Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و چهارم، شماره ی۸۸
زمستان ۱۴۰۳، صفحات۱۹۱-۱۶۸

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 آن ها مقادیر غیر معمول دمای کمینه مشاهده می‌شود. ایجاد این شرایط دمایی، تابع الگوهای همدید و پویشی پیچیده‌ای می باشد که شناسایی آن ها 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 ۱/۲ – 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 مولفه ی باد مداری و نصف النهاری) برای زمستان های ۱۳۳۹ تا ۱۳۹٤ 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 آزور 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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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

واژگان کلیدی: تحلیل همدید، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل پویشی، 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 روزمره ی انسان ها 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 می کند (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 سال های 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 می زنند (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 مهم ترین پدیده‌های مورد مطالعه در اقلیم شناسی 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

وجود دارد اما در فصل زمستان به دلیل کم بودن زاویه‌ی تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیشتری عمل نموده (Asakereh and Shahbaee Kotenaee, 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 موج‌های سرمایی تابع الگوهای همدید و پویشی پیچیده می‌باشد که برخی از آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. واکاوی الگوهای همدید و شرایط پویشی ایجاد کننده‌ی امواج سرمایی در زمستان می تواند به شناخت بنیادی عوامل پدید آورنده و ویژگی‌های آن‌ها کمک موثری نموده (Jahanbakhsh et al., 2012: 5) و در افزایش شناخت ما از چگونگی شکل گیری الگوهای موج‌های سرمایی و شرایط تکرار آن‌ها در آینده کمک کننده باشد. در زمینه‌ی مطالعه‌ی امواج سرمایی و الگوهای ایجاد کننده‌ی 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 Kotenaee (2019); Asakereh and Shahbaee Kotenaee (2018) ;Dizerence et al (2017) ;Rousta et al (2016) و Karimi et al (2013) در این زمینه به تحلیل شرایط شکل گیری امواج سرمایی و عوامل جوی و محیطی موثر در آن پرداخته‌اند. بررسی این پژوهش‌ها نشان داد نفوذ سامانه‌های پرفشار سرد، شکل گیری ناوه‌های تراز میانی جو بر روی منطق مختلف و برهم خوردن شرایط عادی سامانه‌ی گردش عمومی جو از طریق ایجاد سامانه‌های بندالی در کنار نقش عوامل محیطی از قبیل پراکنش ناهمواری‌های سطح زمین، از جمله عوامل شناخته شده‌ی ایجاد موج‌های سرمایی در نواحی مختلف جهان به شمار می‌روند. بر این اساس هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی و تحلیل الگوهای همدید و شرایط دینامیکی موثر در شکل گیری موج‌های سرمایی فصل زمستان در ایران می باشد. در این پژوهش تلاش شده تا با استفاده از داده های دمای کمینه با دوره‌ی آماری طولانی (۵۵ سال) و بهره گیری از داده‌های ترازهای مختلف جو، سازوکار همدید – پویشی موثر در شکل گیری موج‌های سرمای زمستانی در کشور با دقتی بالا شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها

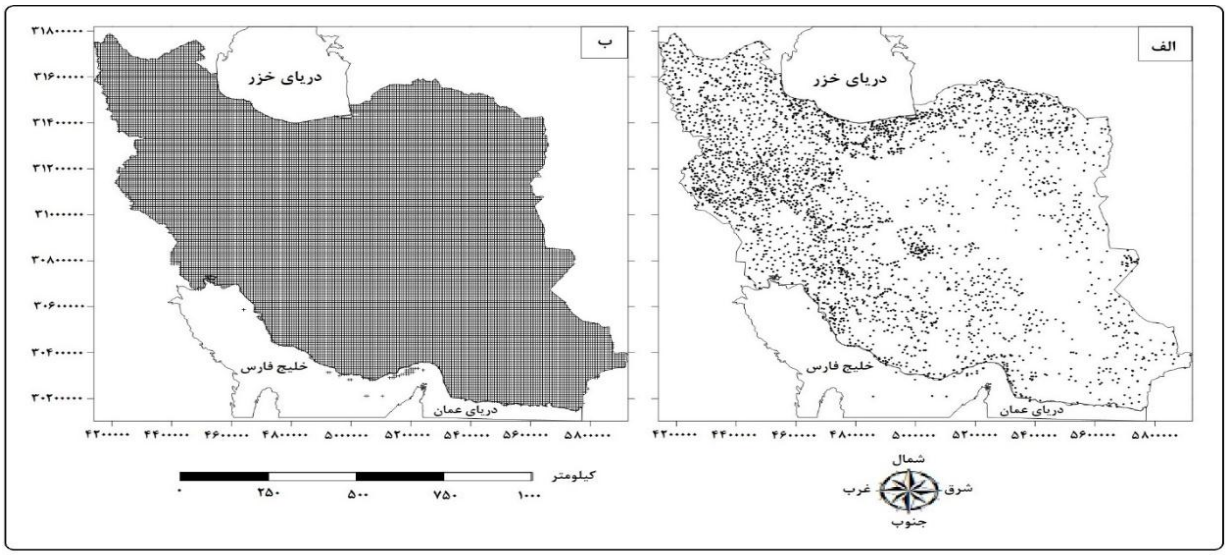
محدوده ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این پژوهش شامل تمامی پهنه‌ی کشور ایران می‌باشد (شکل ۱-الف). سرزمین ایران با وسعت ۱٦٤٨١٩٥ کیلومتر مربع، مابین ۲۵ تا ٤٠ درجه عرض شمالی و ٤٤ تا ٦٣ درجه طول شرقی واقع شده است- (Asakereh and Shahbaee Kotenaee, 2019: 5). ایران کشوری است ناهموار و ارتفاع میانگین آن از تراز دریا حدود ۱۲۵۰ متر است و نقش ناهمواری‌ها در آرایش مکانی دمای ایران کاملا آشکار است(Asakereh and Shahbaee Kotenaee, 2018: 8)؛ با این حال دخالت دیگر عناصر جوی به ویژه رطوبت سبب می‌شود تا افتاهنگ

