً آشکار است (Asakereh and Shahbaee Kotenae, 2018: 8)؛ با این حال دخالت دیگر عناصر جوی به ویژه رطوبت سبب می شود تا افتاهنگ

محیطی دما در همه جای ایران یک اندازه نباشد. بر این اساس میانگین دمای ایران ۱۸ درجه‌ی سلسیوس و میانگین دمای کمینه‌ی آن ۱۱ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد (Masoodian, 2011: 25).

در پژوهش حاضر تلاش شده تا با استفاده از دو گروه داده‌ی محیطی و جوی و بهره‌گیری از روش‌های آماری، تحلیل‌های هم‌دید و پویشی، موج‌های سرمای زمستانی در پهنه‌ی کشور شناسایی شده و الگوهای جوی متناظر با آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. داده‌های محیطی مورد استفاده شامل داده‌های دمای کمینه در دوره‌ی ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۴ بوده که به دو صورت تامین و آماده سازی شده‌اند. گروه اول داده‌ها، داده‌های میان‌یابی شده‌ی دمای کمینه‌ی پایگاه داده‌ی اسفزاری بوده که توسط دکتر مسعودیان طراحی گشته است. توان تفکیک سلولی این داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر می‌باشد و دوره‌ی زمانی آن از تاریخ ۱۳۴۰/۱۰/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ (۳۸۴۸ روز) است. به منظور افزایش طول دوره‌ی آماری، داده‌های دمای کمینه‌ی ۲۱۸۸ ایستگاه هم‌دید و اقلیم شناسی برای دوره‌های ۱۳۳۹/۱۰/۱ تا ۱۳۳۹/۱۲/۲۹ و ۱۳۸۳/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ (۱۱۴۸ روز) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده و با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ با توان تفکیکی مشابه داده‌های اسفزاری میان‌یابی شده (شکل ۱-ب) و در نهایت با جمع داده‌ها، پایگاه داده‌ی نهایی با توان تفکیک ۴۹۹۶×۷۱۸۷ تشکیل شده است.



شکل ۱: الف) پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش، ب) پوشش داده‌های یاخته‌ای در پهنه‌ی ایران

Figure 1: a) Distribution of stations used in the research, b) Cell data coverage in the area of Iran

گروه دوم داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های جوی بوده که از اطلاعات مربوط به فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (متر)، دمای جو و همچنین باد مداری و نصف النهاری تشکیل شده است. این گروه از داده‌ها برای دوره‌ی ۱۳۳۹/۱۰/۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ با توان تفکیک $2/5 \times 2/5$ درجه‌ی قوسی از پایگاه داده‌ی NCEP/NCAR دریافت شده است. لازم به ذکر است که محدوده‌ی بررسی داده‌های فشار تراز دریا و جو بالا در این پژوهش از ۰ تا ۸۰ درجه‌ی طول شرقی و از ۱۰ تا ۷۰ درجه‌ی شمالی انتخاب شده است.

در پژوهش حاضر به منظور شناسایی امواج سرمای زمستانه در کشور ابتدا صدک اول، پنجم و دهم داده‌های میان‌یابی شده‌ی دمای کمینه (برای ۷۱۸۷ یاخته) محاسبه شد و نقشه‌های آن‌ها ترسیم گردید. سپس با مقایسه‌ی نقشه‌های صدک های مختلف برای ماه‌های دی، بهمن، اسفند مشخص شد که صدک دهم پایین‌ترین دماها به صورت بهتری پوشش‌های سرما در مناطق مختلف کشور را نمایش می‌دهد؛ در نتیجه صدک دهم به عنوان مبنای انجام محاسبات بعدی انتخاب شد. سپس با توجه به تحقیقات (Alijani and Houshyar, 2009) و (Masoodian and Darand, 2013) دو شرط برای شناسایی امواج سرمای در کشور تعریف شد. بر اساس شرط اول روزهایی به عنوان روز همراه با موج سرما در نظر گرفته شد که نمره‌ی استاندارد صدک دهم دمای کمینه‌ی آن‌ها مساوی یا کمتر از $1/2$ - باشد. با تعریف این شرط فقط دماهای خیلی پایین برای هرکدام از ۷۱۸۷ یاخته‌ی مورد بررسی مورد توجه قرار گرفته و مفهوم نسبی بودن سرما برای مناطق مختلف کشور رعایت شده است. شرط دوم نیز تداوم این سرماها به مدت حداقل ۳ روز بوده است. اعمال این شرط موجب شده که سرماهای دارای منشا سامانه‌ای از سرماهای محلی که بر اثر عوامل محلی (مانند ارتفاع) و یا بر اثر صاف بودن هوا و سرمایش تشعشعی شکل گرفته‌اند تفکیک گردند.

در ادامه درصد مناسب جهت تشخیص امواج سرمای فراگیر در پهنه‌ی کشور مورد شناسایی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف از نمودار جعبه‌ای استفاده شده است. با بررسی و مقایسه‌ی نمودارهای پوشش سرما در درصدهای مختلف، مشخص شد مقدار ۲۰ درصد پوشش به عنوان حداقل پوشش، برای شناسایی امواج سرمای فراگیر در سطح کشور مناسب می‌باشد. با انتخاب پوشش ۲۰ درصد می‌توان امواج سرمای که در بخش‌های کمتری از کشور گسترش می‌یابند اما سامانه‌های پیچیده‌ی همدید مولد آن‌ها هستند را نیز مورد شناسایی و تحلیل قرار داد.

در بخش بعد، با انجام تحلیل خوشه‌ای گروه‌های مشابه در نقشه‌های دمای کمینه سطح زمین مورد شناسایی و طبقه‌بندی قرار گرفت. تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری است که در زمینه‌ی کاهش داده‌ها و پیدا کردن گروه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دسته‌بندی داده‌ها در این روش بر اساس مشابهت‌ها و عدم مشابهت‌ها انجام می‌شود (Khosravi and Nazaripour, 2010: 66). در یک تحلیل خوشه‌ای دو گام اساسی وجود دارد: گام اول محاسبه‌ی درجه‌ی همانندی بین داده‌ها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام (پیوند) داده‌ها بر حسب درجه‌ی همانندی آن‌ها با یکدیگر است (Nazaripour and Saeidabadi, 2012: 90). در این پژوهش به منظور تشخیص

درجه ی همانندی بین داده ها از روش فاصله ی اقلیدسی استفاده شده است. این فاصله از طریق رابطه ی زیر محاسبه می گردد:

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' \quad (۱)$$

که در آن بردار مشاهدات بر روی r و X_s بردار مشاهدات بر روی s می باشد.

پس از اندازه گیری درجه ی همانندی، به منظور ادغام داده های مشابه، از روش وارد استفاده شده که رابطه ی اصلی آن بدین شرح می باشد:

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (۲)$$

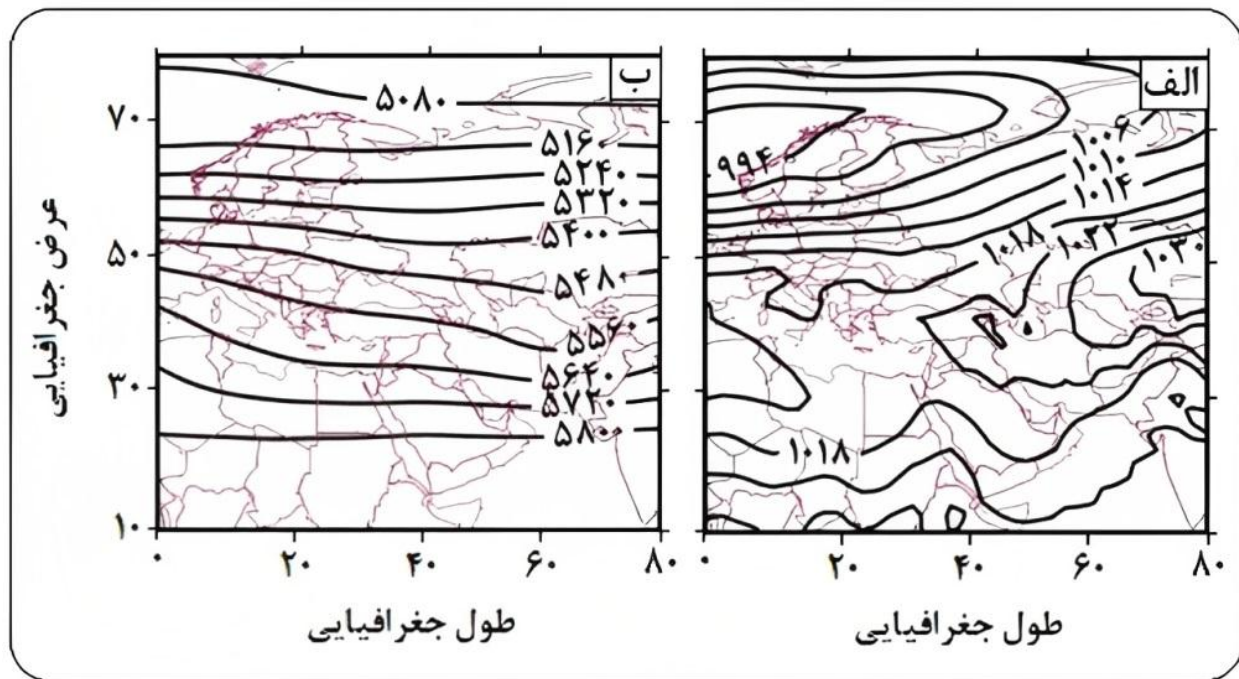
در اینجا d_{rs}^2 فاصله ی بین گروه r و گروه s است که به روش وارد به دست آمده است. در این شرایط میزان پراش درون گروهی به حداقل می رسد و همگنی گروه های حاصله حداکثر می شود (Nazaripour and Saeidabadi, 2012: 91).

