

تحلیل همدید الگوهای جوی توأم با موج‌های سرمای زمستانه در ایران

حسین عساکره- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

علی شاهبایی کوتنایی^۱ - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۳/۳

چکیده

در پژوهش حاضر تلاش شده با استفاده از رویکرد محیطی به گرد شی، الگوهای همدید توأم با موج‌های سرمای زمستانی در ایران شناسایی شود. براین اساس با استفاده از داده‌های میان‌یابی شده دمای کمینه برای زمستان‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۸ ضمن شناسایی روزهای همراه با سرمای فراگیر، داده‌های جوی شامل فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای شناسایی الگوهای جوی همراه با موج‌های سرمای فراگیر زمستانه در ایران بکار گرفته شد. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های فشار تراز دریا طی ۴۸۷ روز همراه با سرمای فراگیر، درنهایت ۵ الگوی همدید تشخیص داده شد. بررسی این الگوها نشان داد که تمامی موج‌های سرمای فراگیر در پهنه کشور با تکوین یک الگوی پرفشار گسترده بر روی ایران و مناطق همجوار آن توأم بوده است. برهمکنش سامانه‌های پرفشار سیبری و پرفشارهای اروپایی با کم‌فشارهای جنب قطبی در انتقال هوای سرد از نواحی قطبی و شمال اسکاندیناوی به عرض‌های جنوبی نقش مهمی داشته است. همچنین استقرار پشته‌ها و سامانه‌های بندالی تراز میانی جو در بخش‌های مرکزی و شرقی اروپا و استقرار ناوه شرقی آن‌ها بر روی ایران با ریزش هوای سرد به قسمت عقب این ناوه توأم بوده و در ایجاد و تداوم موج‌های سرمایی در سطح کشور تأثیر زیادی داشته است.

کلیدواژه‌ها: موج سرمای فراگیر، تحلیل خوشه‌ای، اقلیم‌شناسی همدید، سامانه بندالی، ایران.

۱. مقدمه

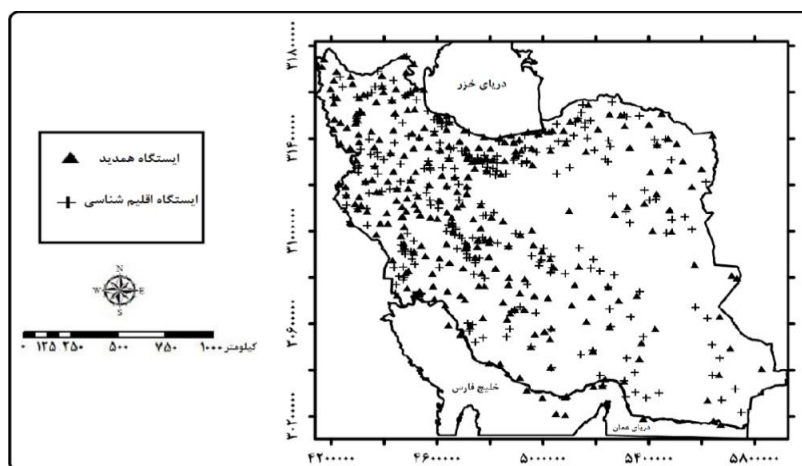
موج سرما یکی از حالت‌های ویژه دمایی، شامل مقادیر فرین^۲ دمای کمینه است. سرماهای فرین به علت شدت و رخداد ناگهانی شان تأثیر بسزایی بر زیست‌بوم‌ها و جوامع بشری دارند (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲: ۱۷۳). احتمال

وقوع امواج سرماییه در تمام طول سال وجود دارد و در هر فصلی مشکلات و آسیب‌های خاص خود را ایجاد می‌کند. این امواج در فصل زمستان به دلیل کم بودن زاویه تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیشتری عمل می‌کنند و نه تنها حیات تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌نمایند؛ بلکه نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و عمرانی مانند جاده‌سازی، سدسازی و پل‌سازی دارند (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶: ۸۹) و می‌توانند باعث ایجاد خسارت در این بخش‌ها شوند. شدت و ضعف امواج سرماییه تابع عوامل و الگوهای همدید و پویایی پیچیده‌ای می‌باشد که برخی از آن‌ها کمتر مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته‌اند. واکاوی امواج سرماییه با استفاده از روش همدید می‌تواند ویژگی‌هایی مانند منشأ، مسیر، شدت و فراوانی سامانه‌های فشار را شناسایی نموده و به شناخت بنیادی عوامل پدید آورنده و ویژگی‌های آن‌ها کمک مؤثری کند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۰: ۳) و در افزایش شناخت ما از موج‌های سرماییه زمستانه مؤثر باشد. مطالعات انجام شده در مورد سرما بیشتر در مورد یخبندان‌ها و برای اهداف کشاورزی انجام شده است. شمار پژوهش‌های مرتبط با موج‌های سرماییه نسبتاً قابل توجه است. به‌عنوان مثال ویژگی‌های موج‌های سرماییه توسط تاکاهاشی (۱۹۹۰)، کنراد (۱۹۹۵)، گارسیا (۱۹۹۶)، ژانگ و همکاران (۱۹۹۶)، دان‌گودگل (۲۰۰۵)، پیزا و آمبریزی (۲۰۰۵)، پارک و همکاران (۲۰۱۱)، روسستا و همکاران (۲۰۱۶)، علیجانی (۱۳۶۹)، عزیزی (۱۳۸۳)، هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷)، لشکری (۱۳۸۷)، عزیزی و همکاران (۱۳۸۸)، لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹)، مسعودیان و دارند (۱۳۹۰)، امیدوار و ابراهیمی (۱۳۹۱)، خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۱)، کریمی و همکاران (۱۳۹۱) و مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) مطالعه شده است. با بررسی نتایج پژوهش‌های ذکر شده معلوم شد که نفوذ سامانه‌های پرفشار سرد، قرارگیری ناوۀ تراز میانی جو بر روی مناطق مختلف و استقرار سامانه‌های بندالی از عوامل اصلی ایجاد موج‌های سرما در مناطق مختلف ایران و جهان بوده است. بر اساس توضیحات بالا هدف اصلی این پژوهش شناسایی الگوهای جوی ایجادکننده امواج سرماییه زمستانه در کشور و تحلیل شرایط همدید آن‌ها با استفاده از آمار درازمدت (بیش از ۵۰ سال) دمای کمینه و داده‌های جو بالا می‌باشد تا چگونگی برهمکنش سامانه‌های جوی مؤثر در ایجاد موج‌های سرماییه با دقت بیشتری مشخص گردد.

۲. مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل تمام پهنه کشور ایران می‌باشد. ایران کشوری است ناهموار و ارتفاع میانگین آن از تراز دریا حدود ۱۲۵۰ متر است و نقش ناهمواری‌ها در آرایش مکانی دمای ایران کاملاً آشکار است؛ با این حال دخالت دیگر عناصر جوی به‌ویژه رطوبت سبب می‌شود تا افتاهنگ محیطی دما در همه جای ایران یک اندازه نباشد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۰-۱۱). میانگین دمای ایران ۱۸ درجه سلسیوس و میانگین دمای کمینه آن ۱۱ درجه سلسیوس می‌باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۸۰). به‌منظور شناسایی و تحلیل بهتر سامانه‌های همراه با امواج سرماییه