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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، تحلیل های 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 ۱۳۹٤ 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 ۱۳٤۰/۱۰/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ (۳۸٤۸ 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 ۱۳۹٤/۱۲/۲۹ (۱۱٤۸ 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 تجمیع داده‌ها، پایگاه داده‌ی نهایی با توان تفکیک ۷۱۸۷×٤۹۹٦ 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 ۱۳۹٤/۱۲/۲۹ با توان تفکیک ۲/۵×۲/۵ 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 سرمایی 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 سرمایی 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 ۱/۲- 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 سامانه ای 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 سرمایی 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 سرمایی فراگیر در سطح کشور مناسب می‌باشد. با انتخاب پوشش ۲۰ درصد می‌توان امواج سرمایی که دربخش‌های 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 خوشه ای گروه های مشابه در نقشه های دمای کمینه سطح زمین مورد شناسایی و طبقه-بندی قرار گرفت. تحلیل خوشه ای یکی از روش های آماری است که در زمینه ی کاهش داده ها و پیدا کردن گروه های واقعی مورد استفاده قرار می گیرد. دسته بندی داده ها در این روش بر اساس مشابهت ها و عدم مشابهت ها انجام می شود(Khosravi and Nazaripour, 2010: 66). در یک تحلیل خوشه ای دو گام اساسی وجود دارد: گام اول محاسبه ی درجه ی همانندی بین داده ها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام (پیوند) داده ها بر حسب درجه ی همانندی آن ها با یکدیگر است(Nazaripour and Saeidabadi, 2012: 90). در این پژوهش به منظور تشخیص

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 X_r 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 ، ٤٩٢ 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 سرمایی زمستانه در کشور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

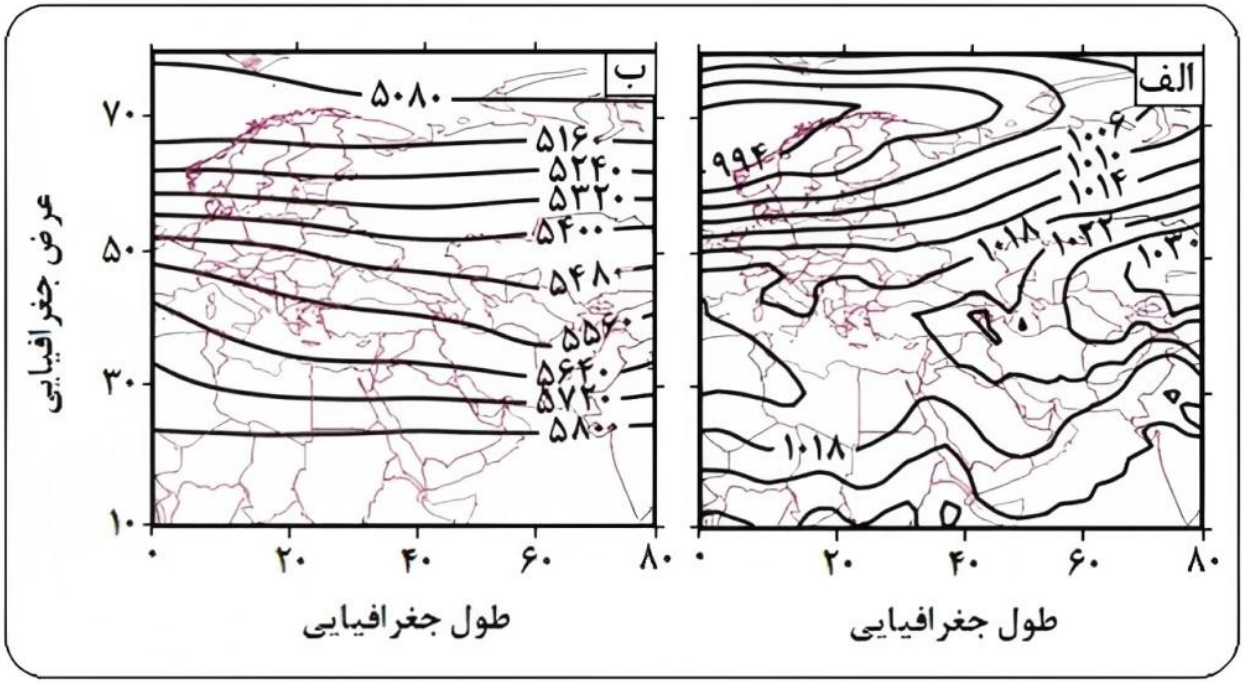
نتایج و بحث

شکل (۲) نقشه‌های میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای الگوی اول را نمایش می-دهد. در شکل (۲–الف) مشاهده می‌شود که مرکز سامانه‌ی پرفشار سیبری روی آسیای مرکزی قرار دارد. زبانه‌ای از این سامانه با فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکال به سوی غرب پیش‌روی نموده و بیش از نیمی از مساحت ایران را فراگرفته است؛ همچنین پرفشار آزور با فشار مرکزی ۱۰۲۲ هکتوپاسکال در بخش‌های جنوب‌غربی اروپا قرار دارد و زبانه‌ی ۱۰۱۸ هکتوپاسکالی آن با پرفشار سیبری ترکیب شده و یک مرکز پرفشار گسترده را ایجاد نموده است. سامانه‌ی کم فشار ایسلند نیز در بخش‌های شمالی اروپا استقرار یافته و زبانه‌های آن در سرتاسر مناطق اسکاندیناوی و شمال روسیه کشیده شده است. میزان فشار بخش مرکزی این سامانه که در منطقه‌ای بین ایسلند و نروژ قرار دارد ۹۹٤ هکتوپاسکال می‌باشد.

بر اساس نقشه ی (۲–ب) که مربوط به شرایط میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی اول می‌باشد نیز مشخص است که در شرایط معمول در قسمت‌های جنوب غرب اروپا و همچنین حوالی آسیای مرکزی سامانه‌های پرارتفاع استقرار داشته و در مناطق شمال‌شرقی ایران شرایط جهت استقرار ناوه‌ها و نفوذ هوای سرد قسمت عقبی آن‌ها

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 ژئوپتانسیل‌متر در بخش‌های غربی اروپا در حدود عرض جغرافیایی ٤٤ 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 سرمایی 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 آزور 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 آزور و سیبری باعث تداوم انتقال هوای سرد به سمت کشور شده است.