بر اساس توضیحات بیان شده و با تعریف شرط های شناسایی موج های سرما، ۴۹۲ روز همراه با موج سرمای فراگیر در سطح ایران شناسایی شد که با انجام طبقه بندی توسط روش تحلیل خوشه ای در نهایت در ۵ گروه طبقه بندی شده و در بخش نهایی این پژوهش، نقشه های متوسط فشار تراز دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فرارفت دما در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر یک از گروه های پنج گانه ترسیم شد و الگوهای همدید عامل ایجاد و تداوم امواج سرمای زمستانه در کشور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

شکل (۲) نقشه های میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای الگوی اول را نمایش می دهد. در شکل (۲-الف) مشاهده می شود که مرکز سامانه ی پرفشار سیبری روی آسیای مرکزی قرار دارد. زبانه ای از این سامانه با فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکال به سوی غرب پیش روی نموده و بیش از نیمی از مساحت ایران را فراگرفته است؛ همچنین پرفشار آזור با فشار مرکزی ۱۰۲۲ هکتوپاسکال در بخش های جنوب غربی اروپا قرار دارد و زبانه ی ۱۰۱۸ هکتوپاسکالی آن با پرفشار سیبری ترکیب شده و یک مرکز پرفشار گسترده را ایجاد نموده است. سامانه ی کم فشار ایسلند نیز در بخش های شمالی اروپا استقرار یافته و زبانه های آن در سرتاسر مناطق اسکاندیناوی و شمال روسیه کشیده شده است. میزان فشار بخش مرکزی این سامانه که در منطقه ای بین ایسلند و نروژ قرار دارد ۹۹۴ هکتوپاسکال می باشد. بر اساس نقشه ی (۲-ب) که مربوط به شرایط میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی اول می باشد نیز مشخص است که در شرایط معمول در قسمت های جنوب غرب اروپا و همچنین حوالی آسیای مرکزی سامانه های پراارتفاع استقرار داشته و در مناطق شمال شرقی ایران شرایط جهت استقرار ناوه ها و نفوذ هوای سرد قسمت عقبی آن ها

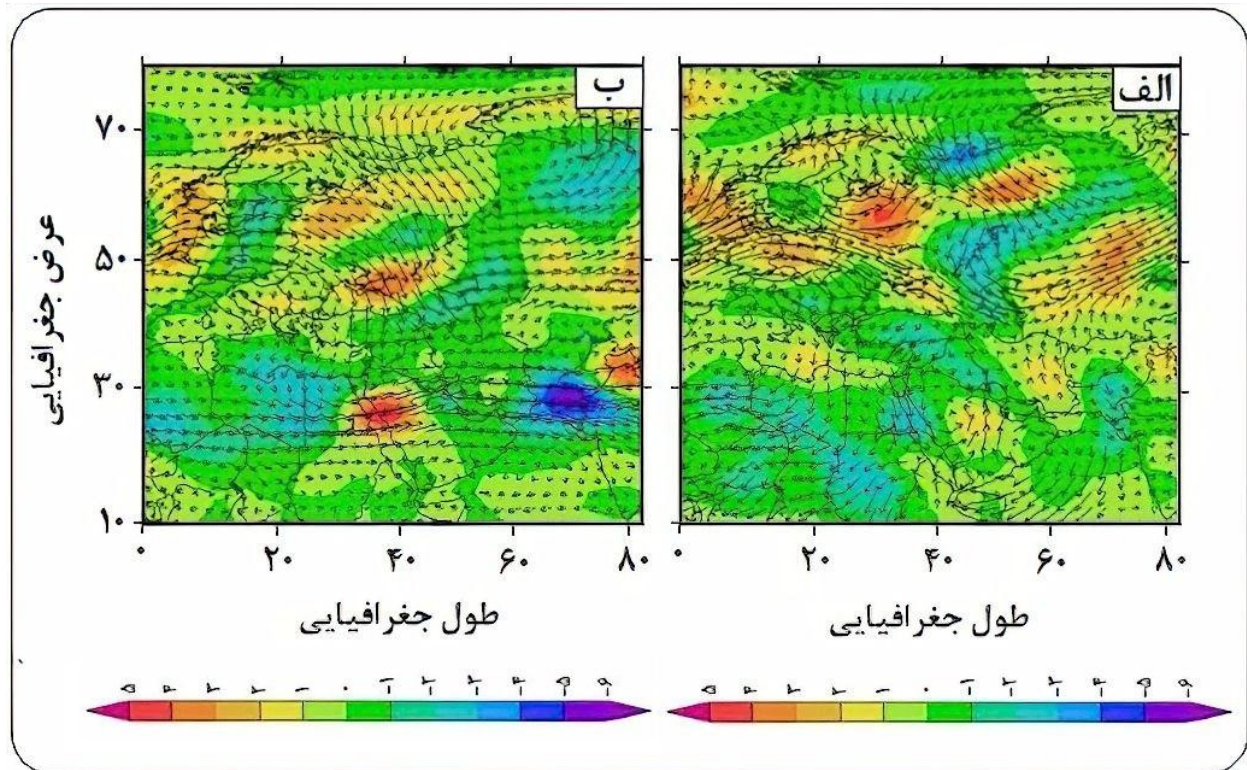
مساعد بوده است. نکته‌ی قابل توجه در این نقشه تغییر تدریجی محل قرارگیری خطوط هم‌ارتفاع از اروپا به سمت ایران می‌باشد؛ به عنوان مثال خط ۵۵۶۰ ژئوپتانسیل متر در بخش‌های غربی اروپا در حدود عرض جغرافیایی ۴۴ درجه‌ی شمالی قرار گرفته است در حالی که این خط در بخش‌های شمال‌شرقی ایران در حدود عرض ۳۸ درجه‌ی شمالی قرار دارد که این موضوع بیان‌گر مساعد بودن شرایط جهت ریزش هوای سرد از بخش‌های شمالی اروپا به سوی ایران در این الگو می‌باشد. با تجزیه و تحلیل این الگو مشخص شد عامل اصلی ایجاد موج‌های سرمای توسط آن، قرارگیری سامانه‌ی کم‌فشار در شمال اروپا و غرب روسیه و انتقال اجباری دو سامانه‌ی پرفشار به سمت عرض‌های پایین‌تر می‌باشد. برهمکنش جریانات پادساعتگرد هوا در این سامانه با جریانات ساعتگرد هوا در پرفشار آזור با همراهی شارش‌های سرد در تراز میانی جو باعث کشیده شدن جریان هوای سرد از مناطق شمالی اروپا به سمت کشور شده است؛ همچنین تلفیق زبانه‌های پرفشار آזור و سیبری باعث تداوم انتقال هوای سرد به سمت کشور شده است.



شکل ۲: الف) میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب) میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی اول
Figure 2: a) Average Sea level pressure (hectopascals), b) The average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the first pattern

شرایط متوسط فرارفت دما و جهت جریانات هوا در الگوی اول و برای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل (۳) نشان داده است. در این نقشه‌ها پیکان‌ها جهت حرکت هوا و رنگ‌های پس زمینه متوسط میزان فرارفت دمایی به صورت درجه‌ی سلسیوس در هر ۶ ساعت را نشان می‌دهند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، برهمکنش سامانه‌ی پرفشار آזור و کم‌فشار مستقر در روسیه سبب شده که دالانی از هوای سرد بین مناطق شمالی اروپا و بخش‌های شمالی و غربی ایران ایجاد شود و جریانات هوا از شمال اروپا به سمت ایران حرکت کنند. این موضوع با توجه به جهت پیکان‌ها در

شمال دریای خزر و شمال دریای سیاه کاملا مشخص است. در بخش‌هایی از نوار شمالی و همچنین غرب کشور فرارفت منفی دما وجود دارد که مقدار آن یک درجه‌ی سلسیوس کاهش در هر ۶ ساعت بوده است. در بخش‌های شرقی فرارفت هوای گرم مشاهده می‌شود که به دلیل قرار گرفتن این مناطق در بخش‌های غربی سامانه‌ی پرفشار سیبری و حرکات ساعتگرد هوا در آن قسمت می‌باشد. در نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرارفت هوای سرد مناطق بیشتری از کشور را فراگرفته و میزان فرارفت سرد در اکثر مناطق کشور ۱ درجه در هر ۶ ساعت بوده است. نفوذ توده‌های سرد در این تراز از سمت شمال‌غرب و غرب اتفاق افتاده است.

