

شناسایی الگوهای فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد

مجید منتظری* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد
سیدابوالفضل مسعودیان - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۶/۲۱ تأیید مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۵

چکیده

برای دستیابی به الگوهای فرارفت دمایی در سال‌های سرد، ابتدا براساس متوسط دمای سالانه کشور، پنج سال سرد مشخص گردید. سپس برای تعیین فرارفت‌های دمایی سه مؤلفه باد مداری، باد نصف‌النهاری و دمای هوا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، برای ساعت ۱۲ GMT و در محدوده جغرافیایی ۲۰ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۳۵ تا ۷۰ درجه طول شرقی، از پایگاه داده‌های اقلیمی استخراج گردید. فرارفت دمایی برای هر سال با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرادس محاسبه گردید و در مرحله بعد تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ماتریس داده‌های فرارفت دمایی انجام گرفت. این تحلیل نشان داد که با پانزده مؤلفه می‌توان بیش از ۹۳ درصد تغییرات داده‌ها را تبیین کرد. سپس تحلیلی خوشه‌ای با روش ادغام وارد، بر روی ماتریس نمرات مؤلفه‌ها انجام گرفت و براساس مقادیر پانزده مؤلفه در ۱۸۲۷ روز، دوازده الگوی فرارفتی شناسایی گردید. برای هر الگوی فرارفتی یک روز نماینده مشخص شد که معرف فرارفت دمایی در زمان حاکمیت آن الگوست. با مشخص شدن روز نماینده، نقشه‌های فرارفت دمایی این روزها محاسبه و ترسیم گردید. تحلیل نقشه‌های روزهای نماینده الگوهای فرارفت دمایی نشان داد که در طی دوره مورد مطالعه، الگوهای فرارفت سرد، به مراتب غلبه بیشتری دارند و از این رو پایین بودن دما در سال‌های سرد ناشی از فراوانی فرارفت‌های سرد و یورش توده‌های هوای سرد و گسترش آن بر پهنه ایران زمین بوده است. فرارفت‌های دمایی در قالب دو گروه فرارفت‌های شرقی ناشی از گسترش فراباری سیبری و فرارفت‌های غربی در نتیجه استقرار بادهای غربی، کشور را در بر می‌گیرند. بررسی نقشه‌های روزهای نماینده، نشان می‌دهد که فرارفت‌های شرقی سطحی‌اند و شدت بیشتری نیز دارند و در لایه‌های پایین جو جابه‌جا می‌شوند. این در حالی است که فرارفت‌های غربی، ملایم‌ترند و در ترازهای میانی جو نمود بیشتری دارند. بررسی بسامد فرارفت‌های دمایی در ماه‌های سال، نشان داد که الگوهای شماره ۹ و ۱۱ و ۱۲ تابستانه‌اند و در ۳۱ درصد موارد در دوره گرم حادث شده‌اند. از این رو می‌توان گفت که فرارفت‌های دمایی در دوره سرد سال بسامد بیشتری دارند.

کلیدواژه‌ها: فرارفت دمایی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای، الگوی فرارفتی، ایران.

مقدمه

ایران به دلیل گستردگی زیاد به لحاظ طول و عرض جغرافیایی، وجود پیچیدگی پیکربندی ناهمواری‌ها و قرارگیری در معرض یورش توده‌های هوا، از نظر دمایی شرایط ویژه‌ای دارد. ساختار کلی دما تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع و