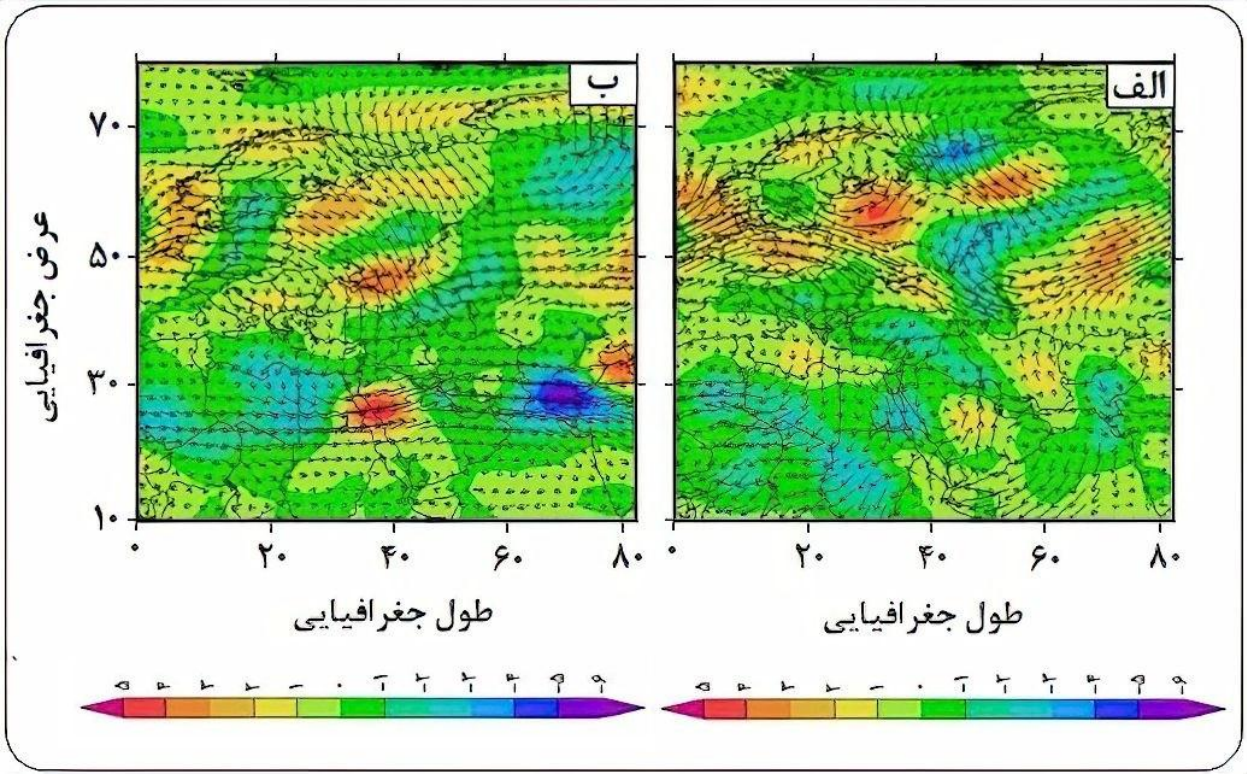
شکل ۲: الف)میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب)میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی اول

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 ٦ ساعت را نشان می دهند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، برهمکنش سامانه‌ی پرفشار آزور 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 ٦ ساعت بوده است. در بخش‌های شرقی فرارفت هوای گرم مشاهده می شود 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 ٦ ساعت بوده است. نفوذ توده‌های سرد در این تراز از سمت شمال‌غرب و غرب اتفاق افتاده است.



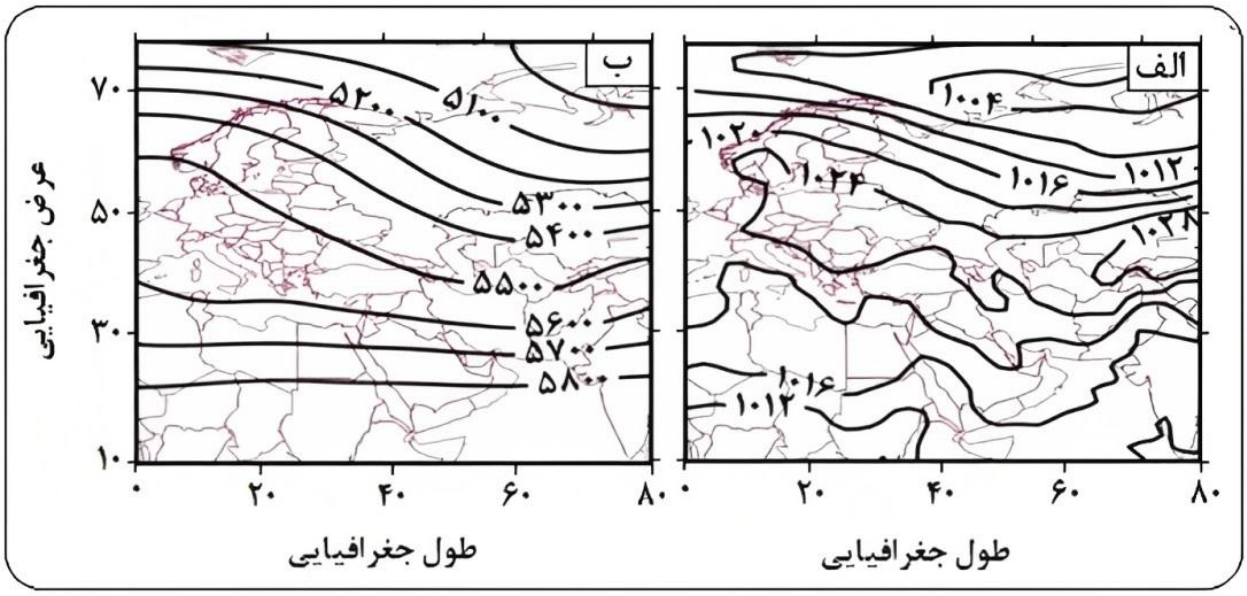
شکل ۳: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰(ب) هکتوپاسکال برای الگوی اول

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 ٤–الف) کانون پرفشاری با فشار ۱۰۲٤ هکتوپاسکال در اروپای مرکزی قرار گرفته و پرفشار سیبری در بخش هایی از آسیای مرکزی و مغولستان قرار دارد. سامانه‌ی کم‌فشاری نیز در بخش‌های شمالی روسیه مستقر بوده که فشار بخش مرکزی آن ۱۰۰٤ هکتوپاسکال می‌باشد. براساس این الگو سامانه‌ی پرفشار سیبری به دلیل محل قرار گیری تاثیر کمتری در فعل و انفعالات این الگو دارد اما نحوه‌ی قرار گیری دو سامانه‌ی پرفشار اروپا و کم‌فشار جنب قطبی باعث شده است تا هوای سرد قطبی در مسیری شمالی – جنوبی به سمت

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

ایران سرازیر شود با توجه به شکل (٤–ب) مشاهده می‌شود که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پشته‌ای در قسمت‌های مرکزی اروپا قرار دارد. در بخش‌های شمال شرقی آن یک سامانه‌ی کم‌ارتفاع با ارتفاع ۵۰۰۰ ژئوپتانسیل‌متر در شمال روسیه قرار گرفته است. همچنین ناوه‌ای در آسیای مرکزی و شمال‌شرق ایران مشاهده می‌شود؛ در این تراز خط هم‌ارتفاع ۵۵۰۰ متر به صورت مماس با مرزهای شمالی ایران مشاهده می‌شود در حالی که این خط در غرب اروپا در حوالی عرض ٦۰ درجه‌ی شمالی قرار دارد. این امر به خوبی حالت متوسط تغییرات مکانی ارتفاع جو در محدوده‌ی مورد بررسی را مشخص می‌کند.