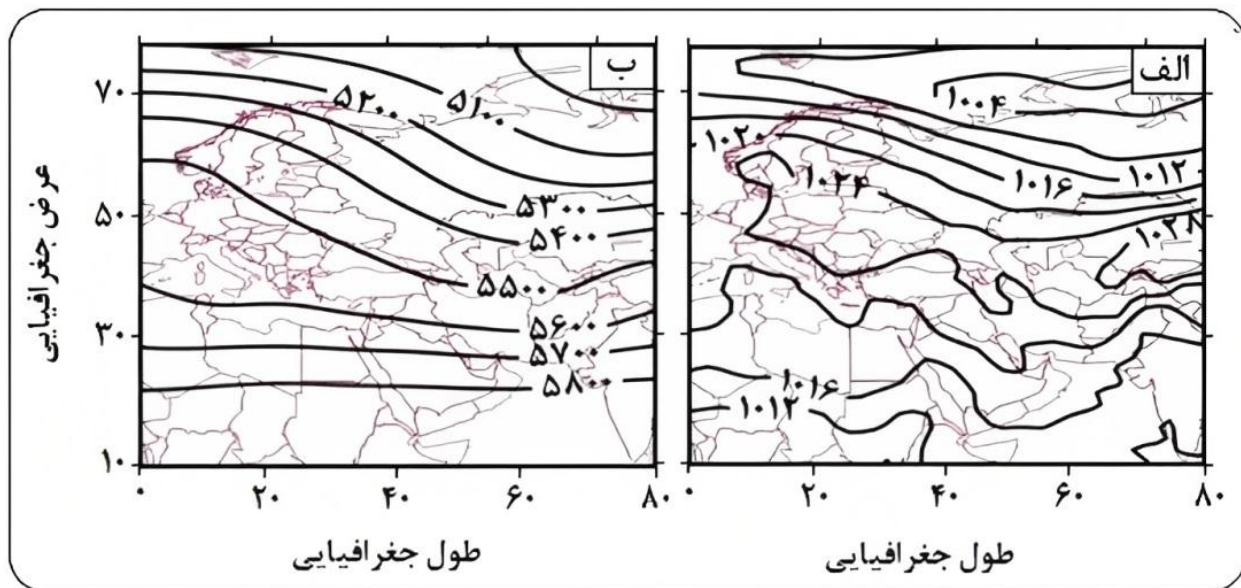


شکل ۳: فرارفت دما و جهت جریان‌های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰ (ب) هکتوپاسکال برای الگوی اول

Figure 3: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the first pattern

در نقشه‌ی میانگین فشار تراز دریا مربوط به الگوی دوم (شکل ۴-الف) کانون پرفشاری با فشار ۱۰۲۴ هکتوپاسکال در اروپای مرکزی قرار گرفته و پرفشار سیبری در بخش‌هایی از آسیای مرکزی و مغولستان قرار دارد. سامانه‌ی کم‌فشاری نیز در بخش‌های شمالی روسیه مستقر بوده که فشار بخش مرکزی آن ۱۰۰۴ هکتوپاسکال می‌باشد. براساس این الگو سامانه‌ی پرفشار سیبری به دلیل محل قرارگیری تاثیر کمتری در فعل و انفعالات این الگو دارد اما نحوه‌ی قرارگیری دو سامانه‌ی پرفشار اروپا و کم‌فشار جنب قطبی باعث شده است تا هوای سرد قطبی در مسیری شمالی - جنوبی به سمت

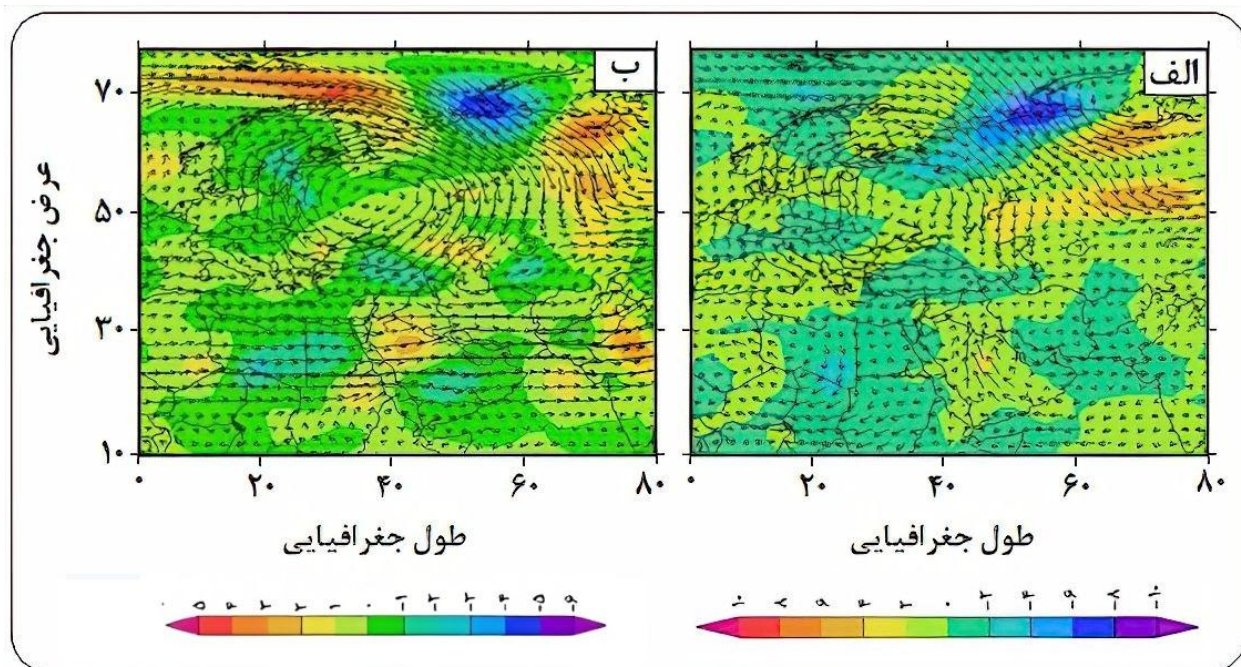
ایران سرازیر شود با توجه به شکل (۴-ب) مشاهده می شود که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پشته ای در قسمت های مرکزی اروپا قرار دارد. در بخش های شمال شرقی آن یک سامانه ی کم ارتفاع با ارتفاع ۵۰۰۰ ژئوپتانسیل متر در شمال روسیه قرار گرفته است. همچنین ناوهای در آسیای مرکزی و شمال شرق ایران مشاهده می شود؛ در این تراز خط هم ارتفاع ۵۵۰۰ متر به صورت مماس با مرزهای شمالی ایران مشاهده می شود در حالی که این خط در غرب اروپا در حوالی عرض ۶۰ درجه ی شمالی قرار دارد. این امر به خوبی حالت متوسط تغییرات مکانی ارتفاع جو در محدوده ی مورد بررسی را مشخص می کند.



شکل ۴: الف) میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب) میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی دوم
Figure 4: a) Average Sea level pressure (hctopascals), b) The average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the second pattern

شکل (۵) شرایط فرارفت دما و جهت باد در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی دوم را نشان می دهد. در نقشه ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می شود که در بخش هایی از شمال غرب، سواحل شمالی، شرق و جنوب کشور وزش سرد حاکم بوده است و میزان آن در حدود ۲ درجه ی سلسیوس کاهش در هر ۶ ساعت است. با توجه به جهت جریانات هوا در این سطح مشخص است که بر اثر قرار گیری سامانه ی کم ارتفاع در شمال روسیه و سامانه ی پرا ارتفاع در شرق اروپا جریانات هوای سرد با جهت کاملاً شمالی وارد بخش هایی از سواحل شمالی و شمال غرب کشور شده اند. در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) در قسمت هایی از شمال غرب، شمال شرق و بخش هایی از جنوب کشور وزش هوای سرد وجود داشته است و مقدار آن ۱ درجه ی سلسیوس کاهش در هر ۶ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در بخش های غربی سواحل شمالی و شمال غرب کشور شمال شرقی بوده که بر اثر حرکات

پادساعتگرد سامانه‌ی پرارتفاع شرق اروپا به وجود آمده است. نفوذ تدریجی این جریانات که به تدریج به دیگر مناطق نوار شمالی کشور گسترش یافته اند حاکی از ریزش هوای سرد به این مناطق می باشد. بر اساس نقشه‌های ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و نحوه‌ی قرار گیری سامانه‌های جوی می توان گفت منبع اصلی هوای سرد در این الگو نواحی جنب قطبی واقع در بخش‌های شمالی روسیه و اسکاندیناوی بوده است.