توده‌های هوا قرار دارد، به طوری که با تغییر هر یک از این عوامل، دما نیز تغییر خواهد کرد. به عبارت دیگر، شرایط کلی دما تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع است و عوامل دیگری مانند پهنه‌های آبی و پوشش‌های سطحی زمین - که از آنها با عنوان عوامل محلی یاد می‌شود - در شکل‌گیری ساختار دمای هر مکان نقش دارند. هر چند به نظر می‌رسد که تغییرات دما از الگویی کلی پیروی می‌کنند که تابعی از تغییرات زاویه تابش خورشید و چگونگی توزیع انرژی گرمایی در طول ماه‌های سال است، اما با این حال دما در طی زمان ثابت نیست و افت و خیزهایی در آن مشاهده می‌شود. برای مثال، در فصل سرد مشاهده شده است که ناگهان هوای نسبتاً گرم یا ملایمی وارد منطقه می‌شود؛ و یا در فصل گرم هوای نسبتاً خنکی چندین روز حاکمیت می‌یابد. به این گونه یورش‌های هوای سرد یا گرم «فرارفت دمایی»^۱ اطلاق می‌گردد. فرارفت‌های دمایی که به خصوص در فصل سرد به کرات رخ می‌دهند، در کنترل عوامل محلی نیستند و بیشتر با الگوهای فشار کنترل می‌شوند. به عنوان مثال، دمای هوا در داخل موج‌های غربی پیوسته تغییر می‌کند، به طوری که در قسمت عقب فرود که جریان هوا از مدارات شمالی به طرف جنوب است، هوای سرد می‌وزد؛ ولی در قسمت جلوی فرود، هوای گرم جنوب، به طرف شمال می‌وزد (علیچانی ۱۳۸۱، ۷۷). از این رو نوع فرارفت بادها و منطقه خیزش آن تعیین‌کننده نوع فرارفت دمایی و به عبارت دیگر مشخصات توده هوایی است که با خود می‌آورد. همچنین در فصل گرم که الگوی فشار نسبتاً یکنواختی (پرفشار جنب حاره) بر بخش اعظم کشور حاکمیت می‌یابد، فرارفت‌های دمایی چندان زیادی حادث نمی‌شود و بیشتر هوای صاف یا آرام و آفتابی و نسبتاً یکنواختی ظهور می‌کند، به طوری که اکثر روزها به لحاظ اقلیمی تقریباً شبیه به یکدیگرند. اما در فصل سرد، با گسترش بادهای غربی بر کشور و حاکمیت یافتن الگوهای فشار متنوع، فرارفت‌های دمایی بیشتری بروز می‌کنند. پایین بودن ضریب تغییرات دما در فصل گرم و بالا بودن آن در فصل سرد می‌تواند دلیلی بر این مدعا باشد.

محققان از منظرهای گوناگون به تأثیر فرارفت‌های دمایی بر شرایط آب‌وهوایی مناطق مختلف کره زمین نگریده‌اند. متاکساس و ریپاپیس (۱۹۷۷)^۲ به مطالعه فرارفت هوای گرم در منطقه یونان به عنوان یکی از عوامل ایجادکننده بارش پرداختند و ۱۲۵ فرارفت گرم را انتخاب و مشاهده کردند که بزرگ‌ترین فرارفت‌های گرم در نتیجه جابه‌جایی سیستمی با دو کم‌فشار است که به وسیله یک پرفشار مجزا شده‌اند. سوخوی و کامارا (۱۹۹۵)^۳ تأثیر فرارفت دمایی را بر لایه مخلوط بالایی در بخش‌های حاره‌ای اقیانوس اطلس بررسی کردند. ایسری (۱۹۹۹)^۴ به مطالعه تأثیر فرارفت دمایی بر چگونگی فرایند ذوب برف پرداخت. بیرول کارا و همکاران (۱۹۹۹)^۵ نشان دادند که در مدل‌های تک‌بعدی پیش‌بینی دما از تأثیر فرارفت‌های دمایی غفلت شده است و معتقدند که در مدل پیشنهاد شده، با دخالت دادن نقش فرارفت‌های دمایی، خطای مدل کاهش می‌یابد. گبرتز (۲۰۰۳)^۶ نقش فرارفت‌های دمایی را در تعیین دامنه نوسان

1. Temperature Advection
2. Metaxas D. A. and C. C. Repapis
3. Sukhovey V. F. and T. Camara
4. Essery R.
5. Birol Kara A., Paul H. Ruscher, Zekai Sen
6. Geerts B.

دمای روزانه بسیار مؤثر می‌داند. تانگ و همکاران (۲۰۰۴)^۱ مطالعه فرایندهای درونی و بیرونی فرارفت دمایی، مدل پیشنهادی خود را در منطقه استوایی اقیانوس آرام، در ناحیه‌ای که تحت تأثیر جریانات النینو قرار دارد، ارزیابی کردند. سزیماسکی (۲۰۰۵)^۲ به مطالعه تأثیر فرارفت‌های دمایی بر تغییرپذیری دمای هوا در یک محدوده شهری پرداخت و تأثیرات فرارفت دمایی را بر چگونگی شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری در شهر واکلو لهستان، مطالعه کرد. مارکوس و راگو (۲۰۰۶)^۳ به ارائه مدلی عددی برای فرایندهایی که موجب فرارفت افقی دما در امواج ناپایدار حاره‌ای می‌شود اقدام کردند. مارکوس و همکاران (۲۰۰۷)^۴ به مشاهده فرارفت افقی دما ناشی از امواج ناپایدار حاره‌ای پرداختند و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای دمای سطحی آب، فرارفت دمایی سه منطقه استوایی را برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ استخراج کردند و نشان دادند که ۲۵ درصد گرمایش منطقه ناشی از فرارفت دمایی است. سون (۲۰۰۸)^۵ نشان داد که فرایندهای درونی سیستم جو - اقیانوس می‌تواند باعث ایجاد نوسانات چنددهه‌ای شود، به طوری که گسترش امواج رزبای یا فرارفت گرمایی نصف‌النهاری به تنهایی می‌تواند نوسانات اقلیمی یک یا دو دهه‌ای ایجاد کند، در حالی که ترکیب این دو فرایند نوسانات چند دهه‌ای را موجب می‌شود. موحامد و همکاران (۲۰۰۹)^۶ فرارفت دمایی را به عنوان عاملی اصلی برای شناخت بیلان گرمایی منطقه حاره‌ای اقیانوس اطلس برشمردند و نشان دادند که می‌توان آن را از عوامل اصلی تغییرپذیری اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و سیاره‌ای نیز تلقی کرد.