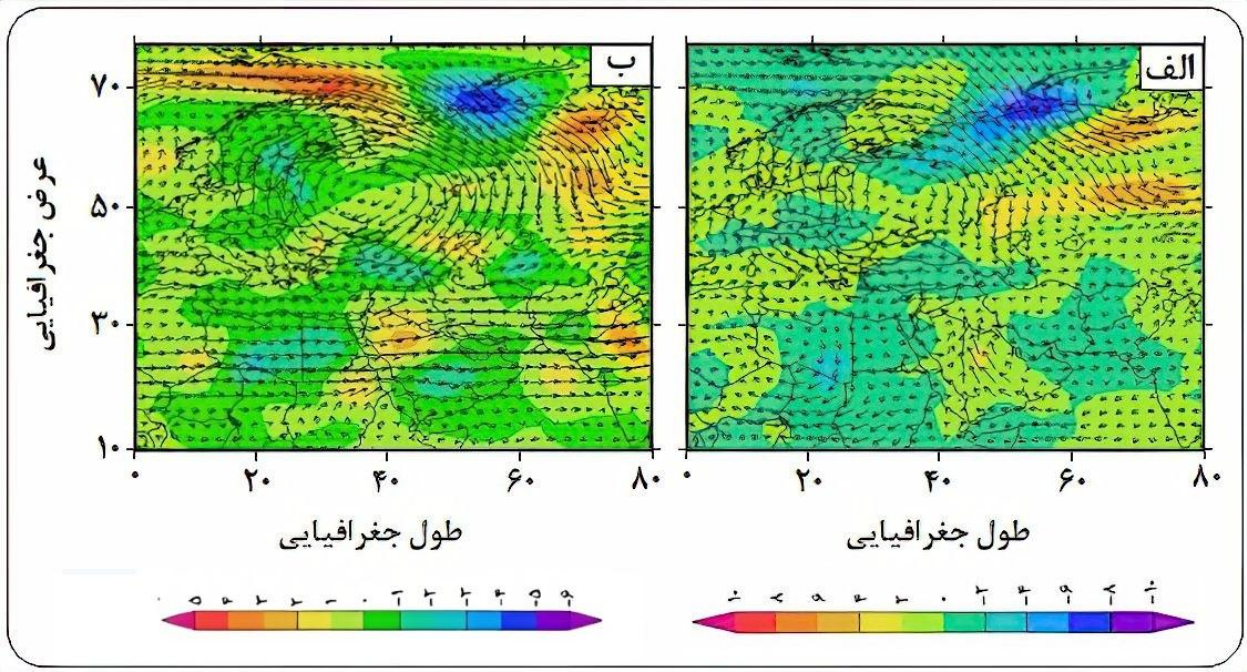
شکل ٤: الف)میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب)میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی دوم

Figure 4: a) Average Sea level pressure (hectopascals), 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 می‌دهد. در نقشه‌ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که در بخش‌هایی از شمال غرب، سواحل شمالی، شرق و جنوب کشور وزش سرد حاکم بوده است و میزان آن در حدود ۲ درجه‌ی سلسیوس کاهش در هر ٦ ساعت است. با توجه به جهت جریانات هوا در این سطح مشخص است که بر اثر قرار گیری سامانه‌ی کم‌ارتفاع در شمال روسیه و سامانه‌ی پرارتفاع در شرق اروپا جریانات هوای سرد با جهت کاملاً شمالی وارد بخش‌هایی از سواحل شمالی و شمال غرب کشور شده‌اند. در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) در قسمت‌هایی از شمال‌غرب، شمال‌شرق و بخش‌هایی از جنوب کشور وزش هوای سرد وجود داشته است و مقدار آن ۱ درجه‌ی سلسیوس کاهش در هر ٦ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در بخش‌های غربی سواحل شمالی و شمال‌غرب کشور شمال شرقی بوده که بر اثر حرکات

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 تراز های ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و نحوه‌ی قرار گیری سامانه‌های جوی می‌توان 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

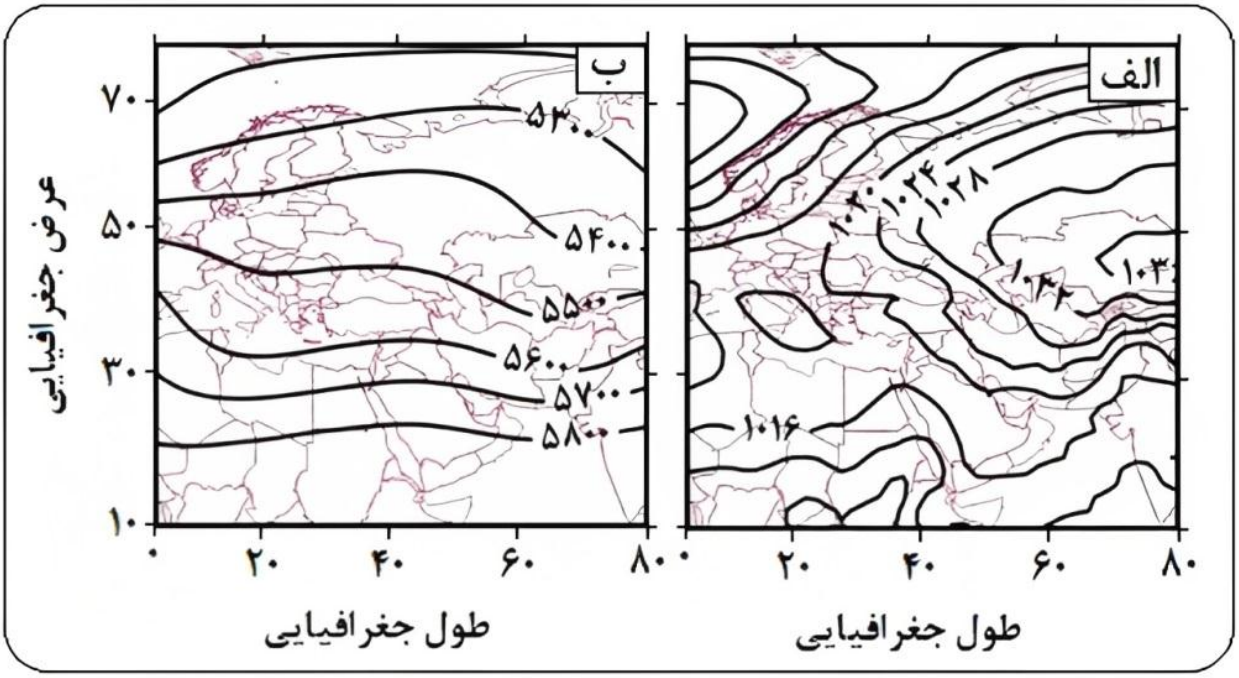
Figure 5: Temperature advection and the direction of air currents at the levels of 850 (a) and 500 (b) hectopascals in the second pattern