زمستانه در کشور، محدوده مورد بررسی داده‌های جو بالا از ۴۰ درجه طول غربی تا ۱۶۰ درجه طول شرقی و ۰ تا ۹۰ درجه عرض شمالی انتخاب شده است. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی، الگوهای مؤثر در ایجاد موج‌های سرمای زمستانی در ایران شناسایی شوند. به منظور دستیابی به هدف مشخص شده در این پژوهش از دو پایگاه داده محیطی و جوی استفاده شده است. داده‌های محیطی شامل داده‌های دمای کمینه زمستان‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۰ بوده که از دو منبع تأمین شده‌اند. نخستین منبع، بخشی از داده‌های میان‌یابی شده پایگاه داده اسفزاری می‌باشد که توسط دکتر سید ابوالفضل مسعودیان در دانشگاه اصفهان طراحی شده است. این داده‌ها با توان تفکیک مکانی ۱۵×۱۵ کیلومتر (ربع فاصله متوسط هر یاخته با ایستگاه‌های اطراف) برای دوره ۱۳۴۰/۱۰/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ (۳۸۴۸ روز) به گونه‌ای تولید شده‌اند که مقادیر بارش در هر یاخته بهترین برآورد از بارش نواحی فاقد داده باشد. با هدف تکمیل دوره آماری و افزایش دقت نتایج پژوهش حاضر، داده‌های ۵۵۱ ایستگاه هم‌مدید و اقلیم‌شناسی کشور مربوط به دوره‌های ۱۳۳۹/۱۰/۱ تا ۱۳۳۹/۱۲/۲۹ و ۱۳۸۳/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ (۷۹۲ روز) نیز از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و پس از ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی (وزن‌دهی معکوس فاصله^۱، نزدیک‌ترین هم‌سایگی^۲ و کریجینگ^۳) در نهایت روش کریجینگ به عنوان روش بهینه برای میان‌یابی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). با ترکیب دو گروه داده فوق ماتریس داده‌های محیطی با ابعاد ۴۶۴۰×۷۱۸۷ تشکیل شده است. داده‌های جوی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های فشار تراز دریا (هکتوپاسکال) و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (متر) می‌باشد که از پایگاه داده^۴ NCEP/NCAR برای دوره ۱۳۳۹/۱۰/۱ تا ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ دریافت شده است.



شکل ۱. پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

1 Inverse Distance Weighting

2 Nearest Neighbor

3 Kriging

4 National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research

داده‌های فشار تراز دریا می‌تواند حاوی اطلاعات بارزشی در رابطه با وجود همگرایی (در نواحی کم‌فشار) و در نتیجه وجود حرکات صعودی در جو و ناپایداری هوا یا وجود واگرایی (در نواحی پرفشار) و در نتیجه وجود حرکات نزولی در جو و پایداری هوا باشد. در این تراز پرفشارهای حرارتی در ارتباط با دماهای کم و کم‌فشارهای حرارتی در ارتباط با دماهای بالا توجیه می‌شوند (شادمان، ۱۳۹۱: ۴۸)؛ همچنین به دلیل اینکه الگوها و سامانه‌های سطح زمین با پدیده‌های تراز میانی جو ارتباط دارند و بسیاری از رویدادهای جوی سطح زمین به وسیله الگوهای تراز میانی جو کنترل می‌شوند، مطالعه نقشه‌های مربوط به تراز میانی جو (سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال) در تحلیل‌های اقلیمی امری ضروری می‌باشد (شاهبایی کوتنایی، ۱۳۹۳: ۳۵). در این پژوهش از داده‌های ساعت ۰۰ این پایگاه به وقت گرینویچ (۳/۳۰ دقیقه بامداد به وقت ایران) استفاده شده است. هدف از انتخاب داده‌های مربوط به این ساعت بررسی شرایط جوی در زمان رخداد کمینۀ دما در منطقه بوده است. با توجه به محدودۀ انتخاب شده در این پژوهش، ۲۹۹۷ یاخته با ابعاد ۲/۵×۲/۵ درجه قوسی این محدوده را پوشش داده و ماتریس این داده‌ها با ابعاد ۲۹۹۷×۶۶۴۰ تشکیل شده است. با توجه به پژوهش‌های علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷) و مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) دو شرط برای شناسایی امواج سرمایی در کشور تعریف شد. بر اساس شرط اول روزهایی با عنوان روز همراه با موج سرما در نظر گرفته شد که نمرۀ استاندارد داده‌های صدک دمای کمینۀ آن‌ها مساوی یا کمتر از ۱/۲- باشد. با تعریف این شرط فقط دماهای خیلی پایین برای هر کدام از ۷۱۸۷ یاخته مورد بررسی مورد توجه قرار گرفت و مفهوم نسبی بودن سرما برای مناطق مختلف کشور رعایت شد. شرط دوم نیز تداوم این سرماها به مدت حداقل ۳ روز بوده است؛ با در نظر گرفتن این شرط سرماهایی با منشأ سیستمی از سرماهای محلی که بر اثر عوامل محیطی (مانند ارتفاع محل) یا بر اثر صاف بودن هوا و ایجاد سرمایش تشعشعی رخ می‌دهند تفکیک شده است. در بخش بعد نمودار جعبه‌ای برای پهنه‌های پوششی مختلف (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، تا ۷۰ درصد از مساحت کشور) ترسیم شد و دامنه تغییرات، شکل توزیع داده‌ها و میزان رخدادهای فرین و پرت در نمودار پهنه‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند. با بررسی و مقایسه نمودارهای پهنه‌های مختلف مشخص شد که مقدار ۲۰ درصد پوشش به عنوان حداقل پوشش، برای شناسایی امواج سرمای فراگیر در سطح کشور مناسب می‌باشد. با تعریف شرط‌های بالا ۴۸۷ روز همراه با سرمای فراگیر شناسایی شد. در مرحله بعد با انجام برنامه‌نویسی در نرم‌افزار گرس^۱ داده‌های فشار تراز دریا برای این روزها استخراج شد. سپس یک تحلیل خوشه‌ای^۲ بر روی این داده‌ها صورت گرفت. تحلیل خوشه‌ای روشی است که در آن متغیرها بر اساس ویژگی‌های مورد نظر در گروه‌های خاصی طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از انجام تحلیل خوشه‌ای، پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و کاهش حجم داده‌ها می‌باشد؛ به عبارت دیگر هدف، شناسایی تعداد کمتری از گروه‌هاست به طوری که داده‌هایی که دارای شباهت بیشتری با یکدیگر هستند در یک گروه قرار گیرند (فرشادفر، ۱۳۸۹: ۵۵۳) به گونه‌ای که

1 GrADS

2 Cluster Analysis

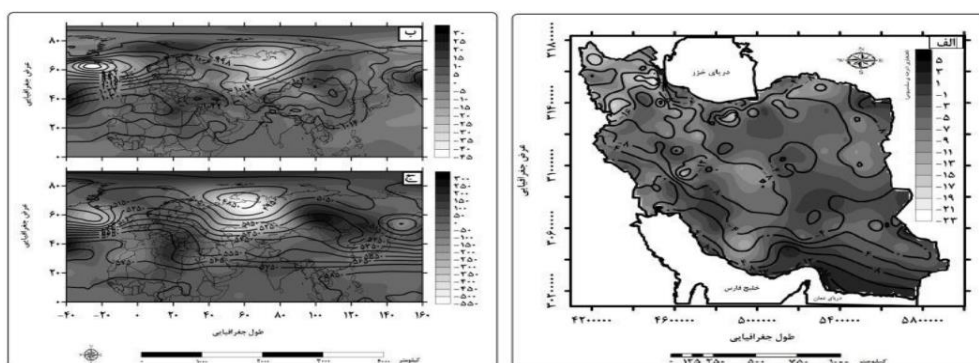
پراش درون‌گروهی کمینه و پراش بین‌گروهی بیشینه شود. با انجام تحلیل خوشه‌ای و با به‌کارگیری روش ادغام وارد^۱ بر روی ماتریس 487×2997 داده‌های فشار تراز دریا توسط نرم‌افزار متلب^۲، دارنمای این داده‌ها ترسیم شد. در مرحله بعد اقدام به تعیین محل مناسب برای برش نمودار و تعیین روزهای نماینده شد. در این بخش بر اساس روش آزمون و خطا و مطالعه سایر پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، محل مناسب جهت برش نمودار مشخص و تقسیم‌بندی ۵ گروهی برای ادامه کار پذیرفته شد. در ادامه با انجام برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب همبستگی بین نقشه‌های روزهای مختلف بر اساس روش لوند^۳ انجام شد. در نهایت روزی که با تعداد بیشتری از سایر روزهای هر طبقه همبستگی بالایی (بیش از ۰/۵) داشت، به عنوان روز نماینده انتخاب شد. در نهایت نقشه‌های دما، فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز نماینده هر گروه توسط نرم‌افزار سرفر^۴ ترسیم و بر اساس این نقشه‌ها شرایط دما در سطح زمین و الگوی جو در روزهای نماینده هر یک از گروه‌ها مورد واکاوی قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