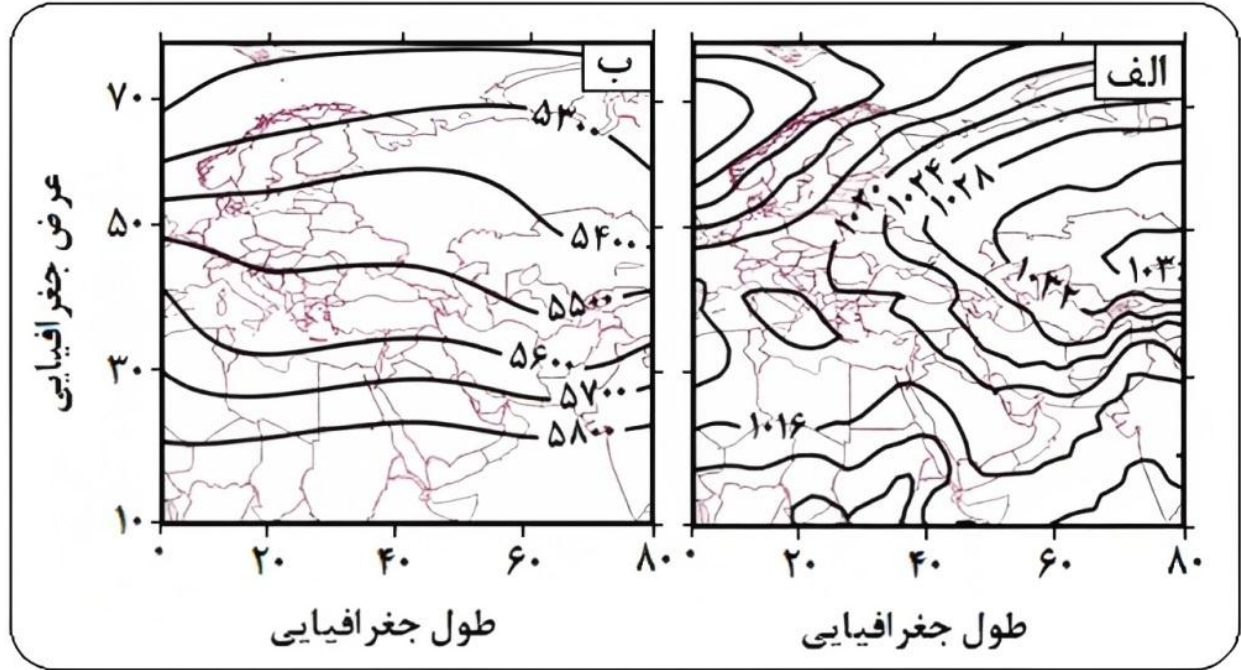
شکل ۵: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰ (ب) هکتوپاسکال برای الگوی دوم

Figure 5: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the second pattern

بر اساس شکل (۶-الف) در الگوی سوم، سامانه‌ی پرفشار سیبری با حرکت به سمت عرض‌های بالاتر در بخش‌های مرکزی روسیه مستقر شده است. پرفشار مذکور به حدی قدرتمند بوده که خط هم‌فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال کاملاً وارد کشور شده و اکثر مناطق را فرا گرفته است. همچنین خط هم‌فشار ۱۰۲۸ هکتوپاسکال نیز بخش‌هایی از شمال شرق و شمال غرب کشور را تحت تاثیر قرار داده است. به دلیل عقب‌نشینی سامانه‌های کم‌فشار ایسلند و پرفشار آזור به بخش‌های غربی‌تر، قدرت و محدوده‌ی نفوذ پرفشار سیبری بیشتر شده است. در این روز کانون کم‌فشار ایسلند کاملاً بر روی اقیانوس اطلس قرار گرفته و تنها زبانه‌ای از آن در غرب اروپا مستقر شده است. پرفشار آזור نیز بر روی کانون اصلی تشکیل خود یعنی مجمع‌الجزایر آזור قرار دارد.

در تراز میانی جو (شکل ۶-ب) در بخش‌های شرقی اروپا و غرب روسیه منحنی‌های هم‌ارتفاع از یک‌دیگر فاصله پیدا کرده‌اند که نشان دهنده‌ی شرایط مساعد این ناحیه در درازمدت جهت استقرار سامانه‌های پرارتفاع می باشد. در بخش

های شرقی ایران نیز ناوهای مشاهده می شود؛ به گونه ای که خطوط هم ارتفاع در این ناحیه دارای انحنایی به سوی جنوب می باشند. به صورت کلی الگوی موجود در این نقشه ها با الگوی سرمای موجود در نقشه ی روز نماینده شباهت زیادی دارد و در آن سامانه ی پرفشار سیبری عامل اصلی ایجاد موج های سرمای بوده است.



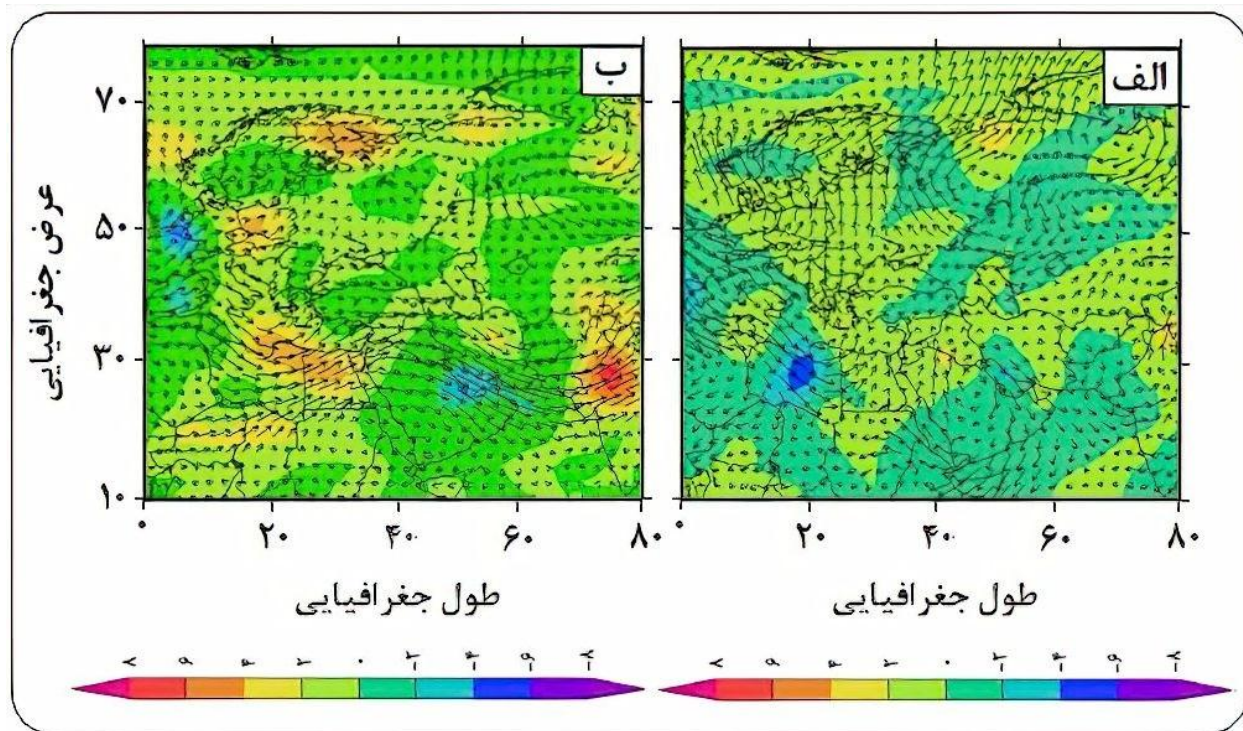
شکل ۶: الف) میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب) میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی سوم

Figure 6: a) Average Sea level pressure (hectopascals), b) Average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the third pattern

نقشه های شکل (۷) شرایط فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در الگوی سوم نشان می دهد. در این تراز در بخش -هایی از جنوب شرق، دامنه های زاگرس مرکزی و جنوب غرب کشور فرارفت هوای سرد وجود داشته و میزان آن در حدود ۲ درجه ی سلسیوس کاهش دما به ازای هر ۶ ساعت بوده است. در این تراز جریانات هوا در شمال روسیه دارای حرکتی ساعتگرد هستند که این حرکات باعث شده است تا جهت جریانات هوا در مجاورت مرزهای شمالی کشور، شمال شرقی باشد و می توان انتظار داشت در صورت شکل گیری این الگو با نفوذ بیشتر هوای سرد ناشی از پرفشار سیبری بخش های بیشتری از کشور تحت تاثیر فرارفت هوای سرد قرار گیرند. مناطق تحت پوشش فرارفت هوای سرد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبت به تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کمی گسترده تر شده و در این تراز تمام قسمت های غرب،

جنوب، نوار شرقی و بخش هایی از شمال شرق کشور تحت تاثیر وزش سرد قرار داشته اند. در این مناطق میزان وزش در مناطق ذکر شده بین ۲ تا ۳ درجه کاهش در هر ۶ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در سطح کشور