بر اساس شکل (٦-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 کاملا وارد کشور شده و اکثر مناطق را فرا گرفته است. همچنین خط هم‌فشار ۱۰۲۸ هکتوپاسکال نیز بخش‌هایی از شمال‌شرق و شمال‌غرب کشور را تحت تاثیر قرار داده است. به دلیل عقب‌نشینی سامانه‌های کم‌فشار ایسلند و پرفشار آزور به بخش-های 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 آزور نیز بر روی کانون اصلی تشکیل خود یعنی مجمع الجزایر آزور قرار دارد.

در تراز میانی جو (شکل ٦-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 می‌باشد. در بخش

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

های شرقی ایران نیز ناوه‌ای مشاهده می‌شود؛ به گونه‌ای که خطوط هم‌ارتفاع در این ناحیه دارای انحنایی به سوی جنوب می‌باشند. به صورت کلی الگوی موجود در این نقشه‌ها با الگوی سرمای موجود در نقشه‌ی روز نماینده شباهت زیادی دارد و در آن سامانه‌ی پرفشار سیبری عامل اصلی ایجاد موج‌های سرمایی بوده است.



شکل ٦: الف)میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب)میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) برای الگوی سوم

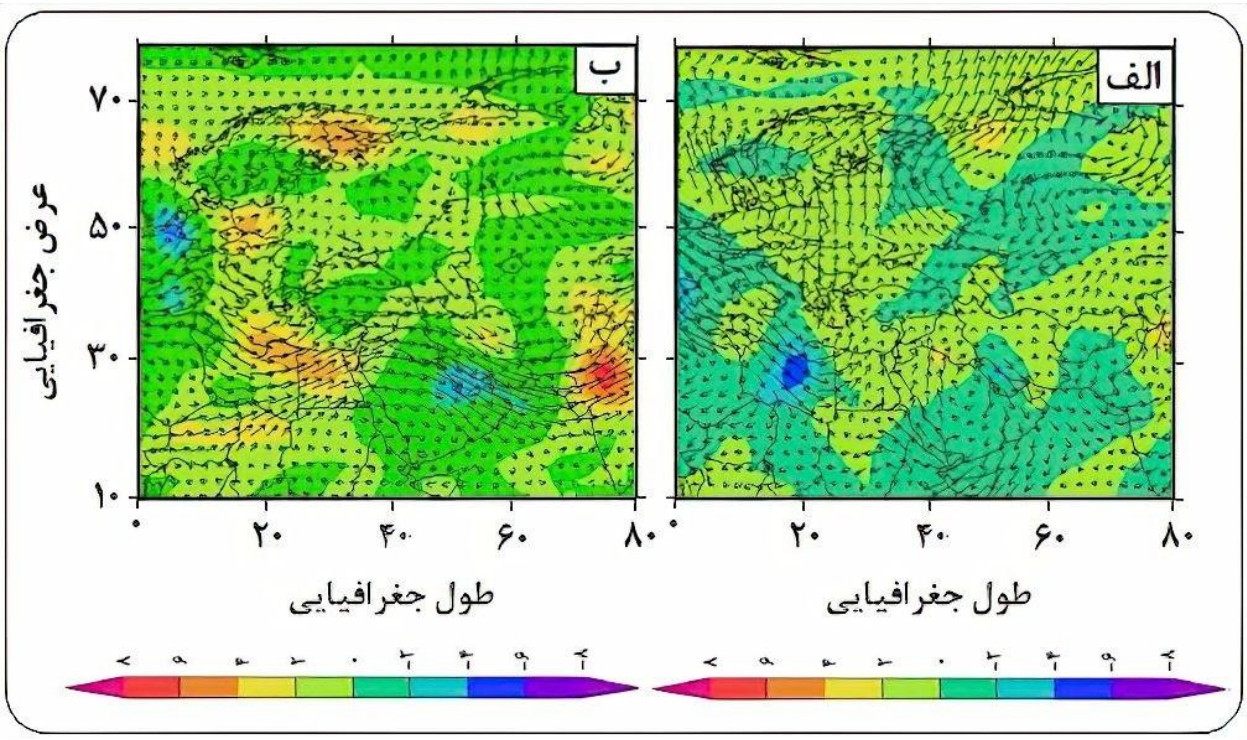
Figure 6: a) Average Sea level pressure (hectopascals), b) Average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the third pattern

نقشه‌های شکل (۷) شرایط فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در الگوی سوم نشان می‌دهد. در این تراز در بخش-هایی از جنوب‌شرق، دامنه‌های زاگرس مرکزی و جنوب‌غرب کشور فرارفت هوای سرد وجود داشته و میزان آن در حدود ۲ درجه‌ی سلسیوس کاهش دما به ازای هر ٦ ساعت بوده است. در این تراز جریانات هوا در شمال روسیه دارای حرکاتی ساعت‌گرد هستند که این حرکات باعث شده است تا جهت جریانات هوا در مجاورت مرزهای شمالی کشور، شمال‌شرقی باشد و می‌توان انتظار داشت در صورت شکل‌گیری این الگو با نفوذ بیشتر هوای سرد ناشی از پرفشار سیبری بخش‌های 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 گسترده‌تر شده و در این تراز تمام قسمت‌های غرب،