اولین الگوی هم‌دید مورد بررسی در این پژوهش، طی ۱۰۱ روز (۲۱/۷ درصد) از کل روزهای مورد بررسی (۴۸۷ روز) رخ داده است. روز ۱۳۷۵/۱۱/۲۲ نماینده گروه اول می‌باشد. شکل ۲-الف توزیع مکانی دما طی این روز در پهنه کشور را نمایش می‌دهد. در این شکل خطوط هم‌مقدار نشان دهنده مقادیر دما در این روز و طیف تیره - روشن پس‌زمینه بیانگر ناهنجاری دمای این روز نسبت به میانگین درازمدت دمای همین روز می‌باشد. طی این روز ۴۴/۳ درصد از پهنه کشور تحت تأثیر موج سرما قرار داشته و میانگین دمای کشور ۴/۴- درجه سلسیوس بوده است. بر اساس نقشه ارائه شده در شکل ۲-الف، پایین‌ترین اندازه‌های دمای که حدود ۲۰ درجه زیر صفر بوده در مناطق شمال غرب کشور رخ داده است. همچنین در بخش‌هایی از دامنه‌های زاگرس مرکزی، دامنه‌های البرز و شمال شرق کشور نیز مقادیر دمای پایینی مشاهده می‌شود. ناهنجاری دمایی در مناطق ذکر شده به کمترین مقدار خود رسیده است که حاکی از هماهنگ بودن شرایط دمایی درازمدت با تغییرات دمایی در این روز می‌باشد. در بخش‌هایی از مرکز، جنوب و جنوب شرق کشور نیز میزان ناهنجاری دمایی مثبت بوده است. این امر نشان می‌دهد در طول سالیان مختلف دماهای بالاتر فراوانی بیشتری در این مناطق داشته‌اند. در این روز خط هم‌دمای صفر درجه سلسیوس تا بخش‌های جنوبی کشور پیشروی کرده است و در بخش‌هایی از استان خوزستان، جنوب استان فارس، شمال بوشهر، جنوب استان کرمان و بخش‌های مرکزی استان سیستان و بلوچستان مستقر شده است. در جنوب استان فارس و شمال استان بوشهر این خط دارای انحنایی به سمت جنوب می‌باشد. همچنین ناهنجاری دمایی این منطقه نیز نشان

1 Ward
2 Matlab
3 Lund
4 Surfer

می‌دهد دمای این روز در کل دوره آماری پایین‌تر از نقاط هم‌عرض بوده است. این موضوع را می‌توان با شرایط طبیعی منطقه و نزدیک بودن آن به رشته کوه زاگرس مرتبط دانست. شکل ۲-ب توزیع مکانی فشار تراز دریا در روز نماینده گروه اول به همراه ناهنجاری درازمدت مقادیر فشار نسبت به این روز را نمایش می‌دهد. با توجه به این نقشه مشخص است که در این روز پرفشار آזור در جنوب غرب اروپا و بخش‌هایی از شمال غرب آفریقا قرار گرفته است. فشار قسمت مرکزی این سامانه ۱۰۳۰ هکتوپاسکال است و زبانه‌های آن در سرتاسر بخش‌های جنوبی اروپا و شمال آفریقا گسترده شده و زبانه‌ای از آن با فشار ۱۰۲۲ هکتوپاسکال وارد قسمت‌های شمال غربی ایران شده است. از سوی دیگر مرکز سامانه پرفشار سیبری روی مغولستان قرار گرفته است و فشار آن حدود ۱۰۳۸ هکتوپاسکال می‌باشد. زبانه ۱۰۲۲ هکتوپاسکالی این سامانه بخش‌هایی از شمال شرق کشور را فراگرفته است. همچنین سامانه کم‌فشاری با فشار مرکزی ۹۹۸ هکتوپاسکال نیز در شمال روسیه قرار دارد. در محل قرارگیری سامانه‌های پرفشار، میزان ناهنجاری فشار بین ۵ تا ۳۰ هکتوپاسکال می‌باشد. این وضعیت گویای این واقعیت است که میزان فشار هوا در این روز نسبت به شرایط درازمدت پایین‌تر بوده و سامانه پرفشار ضعیف‌تر از حالت معمول خود بوده است. مقدار ناهنجاری فشار در محل قرارگیری سامانه کم‌فشار در منطقه روسیه و همچنین کم‌فشار ایسلند منفی بوده و مقدار آن بین ۱۰- تا ۴۵- هکتوپاسکال محاسبه شده است. با توجه به نقشه تراز دریا می‌توان گفت که قرارگیری سامانه کم‌فشار در بخش‌های شمالی روسیه باعث تغییر مکان دو سامانه پرفشار به سمت عرض‌های پایین‌تر شده است و برهمکنش جریانات پادساعتگرد هوا در این سامانه با جریانات ساعتگرد هوا در زبانه‌های پرفشار آזור باعث کشیده شدن هوای سرد از مناطق شمالی اروپا به سمت کشور شده است. علاوه بر این در طول این روز پرفشار آזור به تدریج با زبانه‌های پرفشار سیبری تلفیق شده و یک منطقه گسترده پرفشار در طول جغرافیایی ۴۰- تا ۱۴۰ درجه تشکیل شده است که به وجود آمدن این شرایط باعث تداوم انتقال هوای سرد به کشور طی این روز شده است.



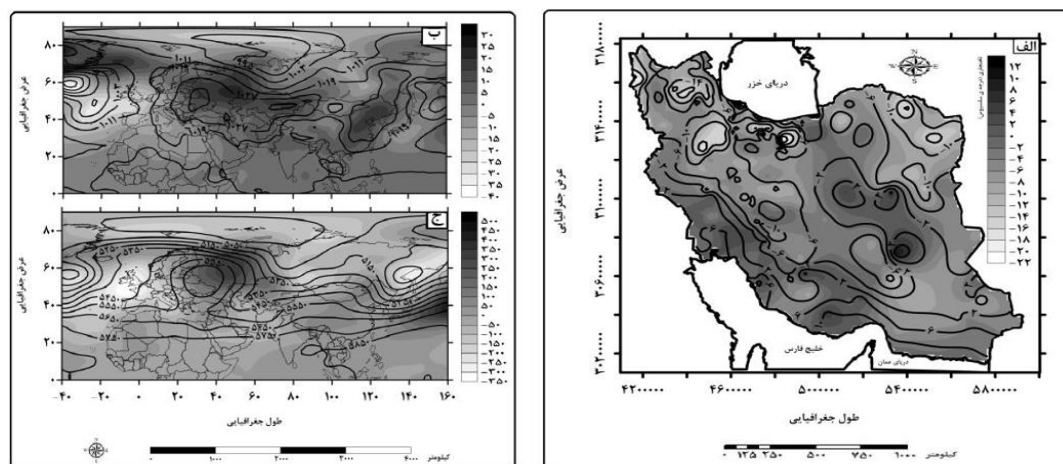
شکل ۲. الف) توزیع مکانی دما و ناهنجاری آن (درجه سلسیوس). ب) فشار تراز دریا و ناهنجاری آن (هکتوپاسکال). ج) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری آن (ژئوپتانسیل متر) در ساعت ۳/۳۰ بامداد روز