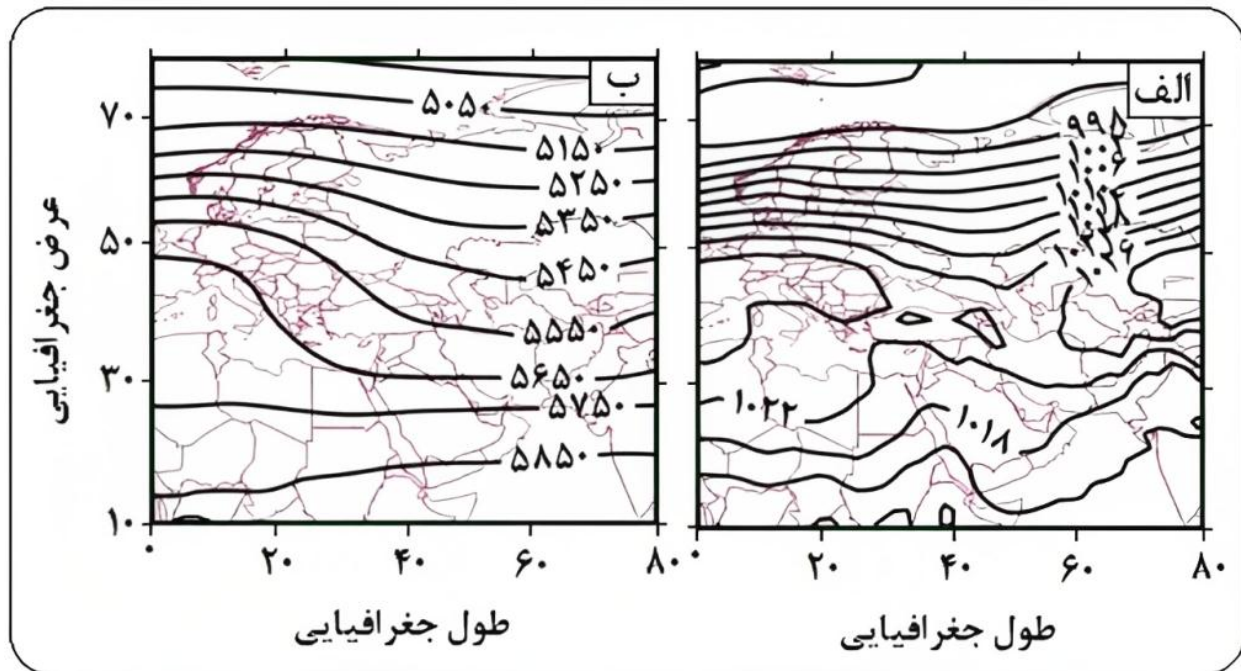
شمال غربی بوده که به دلیل قرار گرفتن کشور در جلوی پشته ایجاد شده است. به نظر می‌رسد منبع هوای سرد در این الگو از بخش‌های شمال شرقی روسیه بوده است.



شکل ۷: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰ (ب) هکتوپاسکال برای الگوی سوم

Figure 7: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the third pattern

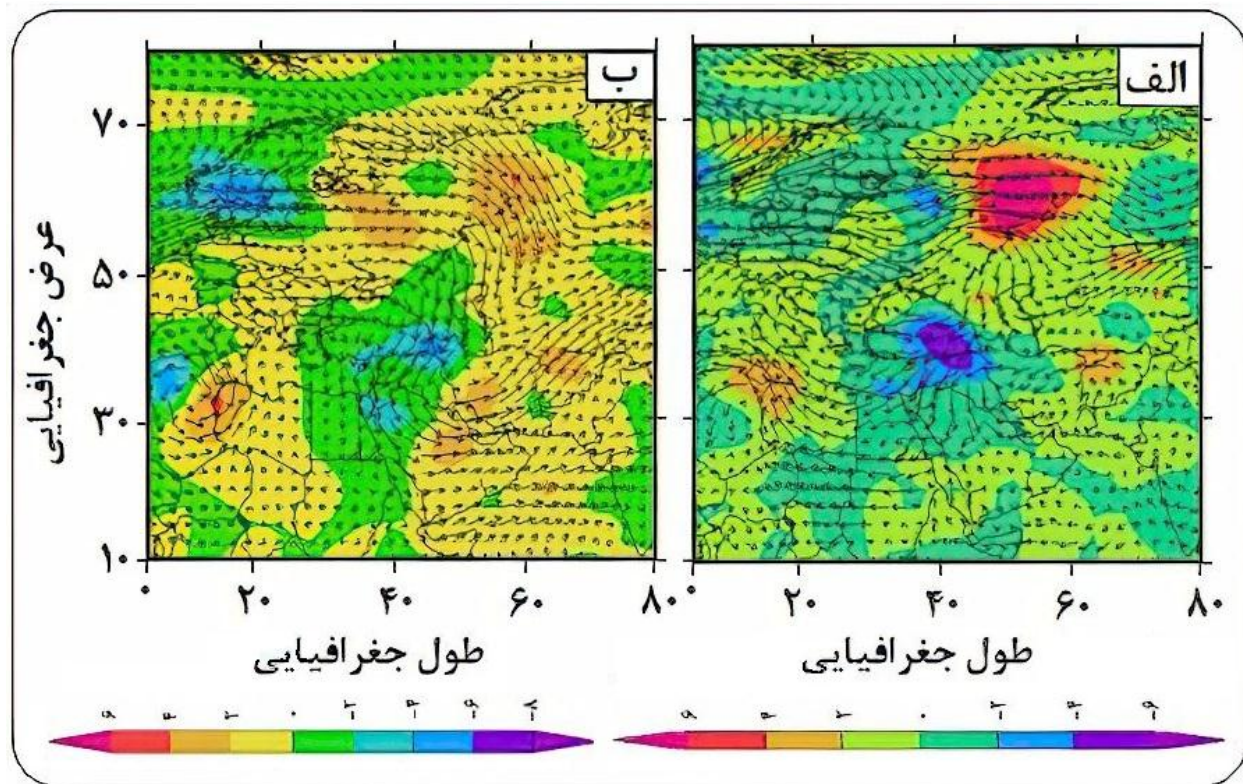
با توجه به نقشه‌ی (۸-الف) مشخص است که در الگوی چهارم کانون سامانه‌ی پرفشار سیبری روی مغولستان قرار گرفته و زبانه‌ی ۱۰۲۶ هکتوپاسکالی آن وارد بخش‌های شمال شرقی کشور شده است. از سوی دیگر پرفشار آזור نیز در بخش‌های جنوب اروپا مشاهده می‌شود. فشار قسمت مرکزی این پرفشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال می‌باشد. با توجه به پیوسته بودن خط هم‌فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکال در اطراف این سیستم‌ها به نظر می‌رسد در این الگو با یک پرفشار ترکیبی مواجه هستیم. در قسمت‌های شمالی‌تر اروپا و روسیه سامانه‌های کم‌فشار حاکمیت داشته و مانع گسترش پرفشارها به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر شده‌اند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-ب) دو سیستم پرفشار به ترتیب در غرب اروپا و شمال مغولستان مشاهده می‌شود. قرارگیری بازوی شرقی پرفشار غرب اروپا باعث جریان پیدا کردن هوای سرد از مناطق شمال اروپا به سوی ایران شده است. خطوط هم‌ارتفاع از حدود طول ۲۰ تا ۸۰ درجه‌ی شرقی و ۲۰ تا ۵۰ درجه‌ی شمالی از یکدیگر فاصله پیدا کرده‌اند. این وضعیت را احتمالاً می‌توان به کاهش فعل و انفعالات و سرعت جریانات هوا بر اثر قرارگیری سامانه‌های پرفشار در این نواحی نسبت داد.



شکل ۸: الف) میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب) میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی چهارم

Figure 8: a) Average Sea level pressure (hctopascals), b) Average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the fourth pattern

توزیع مکانی وزش دمایی و جهت جریانات هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی چهارم در شکل (۹) آمده است. آن گونه که دیده می شود در این روز در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مناطقی از شمال غرب، غرب سواحل شمالی و مرکز کشور وزش سرد وجود داشته است. مقدار وزش بین ۲ تا ۴ درجه کاهش دما در هر ۶ ساعت بوده و بیشترین مقدار آن در شمال غرب کشور رخ داده است. جهت جریانات هوا در نیمه ی شمالی کشور شمال شرقی تا شرقی بوده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مناطق تحت تاثیر وزش سرد به بخش هایی از سواحل جنوب غربی دریای خزر و شمال غرب کشور محدود شده است. میزان وزش سرد در مناطق ذکر شده ۲ تا ۶ درجه کاهش دما به ازای هر ۶ ساعت بوده است. در این الگو وجود حرکات شرق سوی پشته ی مستقر در اروپا موجب شده تا مناطق بیشتری از نیمه ی شمالی - غربی کشور تحت تاثیر وزش هوای سرد قرار گیرند. جهت حرکت هوا در این تراز کاملاً با نقشه ی همدید تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطبق است و در آن هوای سرد از قسمت های شمالی اسکاندیناوی به حرکت درآمده و پس از طی مسیری مارپیچی در قسمت شرقی پشته مستقر در اروپا، با جهتی شمال شرقی تا شمالی به مرزهای شمالی کشور ایران می رسد و به شمال غرب کشور نفوذ می کند. بنابراین منبع اصلی هوای سرد در این الگو نواحی شمال اروپا (اسکاندیناوی) می باشد.