جنوب، نوار شرقی و بخش‌هایی از شمال‌شرق کشور تحت تاثیر وزش سرد قرار داشته‌اند. در این مناطق میزان وزش در مناطق ذکر شده بین ۲ تا ۳ درجه کاهش در هر ٦ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در سطح کشور

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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

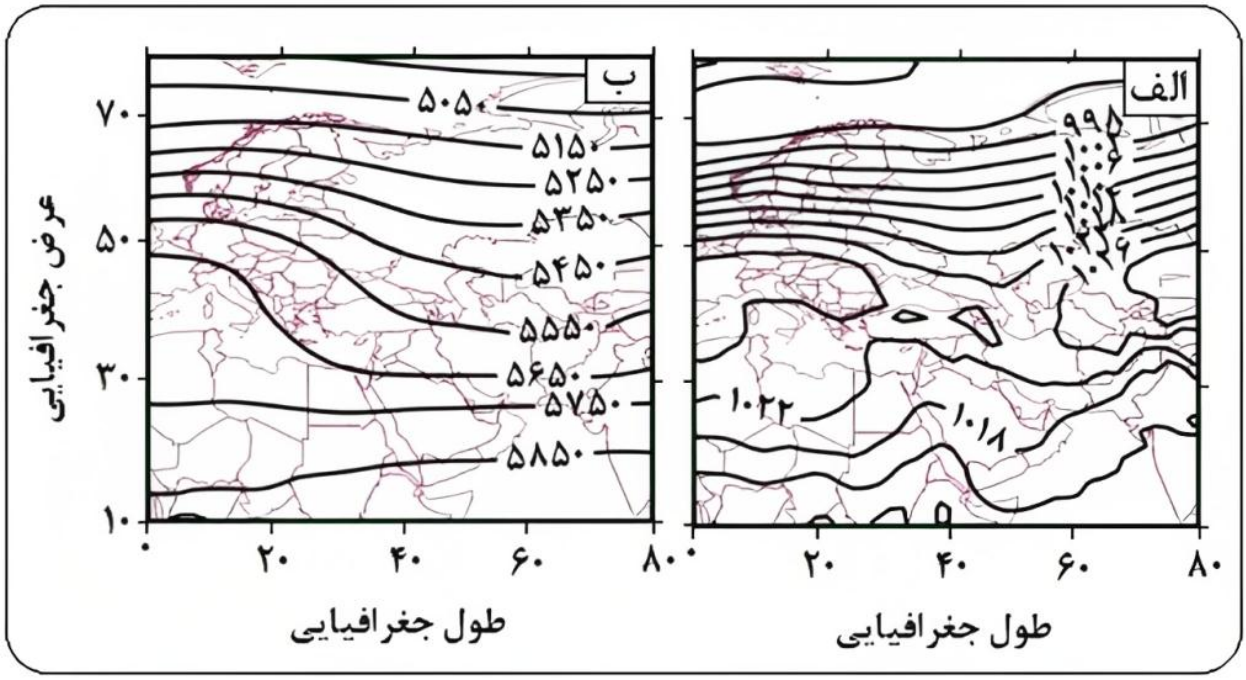


شکل ۷: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰(ب) هکتوپاسکال برای الگوی سوم

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 شمال‌شرقی کشور شده است. از سوی دیگر پرفشار آزور نیز در بخش‌های جنوب اروپا مشاهده می‌شود. فشار قسمت مرکزی این پرفشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال می باشد. 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 پرارتفاع به ترتیب در غرب اروپا و شمال مغولستان مشاهده می‌شود. قرارگیری بازوی شرقی پرارتفاع 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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

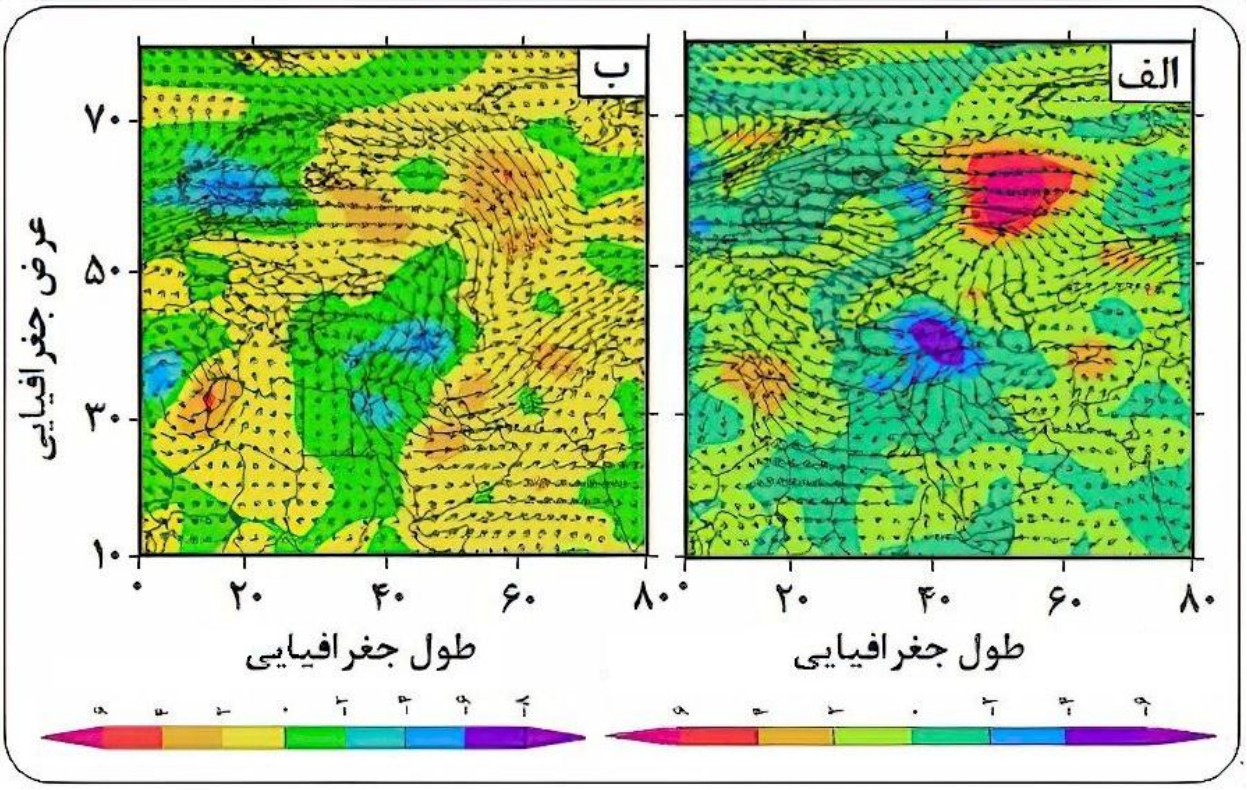


شکل ۸: الف)میانگین فشار تراز دریا (هکتوپاسکال)، ب)میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال(ژئوپتانسیل‌متر) برای الگوی چهارم