۱۳۷۵/۱۱/۲۲ (نماینده الگوی اول)

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل ۲-ج یک سامانه پراتفعا بر فراز بخش‌های جنوبی اروپا مشاهده می‌شود. این سامانه بخشی از سامانه پرفشار آزر بوده است که در حال حرکت تدریجی به طرف شرق و به سمت مرزهای غرب و شمال غربی ایران می‌باشد. همچنین یک سامانه کم‌ارتفاع با ارتفاع مرکزی ۴۸۵۰ ژئوپتانسیل متر در شمال روسیه قرار گرفته است. قرارگیری این سامانه در این منطقه باعث انحراف جریان‌ات هوا از مسیر مستقیم خود شده و موجب شده است که بادهای غربی از بخش‌های شمالی اروپا به سمت ایران تغییر مسیر پیدا کنند و هوای سرد عرض‌های شمالی به سمت کشور کشیده شود. سامانه پراتفعا دیگری نیز در جنوب سبیری و شمال مغولستان دیده می‌شود که موقعیت قرارگیری آن در ایجاد ناوه در بخش‌های شمالی دریای خزر و هدایت سرما به سمت کشور بی‌تأثیر نبوده است؛ هرچند که سامانه‌های پراتفعا اروپا و کم‌ارتفاع روسیه تأثیر بیشتری در ایجاد این موج سرما داشته‌اند. در این روز خط هم‌ارتفاع ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر در بخش‌های میانی کشور قرار دارد و خط هم‌ارتفاع ۵۴۵۰ متر نیز در حال نزدیک شدن به مرزهای شمالی کشور می‌باشد. این امر از تقویت تدریجی شارش‌های سرد شمالی در تراز میانی جو حکایت دارد. ناهنجاری ارتفاع جو تا حدود زیادی با محل قرارگیری سامانه‌های پراتفعا و کم‌ارتفاع هماهنگ است، به‌گونه‌ای که در محل سامانه‌های کم‌ارتفاع ناهنجاری منفی ارتفاع به میزان ۱۰۰- تا ۵۵۰- ژئوپتانسیل متر و در محل استقرار سامانه‌های پراتفعا مقدار ناهنجاری بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر بوده است. این میزان در پهنه کشور بین ۰ تا ۲۰۰- متر می‌باشد.

گروه دوم طی ۱۰۶ روز (۲۱/۸ در صد) از ۴۸۷ روز همراه با موج سرما را شامل می‌شود. روز ۱۳۵۴/۱۱/۳۰ به عنوان نماینده گروه دوم شناسایی شده است. در این روز ۲۰/۷ درصد از پهنه کشور زیرپوشش موج سرما قرار داشته است. میانگین دمای کشور ۲/۹- درجه سلسیوس بوده است. میانگین دمای این روز بالاترین مقدار در بین سایر روزهای نماینده می‌باشد. شکل ۳-الف توزیع مکانی دمای این روز در سطح کشور را نشان می‌دهد. براساس این نقشه پایین‌ترین مقادیر دما بین ۱۴- تا ۱۸- درجه سلسیوس بوده است که در بخش‌هایی از شمال‌غرب، دامنه‌های مرکزی البرز و شمال‌شرق کشور مشاهده شده است. در این روز گستره پوشش سرما به نواحی شمالی کشور محدود شده است. در نواحی جنوبی شاهد اندازه‌های دمایی بیشتری هستیم؛ به‌گونه‌ای که در سرتاسر بخش‌های جنوب‌غربی، جنوب، جنوب‌شرق و چاله‌های پست مرکز کشور دماهای بالاتر از صفر درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. در این نقشه ناهنجاری منفی دما در بخش‌های زیادی از کشور پراکنده می‌باشد. پایین‌ترین اندازه‌های دما در شمال‌غرب و شمال‌شرق کشور رخ داده‌اند. با توجه به پراکندگی مقادیر ناهنجاری منفی در سطح کشور و در نظر گرفتن این نکته که میانگین پوشش سرما در الگوی دوم ۶/۸ در صد می‌باشد (بیشترین پوشش در بین گروه‌ها) و مقایسه آن با پوشش سرما در روز نماینده (۲۰/۷ در صد)، می‌توان نتیجه گرفت تغییرات مکانی پوشش سرما در این الگو زیاد و طیف وسیعی از موج‌های سرمایی با پوشش‌های کم (حدود ۲۰ درصد) و زیاد در پهنه کشور را در بر می‌گیرد.

الگوی فشار تراز دریا برای این روز در شکل ۳-ب دیده می‌شود. بر اساس نقشه در این روز سامانه پرفشاری در بخش‌هایی از شرق اروپا، خاورمیانه و آسیای مرکزی قرار گرفته است. این سامانه دارای چند هسته مرکزی با فشار ۱۰۳۵ هکتوپاسکال می‌باشد که بزرگ‌ترین هسته آن در شرق اروپا مشاهده می‌شود. سامانه کم‌فشاری نیز در شمال روسیه و نزدیک قطب شمال استقرار یافته و فشار بخش مرکزی آن ۹۹۵ هکتوپاسکال می‌باشد. در این روز خط هم‌فشار ۱۰۲۷ هکتوپاسکال در تمام بخش‌های نوار شمالی کشور استقرار یافته است. یک هسته پرفشار با فشار ۱۰۳۵ هکتوپاسکال نیز در بخش‌هایی از شمال غرب کشور قرار گرفته است. پراکندگی مقادیر ناهنجاری فشار در سطح منطقه نشان می‌دهد که در مناطق استقرار سامانه‌های پرفشار، میزان ناهنجاری فشار مثبت بوده و مقدار آن بین ۵ تا ۳۰ هکتوپاسکال می‌باشد و مقادیر منفی ناهنجاری فشار نیز در بخش‌هایی از غرب اروپا و شمال روسیه مشاهده می‌شود. در پهنه ایران، ناهنجاری فشار مثبت می‌باشد و میزان آن تا ۱۵ هکتوپاسکال است. با توجه به این نقشه می‌توان دریافت که قرارگیری سامانه کم‌فشار در شمال روسیه و حرکات پاد ساعتگرد جریانات هوا در آن به همراه حرکات ساعتگرد هوا ناشی از پرفشار مستقر در اروپا موجب شده است که در این روز هوای سرد از قطب شمال به سمت مناطق شمالی کشور کشیده شود.