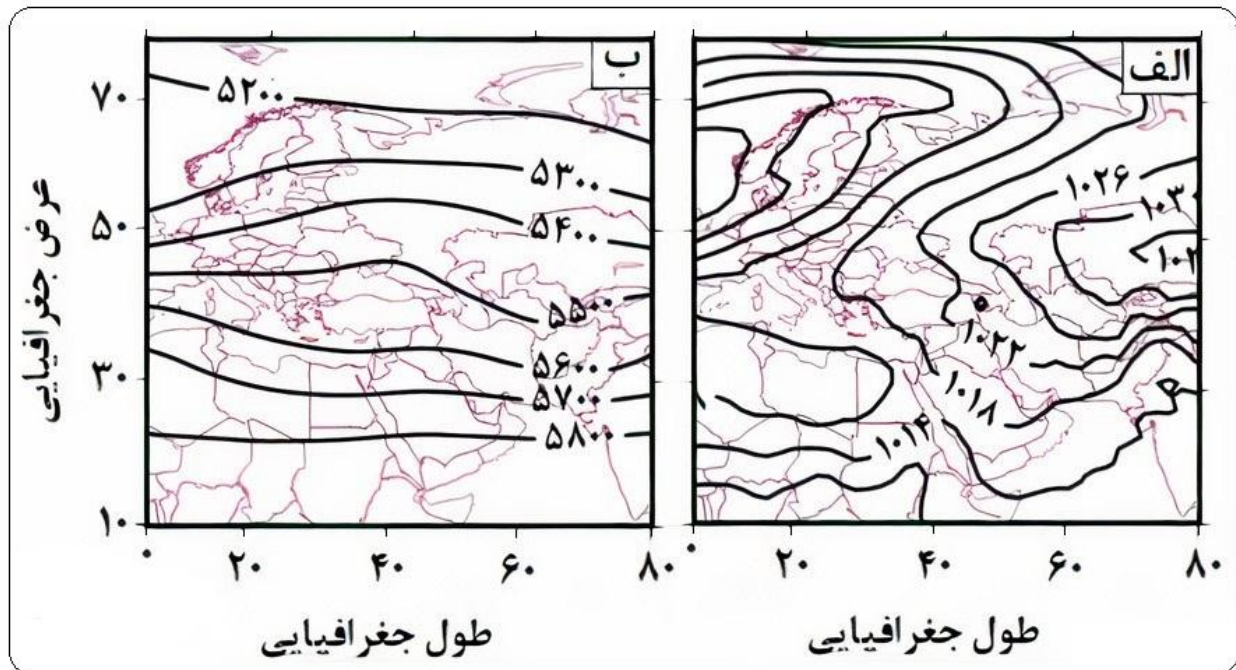


شکل ۹: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰ (ب) هکتوپاسکال برای الگوی چهارم

Figure 9: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the fourth pattern

با توجه به نقشه‌ی میانگین فشار تراز دریا (شکل ۱۰-الف) مشخص است که در ایجاد این الگو نقش پرفشار سبیری و کم‌فشار ایسلند و نحوه‌ی قرارگیری آن‌ها نسبت به یکدیگر خیلی اهمیت دارد. در این الگو کانون پرفشار سبیری در شمال غرب مغولستان قرار گرفته است. زبان‌های این سامانه بخش‌های وسیعی از آسیا، شرق اروپا، خاورمیانه و تمام ایران را فراگرفته است. در ایران بیشینه‌ی فشار ناشی از این پرفشار، ۱۰۲۶ هکتوپاسکال است که در شمال‌شرق کشور دیده می‌شود. کم‌فشار ایسلند نیز در شمال غرب انگلستان قرار دارد و زبان‌های آن در بخش‌هایی از غرب و شمال اروپا گسترش یافته‌اند. فشار بخش مرکزی این سیستم ۹۹۸ هکتوپاسکال می‌باشد. پرفشار آזור نیز با فشار ۱۰۱۸ هکتوپاسکال در حوالی جزایر آזור و شمال آفریقا استقرار یافته و در حالتی ضعیف‌تر از شرایط معمول خود قرار دارد. در تراز میانی جو (شکل ۱۰-ب) فشرده شدن خطوط هم‌ارتفاع در شرق اقیانوس اطلس و انحراف آن‌ها به سمت عرض‌های پایین‌تر نسبت به حالت معمول خود نشانه‌ای از وجود شرایط مساعد در این منطقه جهت نفوذ سامانه‌های کم‌ارتفاع به عرض‌های پایین‌تر می‌باشد. در بخش‌های شرق اروپا و در مناطق غربی ایران خطوط هم‌ارتفاع تا حدودی از یکدیگر فاصله پیدا کرده‌اند و تا حدودی به سمت عرض‌های بالاتر مایل هستند که نشان از تشکیل یا استقرار سامانه-

های پرارتفاع در این نواحی دارد. ایجاد این الگو باعث شده در نوار غربی کشور به تدریج افزایش دما و در نیمه شرقی آن ریزش هوای سرد و موج سرما ایجاد شود.



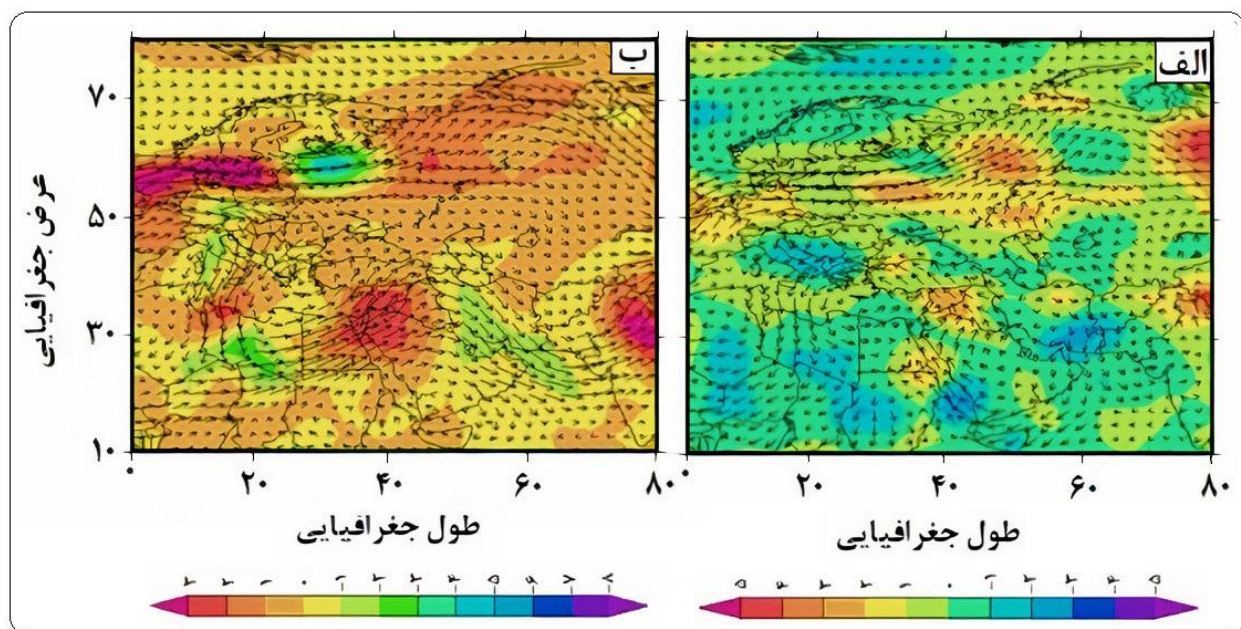
شکل ۱۰: الف) میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب) میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی پنجم

Figure 10: a) Average Sea level pressure (hectopascal), b) Average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the fifth pattern

بر اساس نقشه‌ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۱) مشخص است که الگوی پنجم در بخش‌هایی از شمال غرب و نیمه‌ی جنوبی کشور وزش سرد رخ داده است. بیشترین مقدار وزش سرد نیز در جنوب شرق کشور به میزان ۶ درجه کاهش به ازای ۶ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در سطح کشور شمال غربی تا شمالی بوده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به استثنای شمال شرق کشور که در آن مناطق وزش گرم وجود داشته، در سایر مناطق کشور وزش سرد حاکم بوده است. متوسط میزان این وزش در سطح کشور بین ۱- تا ۲- درجه در ۶ ساعت بوده است.

همچنین بیشترین مقدار وزش سرد در قسمت‌های مرکزی، دامنه‌های جنوبی زاگرس و جنوب شرق کشور اتفاق افتاده است. با شکل‌گیری این الگوی پویایی در نوار غربی کشور به دلیل نزدیک شدن پشته‌ی تراز میانی جو و نفوذ تدریجی هوای گرم جنوبی، مقدار وزش گرم افزایش یافته است. در این الگو جهت جریانات هوا در سطح کشور شمال غربی بوده است که احتمالاً تحت تأثیر استقرار نیمه‌ی شرقی کشور در قسمت عقب ناوای مستقر در افغانستان به وجود آمده است. بر اساس نقشه‌ها می‌توان عنوان کرد که منبع انتقال هوای سرد در این الگو از شمال غرب اروپا بوده و بر اثر برهمکنش کم‌فشار ایسلند و پرفشار مستقر در جنوب غرب اروپا و با تاثیرگذاری پرفشار سیبری در مسیری ماریچ به

سوی کشور هدایت شده است. چون هوای سرد در این الگو منشأ اقیانوسی داشته، شدت سرمایش آن در سطح کشور نسبت به سایر الگوها کمتر بوده است.