Figure 8: a) Average Sea level pressure (hectopascals), 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. آن‌گونه که دیده می‌شود در این روز در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مناطقی از شمال‌غرب، غرب سواحل شمالی و مرکز کشور وزش سرد وجود داشته است. مقدار وزش بین ۲ تا ٤ درجه کاهش دما در هر ٦ ساعت بوده و بیشترین مقدار آن در شمال‌غرب کشور رخ داده است. جهت جریانات هوا در نیمه‌ی شمالی کشور شمال‌شرقی تا شرقی بوده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مناطق تحت تاثیر وزش سرد به بخش‌هایی از سواحل جنوب‌غربی دریای خزر و شمال غرب کشور محدود شده است. میزان وزش سرد در مناطق ذکر شده ۲ تا ٦ درجه کاهش دما به ازای هر ٦ ساعت بوده است. در این الگو وجود حرکات شرق‌سوی پشته‌ی مستقر در اروپا موجب شده تا مناطق بیشتری از نیمه‌ی شمالی – غربی کشور تحت تاثیر وزش هوای سرد قرار گیرند. جهت حرکت هوا در این تراز کاملاً با نقشه‌ی همدید تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطبق است و در آن هوای سرد از قسمت‌های شمالی اسکاندیناوی به حرکت درآمده و پس از طی مسیری مارپیچی در قسمت شرقی پشته مستقر در اروپا، با جهتی شمال‌شرقی تا شمالی به مرزهای شمالی کشور ایران می‌رسد و به شمال‌غرب کشور نفوذ می‌کند. بنابراین منبع اصلی هوای سرد در این الگو نواحی شمال اروپا (اسکاندیناوی) می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026



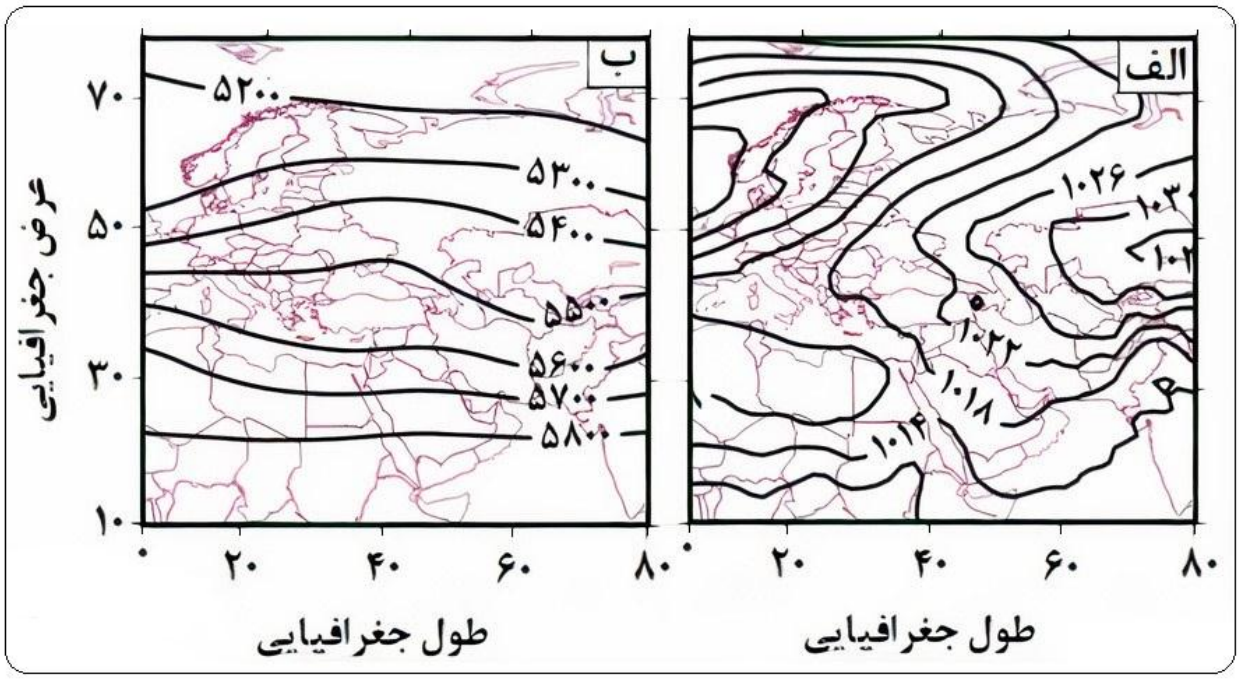
شکل ۹: فرارفت دما و جهت جریان های هوا در ترازهای ۸۵۰ (الف) و ۵۰۰(ب) هکتوپاسکال برای الگوی چهارم

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 سیبری و کم‌فشار ایسلند و نحوه‌ی قرارگیری آن‌ها نسبت به یکدیگر خیلی اهمیت دارد. در این الگو کانون پرفشار سیبری در شمال غرب مغولستان قرار گرفته است. زبانه‌های 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. کم فشار ایسلند نیز در شمال غرب انگلستان قرار دارد و زبانه‌های آن در بخش‌هایی از غرب و شمال اروپا گسترش یافته‌اند. فشار بخش مرکزی این سیستم ۹۹۸ هکتوپاسکال می‌باشد. پرفشار آزور نیز با فشار ۱۰۱۸ هکتوپاسکال در حوالی جزایر آزور 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-

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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