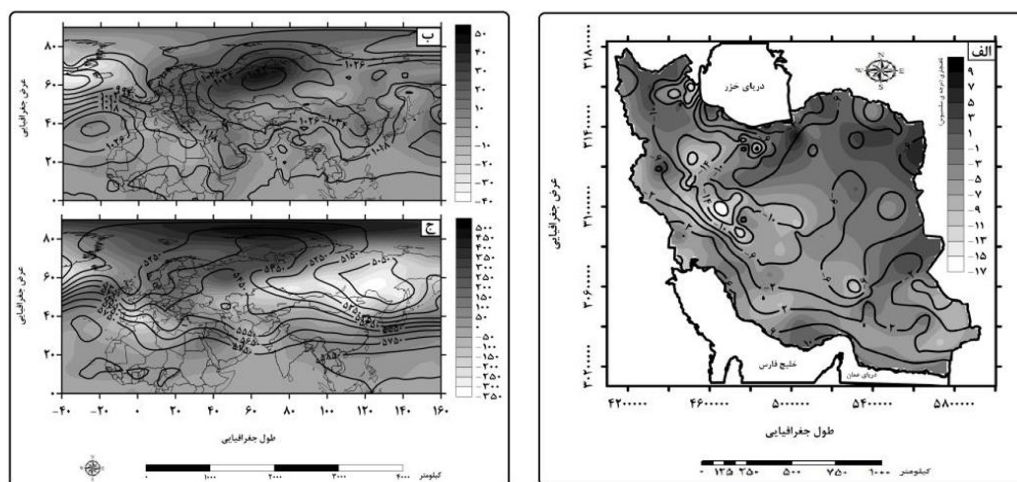


شکل ۳. الف) توزیع مکانی دما و ناهنجاری آن (درجه سلسیوس). ب) فشار تراز دریا و ناهنجاری آن (هکتوپاسکال). ج) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری آن (ژئوپتانسیل متر) در ساعت ۳/۳۰ بامداد روز ۱۳۵۴/۱۱/۳۰ (نماینده الگوی دوم)

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل ۳-ج یک سامانه پراارتفاع امگایی شکل با ارتفاع ۵۶۵۰ ژئوپتانسیل متر در بخش‌های شرقی اروپا مشاهده می‌شود. ناهنجاری ارتفاع جو در مناطق قرارگیری این سامانه مثبت می‌باشد و میزان آن تا ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. در دو سوی این سامانه، دو ناهمه مشاهده می‌شوند که ناهمه قسمت شرقی دارای محوری مورب (شمال شرقی - جنوب غربی) بوده و بر روی قسمت‌هایی از آسیای میانه، نیمه شمالی ایران و بخش‌هایی از

خاورمیانه قرار گرفته است. همچنین در قسمت شمالی سامانه پراارتفاع یک سامانه کم‌ارتفاع در نواحی نزدیک به قطب استقرار یافته است و ارتفاع جو در مرکز آن ۴۹۵۰ ژئوپتانسیل متر می‌باشد. بر اساس این نقشه، کم ارتفاع مستقر در نواحی قطبی با ایجاد حرکات پادساعتگرد و ایجاد واگرایی در جریانات هوای تراز میانی جو موجب حرکت هوای سرد این نواحی به سمت عرض‌های جنوبی‌تر شده است. از سوی دیگر سامانه پراارتفاع مستقر در اروپا که از نوع بندالی می‌باشد جریان طبیعی بادهای غربی را سد کرده و هدایت هوای سرد قطبی از قسمت‌های شمالی این سامانه به بخش‌های شرقی را در پی دارد. این هوای سرد با جهتی شمالی - جنوبی به قسمت عقب ناوه مستقر در منطقه وارد شده و به سمت نواحی شمالی ایران حرکت می‌کند. در این روز خط هم‌ارتفاع ۵۴۵۰ متر وارد نوار شمالی کشور شده است و خط ۵۵۵۰ متر در میانه کشور قرار دارد. ناهنجاری ارتفاع جو در بخش‌های غربی کشور بین ۵۰- تا ۵۰ متر در نوسان می‌باشد. در سایر مناطق کشور این مقدار کاملاً منفی (تا ۱۵۰- متر) و حاکی از مناسب بودن شرایط جهت قرارگیری ناوه شرقی سامانه‌های بندالی در این نواحی است. الگوی سوم ۹۷ روز (۱۹/۹ در صد) از ۴۸۷ روز مورد بررسی را در بر گرفته است. روز ۱۳/۱۱/۱۳ به عنوان روز نماینده گروه سوم محسوب می‌شود. میانگین دمای کمینه کشور در این روز ۵/۲- درجه سلسیوس بوده است. این میزان دما پایین‌ترین مقدار و بالاترین میزان پوشش در بین روزهای نماینده گروه‌های مختلف می‌باشد. طی این روز ۵۰/۲ درصد از پهنه کشور زیر پوشش موج سرما قرار داشته است. بر اساس شکل ۴-الف مشخص است که هوای سرد تا عرض‌های جنوبی کشور نفوذ کرده است و اثرات آن به طور تقریبی در دو سوم مساحت کشور دیده می‌شود. به عنوان مثال هم‌دمای ۶- درجه سلسیوس بخش‌های وسیعی از شرق، شمال شرق، مرکز و غرب کشور را پوشش داده است. پایین‌ترین مقادیر ناهنجاری دمایی در بخش‌های مرکزی رشته کوه زاگرس مشاهده می‌شود که با محل قرارگیری کم‌ترین اندازه‌های دمایی نیز انطباق دارد. در این نواحی میزان دما به ۱۸- درجه سلسیوس نیز رسیده است. در بخش‌های جنوبی کشور نیز مقادیر ناهنجاری منفی به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. خط هم‌دمای ۲ درجه در فاصله‌ای نزدیک به سواحل جنوبی کشور قرار دارد. آن‌گونه که مشاهده می‌شود در این روز از تراکم خطوط هم‌دما در مناطق شمال شرق و شمال غرب کشور نسبت به الگوی اول و دوم کاسته شده و دماهای خیلی پایین، در بخش‌های کوچکی از این مناطق مشاهده می‌شود. همچنین ناهنجاری دما در این مناطق مقادیر مثبتی یافته است. نقشه فشار تراز دریا برای روز نماینده گروه سوم (شکل ۴-ب) نشان می‌دهد که در این روز سامانه پرفشار سیبری با حرکت به سمت عرض‌های بالاتر در بخش‌های مرکزی روسیه مستقر شده است. فشار کانون مرکزی این سامانه ۱۰۴۲ هکتوپاسکال بوده است. پرفشار مذکور به حدی قدرتمند بوده است که خط هم‌فشار ۱۰۱۸ هکتوپاسکال کاملاً وارد کشور شده و خط هم‌فشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال نیز بخش‌هایی از شمال شرق و شمال غرب کشور را تحت تأثیر قرار داده است. به دلیل عقب‌نشینی سامانه‌های کم‌فشار ایسلند و پرفشار آزور به بخش‌های غربی‌تر، قدرت و محدوده نفوذ پرفشار سیبری بیشتر شده