شکل ۱۱: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰ (ب) هکتوپاسکال برای الگوی پنجم

Figure 11: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the fifth pattern

نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی همدید - پوشی الگوهای مولد موج های سرمای فصل زمستان در ایران بوده است. نتایج حاصل از طبقه بندی داده ها پنج الگوی جوی موثر در وقوع موج های سرمای را مشخص نمود. در الگوی اول شکل گیری یک منطقه ی پرفشار گسترده از جنوب غرب اروپا تا مغولستان و وقوع حرکات پادساعتگرد کم فشار مستقر در روسیه و حرکات ساعت گرد هوا در محدوده ی پرفشار موجب ریزش هوای سرد قطبی به سوی ایران شده است. این وضعیت با قرارگیری ناوه ی تراز میانی جو در غرب کشور همراهی داشته است. در الگوی دوم قرارگیری کم فشاری در نزدیکی قطب شمال و پرفشاری در مرکز اروپا شرایط را جهت نفوذ هوای سرد قطبی به سوی ایران فراهم نموده است. استقرار یک سامانه ی بندالی در شرق اروپا و قرارگیری ناوه ی شرقی آن بر روی ایران تاثیر مهمی در ایجاد موج سرمای این روز داشته اند. در سومین الگو به طور مشخص نفوذ زبانه های پرفشار سیبری به ایران و استقرار یک پشته ی نسبتاً قدرتمند در شرق مدیترانه و بخش هایی از روسیه و شکل گیری ناوه ی عمیق بر روی ایران عامل نفوذ هوای سرد به ایران بوده اند. عامل ایجاد موج سرما در چهارمین الگو شکل گیری مرکز پرفشار گسترده در خاورمیانه و ناحیه ی کم فشار گسترده در شمال اروپا و روسیه و همراهی آن با پشته ی مستقر در غرب روسیه و ناوه ی مستقر بر روی ایران بوده که

موجب نفوذ هوای سرد به کشور شده است. در پنجمین الگو عامل اصلی ایجاد سرما بر همکنش میان سه سامانه ی کم- فشار ایسلند، پرفشار آזור و پرفشار سیبری بوده که موجب انتقال هوای سرد از شمال غرب اروپا به سوی خاورمیانه و ریزش آن به پهنه ی ایران شده است. نتایج این پژوهش در زمینه ی شناسایی عوامل و الگوهای موثر در ایجاد موج های سرمای در ایران با نتایج تحقیقات (Karimi et al (2020), Masoodian and Darand (2013) و Doostkamian et al (2018) مطابقت داشته و یافته های این پژوهش ها در مورد الگوهای اصلی مولد موج های سرمای زمستانه در ایران و شرایط پوشی همراه با آنها را به صورتی گسترده تر و همراه با طول دوره ی آماری بالاتر و تعداد ایستگاه های استفاده شده ی بیشتر، تایید نموده است.

References

- Aalijahan, M., Salahi, B., Ghavidel Rahimi, Y., & Farajzadeh Asl, M. (2019). "A new approach in temporal-spatial reconstruction and synoptic analysis of cold waves in the Northwest of Iran". *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 341-352. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2601-7>.
- Alijani, B., & Houshyar, M. (2009). "Synoptic origin of cold temperature over the Northwest of Iran". *Physical Geography Research Quarterly*, 65, 1-16. [In Persian].
- Amininia, K., Mirzaie, M., & Panahi, A. (2022). "Statistical-synoptic analysis of the occurrence of dry autumns in northwest of Iran". *Journal of Geographical Space*, 78, 165-190. Doi: 10.52547/GeoSpa.22.2.165. [In Persian].
- Asakereh, H., & Shahbaee Kotenae, A. (2019). "Synoptic analysis of atmospheric pattern of the most pervasive cold day in Iran from 1339 to 1388". *Geography and Planning*, 64, 211-228. [In Persian].
- Asakereh, H., & Shahbaee Kotenae, A. (2018). "Synoptic analysis of productive patterns of winter cold waves in Iran". *Geography and Environmental Hazards*, 3, 109-124. <https://doi.org/10.22067/geo.v6i3.59919>. [In Persian].
- Demirtas, M. (2022). "The anomalously cold January 2017 in the south-eastern Europe in a warming climate". *International Journal of Climatology*, 11, 6018-6026. <https://doi.org/10.1002/joc.7574>.
- Dizerence, C., Lenggenhager, S., Schwander, M., Buck, A., Foffa, S. (2017). "The 1956 cold Wave in Western Europe". *Gwographica Bernensia*, 92, 101-111. Doi: 10.4480/GB2017.G92.09.
- Doostkamian, M., Jalali, M., & Taherianzad, A. (2018). "Statistical Synoptic analysis of pervasive cooling waves in northwest Iran". *Physical Geography Research Quarterly*, 49, 699-718. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.222739.1006976>. [In Persian].
- Farajzadeh, M. (2014). "*Climatic Hazards of Iran*". Tehran: Samt Pub. 348p. [In Persian].
- Ghasemifar, E., & Naserpour, S. (2018). "Synoptic analysis of heat and cold waves over Southern Coastal of Caspian Sea". *Geographical Data*, 103, 137-146. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.28899>. [In Persian].
- Hosinpoor, Z., Shamsipour, A., Karimi, M., & Khoshakhlagh, F. (2023). "Statistical analysis of heat waves in the southern slopes of Alborz". *Journal of Geographical Sciences*, 68, 81-98. Doi: 10.52547/jgs.23.68.81. [In Persian].
- Hozhbar pour, G., & Alijani, B. (2008). "Synoptic Analysis of frost days of Ardebil Province". *Geography and Development*, 10, 89-106. [In Persian].
- Jahanbakhsh, S., Rezaei, S., Ghasemi, A., & Tadayoni, M. (2012). "Synoptic analysis of spring frosts in Tabriz (case study: spring cold of 2012 and 2013)". *Geographical Research*, 102, 1-24. [In Persian].
- Jamalizadeh, N., Zohorayan Pordel, M., Lashkari, H., Shakiba, A., & Mohammadi, Z., (2019). "Anomalies analysis and changes in the dynamic structure of summer patterns in Khuzestan province". *Quarterly of Geography & Regional Planning*, 9, 863-874. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.4.23.3>. [In Persian].
- Karimi, M., Ahmadi, N., Mohamad Moradiyan, M., Rafati, S. (2020). "Synoptic patterns of cold waves of recent decades in Iran (2004 - 2013)". *Physical Geography Research Quarterly*, 52, 165-177. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.238066.1007089>. [In Persian].
- Karimi, S., Negaresh, H., Tavoosi, T., & Alijani, B. (2013). "Synoptic analysis of widespread cold waves in Iran case: cold wave of January and February 2013 in Chaharmahal and Bakhtiari province". *Geography and development*, 29, 55-76. [In Persian].
- Kaviani, M., & Alijani, B. (2016). "*The Foundations of Climatology*". Tehran: Samt Pub., 582p. [In Persian].

- Khosravi, M., & Nazaripour, H. (2010). "The application of cluster analysis in the recognition of rainy days (case study: Khash. Iran)". **Geographic Space**, 31, 65-90. [In Persian].
- Lashkari, H. (2009). "Synoptical analysis of intervene coldness in Iran 2003". **Physical Geography Research Quarterly**, 66, 1-18. [In Persian].
- Masoodian, S.A., & Darand, M. (2013). "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". **Journal of the Earth and Space Physics**, 39, 171-186. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35197>. [In Persian].
- Masoodian, S.A. (2011). "**Climate of Iran**". Mashhad: Sharie Toos Pub. 277p. [In Persian].
- Nazaripour, H., & Saieed Abadi, R. (2012). "Determine the climatic seasons of Zahedan by the use of cluster analysis method". **Geography and Development**, 26, 87-97. Doi: 10.22111/gdij.2012.427. [In Persian].
- Peterson, T., & Coauthors, C. (2008). "Why weather and climate extremes matter. Weather and climate extremes in a changing climate. Regions of focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands". **U.S. climate change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research**, 10, 11-33.
- Rousta, I., Doostkamian, M., Haghghi, E., & Mirzakhani, B. (2016). "Statistical-Synoptic analysis of the atmosphere Thickness pattern of Iran's pervasive frosts". **Climate**, 4, 41-53. <https://doi.org/10.3390/cli4030041>.
- Serrano-Notivoli, R., Lemus-Canovas, M., Barrao, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., & Tejedor, E. (2022). "Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics and trends". **Weather and Climate Extremes**, 37, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100471>.
- Tringa, E., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., & Kostopoulou, E. (2022). "A climatological and synoptic analysis of winter cold spells over the Balkan Peninsula". **Atmosphere**, 13, 1-11. <https://doi.org/10.3390/atmos13111851>.
- Xie, Z., X.Black, R., & Deng, Y. (2019). "Planetary and synoptic-scale Dynamic control of extreme cold wave patterns over the United States". **Climate Dynamics**, 53, 1477-1495. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04683-7>.