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

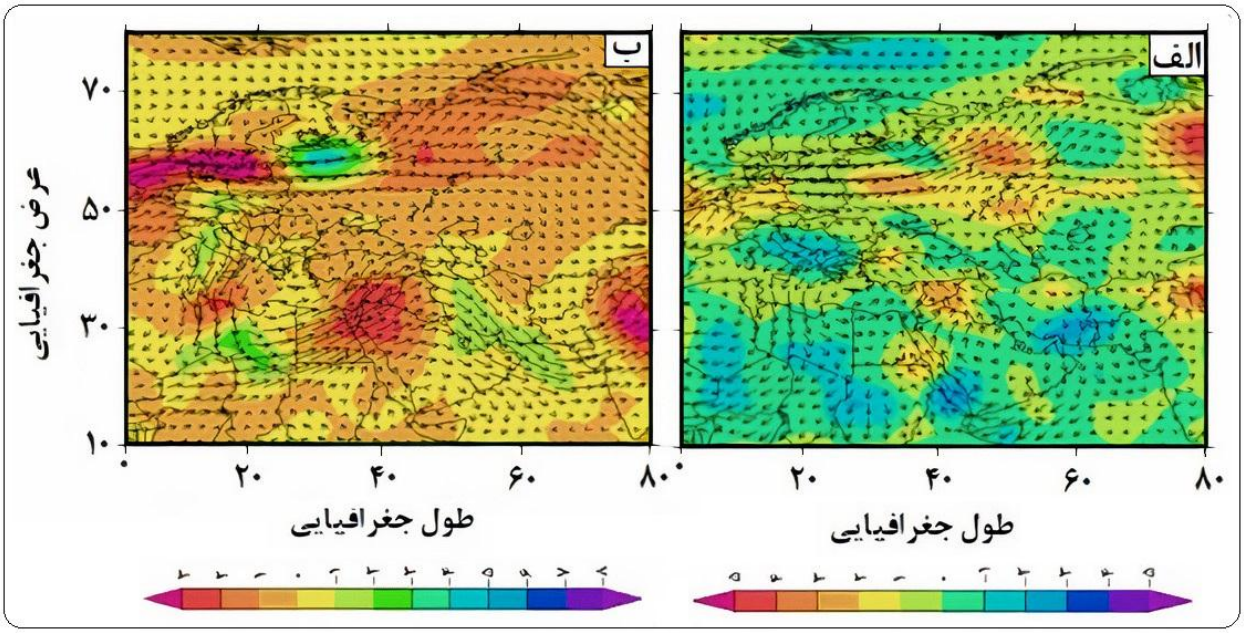
Figure 10: a) Average Sea level pressure (hectopascal), b) Average level height of 500 hectopascals (geopotential meters) for the fifth pattern

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 ٦ درجه کاهش به ازای ٦ ساعت بوده است. در این تراز جهت جریانات هوا در سطح کشور شمال‌غربی تا شمالی بوده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به استثنای شمال‌شرق 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 ٦ ساعت بوده است.

همچنین بیشترین مقدار وزش سرد در قسمت‌های مرکزی، دامنه‌های جنوبی زاگرس و جنوب‌شرق کشور اتفاق افتاده است. با شکل‌گیری این الگوی پویشی 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 شمال‌غربی بوده است که احتمالاً تحت تأثیر استقرار نیمه‌ی شرقی کشور در قسمت عقب ناوه‌ی 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 مارپیچ به

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی همدید – پویشی الگوهای مولد موج‌های سرمای فصل زمستان در ایران بوده است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی داده‌ها پنج الگوی جوی موثر در وقوع موج‌های سرمایی را مشخص نمود. در الگوی اول شکل‌گیری یک منطقه‌ی پرفشار گسترده از جنوب غرب اروپا تا مغولستان و وقوع حرکات پادساعتگرد کم‌فشار مستقر در روسیه و حرکات ساعت‌گرد هوا در محدوده‌ی پرفشار موجب ریزش هوای سرد قطبی به سوی ایران شده است. این وضعیت با قرارگیری ناوه‌ی تراز میانی جو در غرب کشور همراهی داشته است. در الگوی دوم قرارگیری کم‌فشاری در

نزدیکی قطب شمال و پرفشاری در مرکز اروپا شرایط را جهت نفوذ هوای سرد قطبی به سوی ایران فراهم نموده است. استقرار یک سامانه‌ی بندالی در شرق اروپا و قرارگیری ناوه‌ی شرقی آن بر روی ایران تاثیر مهمی در ایجاد موج سرمای این روز داشته اند. در سومین الگو به طور مشخص نفوذ زبانه‌های پرفشار سیبری به ایران و استقرار یک پشته‌ی نسبتاً قدرتمند در شرق مدیترانه و بخش‌هایی از روسیه و شکل‌گیری ناوه‌ی عمیق بر روی ایران عامل نفوذ هوای سرد به ایران بوده‌اند. عامل ایجاد موج سرما در چهارمین الگو شکل‌گیری مرکز پرفشار گسترده در خاورمیانه و ناحیه‌ی کم‌فشار گسترده در شمال اروپا و روسیه و همراهی آن با پشته‌ی مستقر در غرب روسیه و ناوه‌ی مستقر بر روی ایران بوده که

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

موجب نفوذ هوای سرد به کشور شده است. در پنجمین الگو عامل اصلی ایجاد سرما بر همکنش میان سه سامانه‌ی کم-فشار ایسلند، پرفشار آزور و پرفشار سیبری بوده که موجب انتقال هوای سرد از شمال‌غرب اروپا به سوی خاورمیانه و ریزش آن به پهنه‌ی ایران شده است. نتایج این پژوهش در زمینه‌ی شناسایی عوامل و الگوهای موثر در ایجاد موج های سرمایی در ایران با نتایج تحقیقات Karimi et al (2020)، Masoodian and Darand (2013) و Doostkamian et al (2018) مطابقت داشته و یافته‌های این پژوهش‌ها در مورد الگوهای اصلی مولد موج‌های سرمای زمستانه در ایران و شرایط پویشی همراه با آن‌ها را به صورتی گسترده‌تر و همراه با طول دوره‌ی آماری بالاتر و تعداد ایستگاه‌های استفاده شده‌ی بیشتر، تایید نموده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 accurrence 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 Kotenaee, 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 Kotenaee, 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., Zohoriyan 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 Fundations of Climatology***". Tehran: Samt Pub., 582p. [In Persian].

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

- 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., Haghighi, 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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

Synoptic-dynamic analysis of winter cold waves in Iran

Ali Shahbaee Kotenaee,
Department of Geography, Zanjan University

E-mail: shahbai2008@yahoo.com

Hossein Asakereh,
Department of Geography, Zanjan 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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 $\leq$ -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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026

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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 12:48 IRDT on Friday September 11th 2026