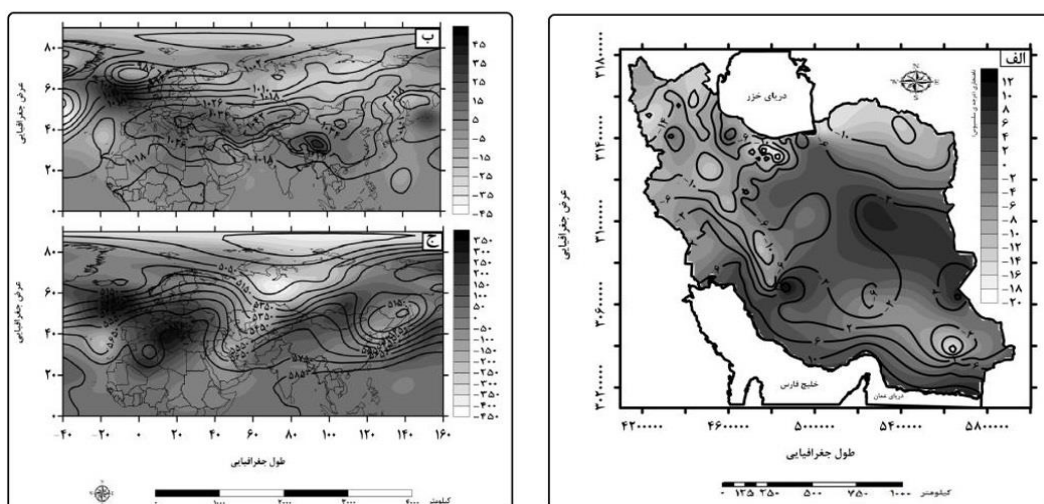
است. در این روز کانون کم‌فشار ایسلند کاملاً بر روی اقیانوس اطلس قرار گرفته است و تنها زبانه‌ای از آن در غرب اروپا مستقر شده است. پرفشار آזור نیز بر روی کانون اصلی تشکیل خود یعنی مجمع‌الجزایر آזור قرار دارد. ناهنجاری فشار در مناطق وسیعی از روسیه، اروپا، خاورمیانه و ایران مثبت بوده است و بیشینه این ناهنجاری (تا ۵۰ هکتوپاسکال) در محل قرارگیری پرفشار سیبری دیده می‌شود. مقدار ناهنجاری فشار در بخش‌های غربی و مرکزی ایران بیش از بخش‌های شرقی آن (حدود ۱۵ هکتوپاسکال) بوده است. الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ج) برای این روز وجود یک پشته نسبتاً قدرتمند در منطقه را نشان می‌دهد که با محل قرارگیری پرفشار سطح زمین انطباق دارد. این پشته به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شده است. بخش شمالی آن با محوری شمال شرقی - جنوب غربی در بخش‌های مرکزی و شمالی روسیه قرار گرفته است. پشته جنوبی در شرق دریای مدیترانه قرار داشته و بازوی شرقی آن در بخش‌های غربی ایران قرار گرفته است همچنین ناوهای در بخش‌های شرقی کشور دیده می‌شود و در نتیجه وجود این ناوه در منطقه خط هم‌ارتفاع ۵۵۰ ژئوپتانسیل متر به بخش‌های میانی کشور نفوذ کرده است. نحوه چینش منحنی‌های هم‌ارتفاع بین این سامانه‌ها شرایط لازم جهت نفوذ هوای سرد به سوی کشور را فراهم آورده است. شکل‌گیری این الگو موجب افزایش تدریجی دما در بخش‌های شمال غرب و غرب کشور و در بخش‌های مرکز، شرق و جنوب شرق کشور شده است. ناهنجاری ارتفاع جو در مناطق شمالی روسیه و همچنین اروپا مثبت بوده و در بالاترین میزان به حدود ۵۰۰ ژئوپتانسیل متر می‌رسد. در بخش‌های شرقی و مرکزی ایران این میزان منفی بوده و در حدود ۵۰- ژئوپتانسیل متر است اما در بخش‌های شمال غرب و غرب کشور به دلیل قرارگیری در جلوی پشته مستقر در شرق مدیترانه، مقادیر ناهنجاری ارتفاع مثبت بوده است.



شکل ۴. الف) توزیع مکانی دما و ناهنجاری آن (درجه سلسیوس). ب) فشار تراز دریا و ناهنجاری آن (هکتوپاسکال). ج) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری آن (ژئوپتانسیل متر) در ساعت ۳/۳۰ بامداد روز

۱۳۶۲/۱۱/۱۳ (نماینده الگوی سوم)

الگوی چهارم در ۹۸ روز (۲۰/۱ درصد) از مجموع ۴۸۷ روز مورد مطالعه شکل گرفته است. روز ۱۳۴۲/۱۰/۵ به عنوان نماینده این گروه اختیار شد. میانگین دمای کمینه طی این روز ۳/۵- درجه سلسیوس و میزان پوشش سرما در پهنه کشور ۲۹/۶ درصد بوده است. آن‌گونه که در شکل ۵-الف دیده می‌شود پوشش سرما در بخش‌هایی از شمال شرق، شمال‌غرب و دامنه‌های مرکزی و جنوبی زاگرس قرار گرفته است. پایین‌ترین مقادیر دمایی در نواحی شمالی استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل دیده می‌شود. در این مناطق میزان دما به حدود ۱۸- درجه می‌رسد. در شمال شرق کشور نیز دما به ۱۴- درجه رسیده است. ناهنجاری دمایی در این مناطق منفی و بین ۸- تا ۲۰- درجه سلسیوس در نوسان می‌باشد. دما در مناطق مرکزی و جنوبی کشور نسبت به الگوی قبلی اندازه‌های بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؛ به‌عنوان مثال خط هم‌دمای ۲- درجه در این روز در عرض‌های جغرافیایی بالاتری قرار گرفته است. همچنین ناهنجاری دمایی در این نواحی مثبت است.



شکل ۵. الف) توزیع مکانی دما و ناهنجاری آن (درجه سلسیوس). ب) فشار تراز دریا و ناهنجاری آن (هکتوپاسکال). ج) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری آن (ژئوپتانسیل متر) در ساعت ۳/۳۰ بامداد روز ۱۳۴۲/۱۰/۵ (نماینده الگوی چهارم)

بر اساس نقشه توزیع فشار تراز دریا (شکل ۵-ب) در این روز سامانه پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۴۲ هکتوپاسکال در جنوب اروپا، خاورمیانه، ایران و بخش‌هایی از آسیای مرکزی قرار گرفته است. نفوذ این سامانه به نیمه شمالی ایران به حدی بوده که خط هم‌فشار ۱۰۳۴ هکتوپاسکال در نیمه شمالی و خط هم‌فشار ۱۰۴۲ هکتوپاسکال در بخش‌هایی از شمال شرق کشور مستقر شده است. همچنین خط هم‌فشار ۱۰۳۴ هکتوپاسکال در بخش‌های میانی کشور نفوذ و استقرار یافته است. در سمت شرق این سامانه، پرفشار سبیری با فشار مرکزی ۱۰۳۸ هکتوپاسکال بر روی مغولستان قرار دارد. از شکل منحنی‌های هم‌فشار و موقعیت دو سامانه نسبت به یکدیگر به نظر

می‌رسد این دو پرفشار در حال ترکیب شدن با هم بوده‌اند. در شمال اروپا کم‌فشار ایسلند با فشار ۹۷۸ هکتوپاسکال در غرب نروژ قرار گرفته است. در تمام مناطق شمال اروپا از اسکاندیناوی تا بخش‌های شمال شرقی روسیه یک سامانه کم‌فشار قطبی با امتداد غربی - شرقی استقرار دارد. مرکز این سامانه (با ۹۹۴ هکتوپاسکال) در نواحی قطبی قرار گرفته است. قرارگیری این سامانه در نواحی مذکور موجب محدودتر شدن ابعاد سامانه‌های پرفشار مستقر در منطقه است. این الگو تا حدودی به الگوی گروه اول شباهت دارد؛ ولی در عین حال در چند مورد با آن متفاوت است. از جمله این که دامنه تغییرات ناهنجاری‌ها در این الگو بیشتر می‌باشد (± 45 هکتوپاسکال). برخلاف الگوی اول در نواحی شمالی اروپا و سرتاسر روسیه ناهنجاری منفی فشار مشاهده می‌شود. پرفشار سیبری به سمت شرق عقب‌نشینی و پرفشار اروپایی در کل منطقه استقرار یافته است؛ در حالی که در الگوی نماینده گروه اول این پرفشار در غرب اروپا قرار داشت. در این روز مقدار ناهنجاری فشار در نیمه شمالی کشور مثبت (۵ تا ۱۵ هکتوپاسکال) و در نیمه جنوبی آن منفی (حداکثر ۵- هکتوپاسکال) بوده است.