Synoptic-dynamic analysis of winter cold waves in Iran

Ali Shahbaee Kotenaee,

Department of Geography, Zanzan University

E-mail: shahbai2008@yahoo.com

Hossein Asakereh,

Department of Geography, Zanzan University

Abstract

One of the important climatic events that has a great impact on the life of living organisms is extreme temperature events. Cold days and cold waves are examples of extreme temperature events in which unusual minimum temperature values are observed. The creation of these temperature conditions is a function of complex synoptic and dynamic patterns, the identification of which can be useful in increasing awareness of how these conditions are formed and predicting similar situations and thus reducing possible damages. In this research, based on the concept of relative coldness in time and place, cold wave was defined as a condition in which the minimum temperature standard score is less than -1.2; continue for at least 3 days and cover more than 20% of the country's area. In order to meet the objectives of the present research, two environmental (minimum temperature) and atmospheric databases (sea level pressure, geopotential height, atmospheric temperature and orbital and meridional wind component) were used for the winters of 1339 to 1394. The results of examining the patterns showed that all the cold waves in the country were caused by the formation of a high-pressure pattern on the surface of the earth. The arrangement of the two high-pressure systems of Siberia and Azores have played a very important role in guiding the cold air of northern latitudes towards the country. The location of sub-arctic low pressure in the northern regions of Europe and Russia has also caused the cold polar air to move to more southern latitudes. Mid-atmosphere patterns have also had a significant impact on the creation and continuation of cold waves. In such a way that the most severe, widespread and continuous winter cold waves were formed when the barrier systems were established in Eastern Europe and their eastern flank was placed over Iran.

Key words: synoptic analysis, cluster analysis, dynamic analysis, pervasive cold, Iran.

Introduction

Human life has always been influenced by climatic conditions, and today, climate has become an integral part of daily life. Among climatic parameters, temperature has consistently played a significant role in shaping changes to human living conditions. Temperature is a fundamental component of the climate system, affecting all biological and non-biological systems. The primary factor driving temperature differences across Earth's regions is the variation in the angle of solar radiation at different geographical latitudes. However, if this factor were the sole driver of temperature fluctuations, temperature changes over a year or across years would follow a regular pattern. In reality, this is not the case, as factors such as regional topography, slope orientation, soil cover, proximity to water bodies, and regional or planetary atmospheric systems disrupt this regularity. The disruption of typical temperature conditions by environmental factors and weather patterns results in sudden changes and extreme events in temperature values. One such extreme temperature phenomenon, characterized by exceptionally low minimum temperatures, is cold waves. While cold waves can occur year-round, they are most potent in winter due

to the lower angle of solar radiation and colder air, often causing damage to economic, environmental, and infrastructural sectors such as road construction, dam building, and bridge development. Analyzing synoptic patterns and dynamic conditions responsible for winter cold waves can provide critical insights into their underlying causes and characteristics, enhancing our understanding of how these patterns form and recur. Numerous studies in Iran and globally have explored cold waves and their generating mechanisms, including works by Serrano et al. (2022), Demirtas (2022), Teringa et al. (2022), Karimi et al. (2020), Xie et al. (2019), Aalijahan et al. (2019), Asakereh and Shahbaee Kotenaee (2019, 2018), Dizerence et al. (2017), Rousta et al. (2016), and Karimi et al. (2013), which analyze the atmospheric and environmental factors behind cold wave formation. Building on this foundation, the primary objective of the present study is to identify and analyze the synoptic patterns and dynamic conditions influencing the formation of winter cold waves in Iran. Using long-term statistical data (55 years) of minimum temperatures and multi-level atmospheric data, this research aims to accurately elucidate the synoptic-dynamic mechanisms driving winter cold waves in the Iran.

Materials & Methods

The study area in this research encompasses the entire expanse of Iran. The Iranian territory, spanning 1,648,195 square kilometers, is situated between 25° to 40° north latitude and 44° to 63° east longitude. Iran is a topographically diverse country with an average elevation of approximately 1,250 meters above sea level, and the influence of its terrain on the spatial distribution of temperature is evident. This study utilized two groups of data: environmental and atmospheric. The environmental data included minimum temperature records from 1960 to 2015. These data, with a spatial resolution of 15×15 km, were interpolated using the Kriging method. The second group comprised atmospheric data, consisting of sea-level pressure, geopotential height at 850 and 500 hPa levels, atmospheric temperature, and zonal and meridional wind components. These atmospheric data, covering the same temporal period as the environmental data, have a spatial resolution of 2.5×2.5 arc degrees. The study domain for sea-level pressure and upper-atmosphere data extended from 0° to 80° east longitude and 10° to 70° north latitude. To identify winter cold waves in Iran, the 1st, 5th, and 10th percentiles of interpolated minimum temperature data were calculated and mapped. By comparing percentile maps for January, February, and March, it was determined that the 10th percentile most effectively captured the spatial extent of cold events across Iran. Consequently, the 10th percentile was selected as the basis for subsequent analyses. Two criteria were defined to identify cold waves: (1) Days were classified as cold wave events if their standardized 10th percentile minimum temperature Z-score was ≤ -1.2 . (2) The cold conditions had to persist for at least three consecutive days. These criteria helped distinguish systemic cold waves (driven

by large-scale atmospheric systems) from localized cold events caused by factors such as elevation or radiative cooling under clear skies. To determine the threshold for widespread cold waves, box plots were analyzed. By evaluating cold coverage percentages, a 20% spatial coverage was identified as the minimum threshold for defining nationwide cold waves. Subsequently, cluster analysis was applied to classify similar spatial patterns in minimum temperature maps. Based on the defined criteria, 492 days with widespread cold waves were identified. These were grouped into five distinct clusters through hierarchical clustering. Finally, composite maps of sea-level pressure (SLP), 500 hPa geopotential height, and temperature advection at 850 and 500 hPa levels were generated for each cluster. These maps were analyzed to investigate the synoptic patterns responsible for the formation and persistence of winter cold waves across Iran.

Discussion of Results

In the first pattern, conditions are favorable for the flow of cold air from northern Europe toward Iran, with the primary cause of cold waves being the placement of a low-pressure system over northern Europe and western Russia, along with the forced displacement of two high-pressure systems toward lower latitudes. The interaction between anticyclonic air currents in this system and cyclonic air currents in the Azores High, combined with cold advection in the mid-levels of the atmosphere, draws cold air from northern Europe toward Iran. Additionally, the merging of the Azores and Siberian High ridges sustains the continuous transfer of cold air toward Iran. In the second pattern, the high-pressure core is located over Central Europe, while the Siberian High extends over parts of Central Asia and Mongolia. A low-pressure system is also situated over northern Russia. According to this pattern, the Siberian High has a lesser influence on interactions due to its position, but the alignment of the European High and the polar-front low-pressure system directs cold polar air southward toward Iran in a north-south trajectory. The primary source of cold air in this pattern is the near-polar regions of northern Russia and Scandinavia. In the third pattern, the Siberian High shifts toward higher latitudes and settles over central Russia. Due to the westward retreat of the Icelandic Low and Azores High systems, the Siberian High gains strength and expands its influence. At the 850 hPa level, clockwise air currents over northern Russia create northeasterly flows near Iran's northern borders, allowing deeper penetration of cold air from the Siberian High and subjecting broader regions of Iran to cold air advection. The cold air source in this pattern is northeastern Russia. In the fourth pattern, eastward shifts of the European ridge result in broader areas of northwestern Iran being affected by cold air. The airflow direction at this level aligns with the synoptic map at the 500 hPa level, where cold air originating from northern Scandinavia follows a spiral path along the eastern edge of the European ridge. It then arrives at Iran's northern borders with a northeasterly to northerly direction, penetrating into northwestern Iran. Thus, the primary cold air source in this pattern is northern Europe (Scandinavia). In the fifth pattern, the positions of the Siberian High and Icelandic Low relative to each other are critical. Favorable dynamic conditions in western Iran, driven by the approach of a mid-level ridge and gradual incursion of warm southern air, enhance warm advection. Maps indicate that the cold air in this pattern originates from northwestern Europe, guided by interactions between the Icelandic Low, a high-pressure system over southwestern Europe, and the Siberian High's influence along a spiral path. Since the cold air in this pattern has oceanic origins, its cooling intensity over Iran is weaker compared to other patterns.

Conclusions

The purpose of the current research was to conduct a synoptic-dynamic analysis of the patterns causing winter cold waves in Iran. The results of data classification identified five atmospheric patterns effective in the occurrence of cold waves. In the first pattern, the formation of an extensive high-pressure zone stretching from southwestern Europe to Mongolia, combined with anticyclonic movements of the low-pressure system over Russia and clockwise air circulation within the high-pressure zone, led to the influx of cold polar air into Iran. This scenario was accompanied by a mid-level atmospheric trough over western Iran. The second pattern involved a low-pressure system near the North Pole and a high-pressure

system over Central Europe, creating conditions for polar cold air intrusion into Iran. A blocking system over Eastern Europe and its associated eastern trough positioned over Iran played a significant role in generating this cold wave. In the third pattern, the intrusion of Siberian high-pressure ridges into Iran, along with the establishment of a relatively strong ridge over the eastern Mediterranean and parts of Russia, and the formation of a deep trough over Iran, facilitated the cold air incursion. The fourth pattern was characterized by a large high-pressure center over the Middle East and an extensive low-pressure area over Northern Europe and Russia. This setup, combined with a ridge over western Russia

and a trough over Iran, enabled the infiltration of cold air into the country. The fifth pattern highlighted the interaction among three systems: the Icelandic Low, the Azores High, and the Siberian High. This interaction transported cold air from northwestern Europe to the Middle East, resulting in its descent over Iran.