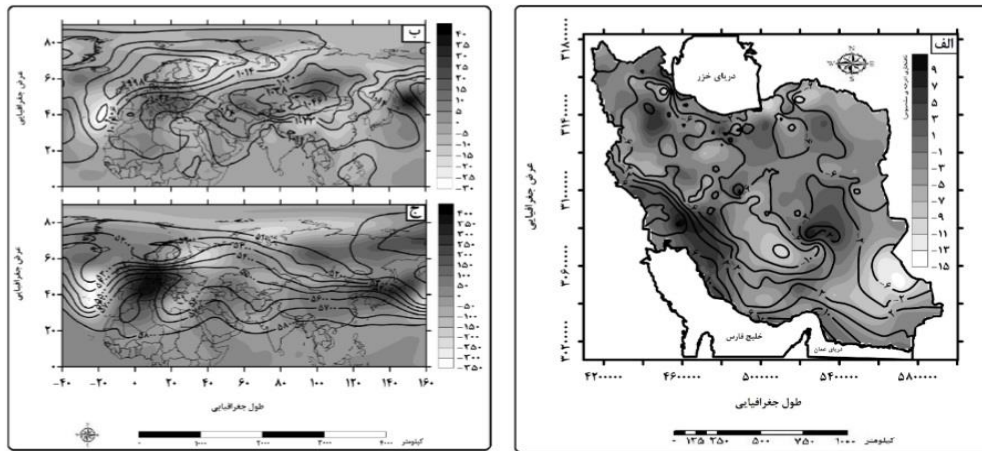
در تراز میانی جو (شکل ۵-ج) پشته‌ای با محور شمال شرقی - جنوب غربی در بخش‌های غربی روسیه استقرار یافته و بازوی شرقی آن در مجاورت مرزهای غربی ایران قرار دارد. پشته دیگری در شمال چین و بر روی مغولستان مشاهده می‌شود. در حدفاصل بین این دو پشته یک ناوه عمیق بر روی ایران شکل گرفته است. بر اثر قرارگیری این ناوه بر روی کشور خط هم‌ارتفاع ۵۵۵۰ متر به صورت مایل تا نواحی جنوب غرب کشور کشیده شده و خط ۵۴۵۰ متر در نزدیکی مرزهای شمال شرقی کشور قرار گرفته است. ایجاد این الگو در تراز میانی جو باعث فراهم شدن شرایط ریزش هوای سرد از ناحیه اسکاندیناوی به سوی کشور گشته است. یکی از تفاوت‌های مهم این الگو با الگوی تراز میانی در گروه اول، محل قرارگیری پشته می‌باشد؛ در گروه اول پشته در غرب اروپا قرار داشته و ناوه قسمت شرقی آن دارای عمق کمتری بوده است. در گروه چهارم پشته در قسمت‌های شرقی اروپا قرار دارد و حالت خاص آن باعث عمیق‌تر شدن ناوه قسمت شرقی آن شده است.

الگوی پنجم طی ۸۵ روز (۱۷/۴ درصد) از ۴۸۷ روز همراه با موج سرما مشاهده شده است. روز ۱۳۷۷/۱۰/۱۵ به عنوان نماینده این گروه شناسایی شده است. میانگین دمای کمینه طی این روز ۳/۴- درجه و میزان پوشش سرما در سطح کشور ۳۶ درصد بوده است. شکل ۶-الف توزیع مکانی دمای این روز در سطح کشور را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه ارائه شده در شکل ۶-الف سرما در رشته کوه زاگرس و نوار شرقی کشور رخ داده است. پایین‌ترین دمای مشاهده شده ۱۴- درجه سلسیوس بوده است. در سایر مناطق غرب و شمال غرب و شمال شرق کشور میزان دما بین ۶- تا ۱۰- درجه سلسیوس بوده است. این وضعیت نشان می‌دهد اندازه‌های دمایی در این الگو از شدت کم‌تری نسبت به گروه‌های پیش یاد شده برخوردار است. علاوه بر این برخلاف سایر الگوها سردترین دماها در نواحی شمالی رخ نداده است. در این روز خطوط هم‌دما در نوار جنوبی کشور نسبتاً فشرده بوده‌اند که نشان از نفوذ

هوای سرد به این نواحی و تغییرات زیاد دما در آن‌ها دارد. تغییرات مکانی ناهنجاری‌های دمایی در الگوی این روز حالتی پراکنده‌تر نسبت به الگوهای قبل دارد و ناهنجاری‌های مثبت و منفی در همه جای کشور به چشم می‌خورند. با این حال پایین‌ترین مقادیر ناهنجاری منفی در بخش‌هایی از زاگرس جنوبی، جنوب شرق و شمال شرق کشور وجود دارد که مقدار آن بین ۵- تا ۱۵- درجه سلسیوس می‌باشد.

نقشه توزیع مکانی فشار تراز دریا (شکل ۶-ب) نشان می‌دهد که در این روز کانون پرفشار سیبری در غرب مغولستان قرار داشته و فشار آن به ۱۰۵۴ هکتوپاسکال رسیده است. زبانه ۱۰۲۲ هکتوپاسکالی آن از سمت شمال شرق وارد کشور شده است و به جز نوار ساحلی جنوب، سایر مناطق کشور را فراگرفته است. کم‌فشار ایسلند با حرکتی شرق سو از کانون اصلی خود، روی اسکاندیناوی استقرار یافته و فشار قسمت مرکزی آن ۹۹۸ هکتوپاسکال می‌باشد. زبانه‌های این سامانه بخش‌های وسیعی از شمال اروپا و شمال و مرکز روسیه همچنین قسمت‌هایی از اقیانوس اطلس در غرب اروپا را دربرگرفته‌اند. گسترش این سامانه و جابجایی مکانی آن باعث تاثیرگذاری بیشتر آن بر روی رفتار پرفشار سیبری شده است. سامانه پرفشار دیگری با فشار مرکزی ۱۰۲۲ هکتوپاسکال در جنوب اروپا مستقر شده است. در بخش‌های شرقی مدیترانه نیز زبانه کم‌فشاری دیده می‌شود که مرکز اصلی آن با فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بر روی سودان قرار دارد. ناهنجاری فشار دریا در محل پرفشار سیبری و پرفشار مستقر در اروپا مثبت (تا ۳۰ هکتوپاسکال) بوده است. در محل قرارگیری کم‌فشار ایسلند نیز ناهنجاری منفی فشار به میزان ۳۰- هکتوپاسکال دیده می‌شود. در سطح کشور ناهنجاری فشار مثبت (۵ تا ۱۵ هکتوپاسکال) می‌باشد.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-ج) یک سامانه پراارتفاع به صورت مانع در بخش‌های جنوب غربی اروپا قرارگرفته است. میزان ارتفاع این سامانه ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر می‌باشد و دو ناوه در غرب و شرق آن دیده می‌شود. ناوه غربی در شرق اقیانوس اطلس و در نزدیکی جزایر آزور و ناوه شرقی در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است. همچنین ناوه‌ای بر روی افغانستان استقرار یافته است. در این روز بخش‌های غربی کشور تحت تأثیر پشته‌ای بوده‌اند که در این نواحی قرار داشته است و نیمه شرقی کشور نیز در جلوی بازوی شرقی این پشته قرار گرفته‌اند. ناهنجاری ارتفاع جو در غرب اروپا و محل تشکیل پشته مثبت (حدود ۴۰۰ متر) است؛ اما این مقدار در ناوه شرق مدیترانه در حدود ۲۰۰- متر می‌باشد. در ایران به دلیل نفوذ پشته در بخش‌های غربی میزان ناهنجاری ۱۵۰ متر و در بخش‌های شرق و جنوب شرق کشور ۱۰۰- متر است. ایجاد این الگو در سطح کشور باعث شده است که در نوار غربی کشور به تدریج افزایش دما و در نیمه شرقی آن ریزش هوای سرد و موج سرما ایجاد شود.



شکل ۶: الف) توزیع مکانی دما و ناهنجاری آن (درجه سلسیوس). ب) فشار تراز دریا و ناهنجاری آن (هکتوپاسکال). ج) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری آن (ژئوپتانسیل متر) در ساعت ۳/۳۰ بامداد روز ۱۳۷۷/۱۰/۱۵ (نمایندۀ الگوی پنجم)

۴. نتیجه‌گیری

هدف نهایی در پژوهش حاضر شناسایی الگوهای هم‌دید ایجاد‌کننده موج‌های سرمای فراگیر در پهنه کشور ایران بوده است. با توجه به این هدف از برخی شرط‌ها برای شناسایی سرماهای فراگیر در سطح کشور استفاده شده است. یکی از ویژگی‌های این پژوهش استفاده از نمودار جعبه‌ای برای تعریف سرماهای فراگیر است تا بر اساس آن الگوهای جوی توأم با سرماهای شدید زمستانه کشور شناسایی شود. بدین ترتیب تشخیص به موقع آن‌ها در شرایط مشابه امکان اتخاذ تدابیر مدیریتی مناسب در جهت جلوگیری از خسارات را آسان‌تر می‌سازد و کارایی مدیریت بحران را افزایش می‌دهد. بر این اساس با انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار تراز دریا مربوط به ۴۸۷ روز همراه با موج سرمای فراگیر، ۵ الگوی جوی برای روزهای توأم با این پدیده شناسایی شد. واکاوی هم‌دید این الگوها نشان داد تمامی سرماهای فراگیر در کشور توأم با شکل‌گیری الگوهای پرفشار گسترده بر روی ایران، بخش‌هایی از خاورمیانه و آسیا و جنوب شرق اروپا است. نحوه آرایش دو سامانه پرفشار سیبری و آזור نقش بسیار مهمی در هدایت هوای سرد عرض‌های شمالی به سوی کشور ایفا کرده است. قرارگیری کم‌فشارهای جنب‌قطبی در مناطق شمالی اروپا و روسیه نیز با جابه‌جایی هوای سرد قطبی به سمت عرض‌های جنوبی‌تر همراه بوده است. همچنین مشخص شد که شکل‌گیری امواج سرمای با ناهنجاری مثبت فشار تراز دریا و ناهنجاری منفی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در پهنه کشور همراه بوده‌اند. نکته بسیار مهمی که در میان بررسی‌های این پژوهش آشکار شد آن است که شکل‌گیری الگوهای خاص تراز میانی جو در ایجاد و تشدید امواج سرمای فراگیر تأثیر بسزایی داشته‌اند؛ به‌گونه‌ای که شدیدترین و فراگیرترین امواج سرمای زمستانی هنگامی شکل گرفته‌اند که سامانه‌های مانع در شرق

اروپا استقرار یافته و ناوه شرقی آن‌ها بر روی ایران قرار گرفته است (مانند الگوی دوم). یافته‌های این پژوهش تا حدود زیادی نتایج پژوهش‌های سایر پژوهشگران از جمله علیجانی و براتی (۱۳۷۵)، عزیزی (۱۳۸۳)، هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، لشکری (۱۳۸۷) و مسعودیان و دارند (۱۳۹۰) در مورد عوامل توأم با موج‌های سرمای در ایران را تأیید نموده است.

کتابنامه

- امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، عاطفه؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدید موج سرمای شدید ۱۶ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی (استان‌های اصفهان، کرمان، یزد). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. شماره ۴۵. صص: ۹۸-۸۱. اصفهان.
- جهانبخش، سعید؛ رضایی، سمیه؛ قاسمی، احمد رضا؛ تدینی، معصومه؛ ۱۳۹۰. تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳). تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱۰۲. صص: ۲۴-۱. اصفهان.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ داودی، محمود؛ روستا، ایمان؛ حقیقی، اسماعیل؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدیدی سرماهای شدید شمال خراسان. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. شماره ۹. صص: ۱۲-۱. مشهد.
- شادمان، حسن؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدید موج‌های گرمایی فراگیر در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی به راهنمایی دکتر حسین عساکره، دانشگاه زنجان، گروه جغرافیا.
- شاهبایی کوتنایی، علی؛ ۱۳۹۳. تحلیل همدید موج‌های سرمای زمستانی در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی سینوپتیک به راهنمایی دکتر حسین عساکره، دانشگاه زنجان، گروه جغرافیا.
- عزیزی، قاسم؛ ۱۳۸۳. ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر بهاری در نیمه غربی ایران. مدرس علوم انسانی. شماره ۳۲، صص: ۹۹-۱۱۵. تهران.
- عزیزی، قاسم؛ اکبری، طیبه؛ داودی، محمود؛ اکبری، مهری؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۰. صص: ۱۹-۱. تهران.
- عزیزی، قاسم؛ محمدی، حسین؛ روستا، ایمان؛ داودی، محمود؛ ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیک سوزبادهای غرب و شمال غرب ایران در دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵. فضای جغرافیایی. شماره ۳۹. صص: ۵۸-۳۷. اهر.
- علایی طالقانی، محمود؛ ۱۳۹۰، ژئومرفولوژی ایران، چاپ ششم، تهران، انتشارات قومس.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۶۹. چگونگی تشکیل فرابار سیبری و اثر آن بر اقلیم شرق ایران. تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱۷. صص: ۵۱-۴۱. اصفهان.
- علیجانی، بهلول؛ هوشیار، محمود؛ ۱۳۸۷. شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۵. صص: ۱۶-۱. تهران.
- فرشادفر، عزت‌الله؛ ۱۳۸۹. اصول و روش‌های آماری چند متغیره. چاپ سوم. کرمانشاه. انتشارات دانشگاه رازی کرمانشاه.

- کریمی، صادق؛ نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدید امواج سرماهای فراگیر ایران - مورد: موج سرمای دی و بهمن ۱۳۸۳ استان چهارمحال و بختیاری. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹. صص: ۷۶-۵۵. زاهدان.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸ تا ۱۵ دی ماه ۱۳۸۵ در ایران. مدرس علوم انسانی. شماره ۶۵. صص: ۱۷۷-۱۵۱. تهران.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۰. آب و هوای ایران. چاپ اول. مشهد. انتشارات شریعه توس.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد؛ ۱۳۹۰. تحلیل همدید سرماهای فرین ایران. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۲. صص: ۱۸۵-۱۶۵. زاهدان.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد؛ ۱۳۹۲. تحلیل همدید یخبندانهای فراگیر و با دوام ایران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. شماره ۵۰. صص: ۱۴۴-۱۲۹. اصفهان.
- هژیرپور، قاسم؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۶. تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۰، صص: ۸۹-۱۰۶. زاهدان.
- Garcia I.P. (1996). Major Cold Air Outbreaks Affecting Coffee and Citrus Plantations in the Eastern and North Eastern Mexico, *Atmosfera*, 9, 47-68.
- Gudgel D. (2005). The Unusual Frost Event of Nov. 29 to Dec. 4 2004, WFO San Joaquin Valley, National Weather Service, Hanford, CA, , 2
- Konrad C. E. (1996). Relationships Between the Intensity of Cold-Air Outbreaks and the Evolution of Synoptic and Planetary-Scale Features Over North America, *Monthly Weather Review*, 124, 1067-1083.
- Park T.W., Ho C.H. & Yang S. (2011), Relationship between the Arctic Oscillation and Cold Surges over East Asia, *Journal of Climate*, 24, 63-83.
- Pezza A.B. & Ambrizzi T. (2005). Dynamical Conditions and Synoptic Tracks Associated With Different Types of Cold Surge Over Tropical South America, *International Journal of Climatology*, 25, 215-241.
- 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.
- Takahashi H. (1990). Migration of the Cold Air Mass Related to Rain Belt Formation of the Chinese Continent and Atmospheric Systems during the Baiu Season (in apanese), *Geographical Review of Japan, Series a*, 64, 10-24.
- Zhang K.R.S. & James S.B. (1996), Climatology of East Asian Winter Monsoon and Cold Surges, PCMDI Report 38.