پژوهش‌هایی که در ایران صورت گرفته عمدتاً بر محوریت تحلیل‌های همدید یخبندان‌های فرارفتی بوده‌اند که از این میان می‌توان به کارهای علیجانی و براتی (۱۳۷۵)، براتی (۱۳۷۸)، بهیار (۱۳۷۲)، لشکری و ربانی (۱۳۸۳)، عزیزی (۱۳۸۳)، هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، نوحی و همکاران (۱۳۸۶)، لشکری (۱۳۸۷)، علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷)، فتاحی و صالحی پاک (۱۳۸۸)، اشاره کرد. افزون بر اینها، خوشحال و همکاران (۱۳۸۸) نیز در پژوهشی در زمینه شناسایی منشأ و مسیر رطوبت بارش‌های فوق‌سنگین استان بوشهر، به محاسبه و ترسیم نقشه‌های فرارفت رطوبتی پرداختند.

مواد و روش‌ها

برای دستیابی به الگوهای فرارفت دمایی در سال‌های سرد، ابتدا براساس سری زمانی متوسط دمای سالانه کشور، دوره سی ساله ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ انتخاب گردید و پس از تنظیم داده‌ها، سال‌های ۱۹۷۴، ۱۹۷۶، ۱۹۸۲، ۱۹۹۲، ۱۹۷۵ به ترتیب با دمای ۱۷/۱۶، ۱۷/۱۷، ۱۷/۱۸، ۱۷/۴۲، ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد، به دلیل انحراف از متوسط دمای سالانه کشور (۱۸ درجه) به عنوان سال‌های سرد مشخص شدند. سپس برای محاسبه فرارفت‌های دمایی سه مؤلفه باد مداری^۷، باد نصف‌النهاری^۸

1. Tong L., Ichiro F. and Benyang T.
2. Szymanowski M.
3. Markus J. and M. Raghu
4. Markus J., Meghan F. Cronin, William S. Kessler and Denis Shea
5. Soon I.
6. Muhammed I., G. Quartley and P. Challenor
7. U wind
8. V wind

و دمای هوا^۱ در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، برای ساعت GMT 12 دوره زمانی مذکور، در محدوده جغرافیایی ۲۰ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۳۵ تا ۷۰ درجه طول شرقی، با تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه، از پایگاه داده‌های اقلیمی^۲ استخراج گردید. دلیل انتخاب این محدوده گسترده، شناسایی پدیده‌های همدید و آگاهی از مسیر حرکت سامانه‌های فرارفتی و چگونگی گسترده‌گی آنها بر روی کشور است. فرارفت دمایی براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$T.A = -\left(u \frac{dt_x}{\cos \varphi dx} + v \frac{dt_y}{dy}\right) \frac{1}{R} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله T.A فرارفت دمایی، u مؤلفه باد مداری، dt_x تفاضل دما در جهت مداری، v مؤلفه باد نصف‌النهاری، dt_y تفاضل دما در جهت نصف‌النهاری، φ عرض جغرافیایی، و R شعاع کره زمین و معادل $6/37 \times 10^6$ متر است. فرارفت دمایی برای هر سال براساس رابطه (۱) و با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرادس محاسبه گردید. با توجه به اینکه تفکیک مکانی این داده‌ها $2/5 \times 2/5$ درجه است، برای هر روز در راستای طول جغرافیایی ۸ یاخته، و در راستای عرض جغرافیایی ۷ یاخته، چارچوب کشور ایران را می‌پوشاند. بدین ترتیب برای هر روز ۵۶ داده و برای هر سال 365×56 داده وجود دارد. بر این اساس، فرارفت دمایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای هر روز با ۵۶ مقدار مشخص می‌شود. سرانجام ماتریس داده‌ها به ابعاد 1827×56 و به حالت S آرایش داده شد. لازم به ذکر است که سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۹۲ در این میان سال‌های کبیسه‌اند.

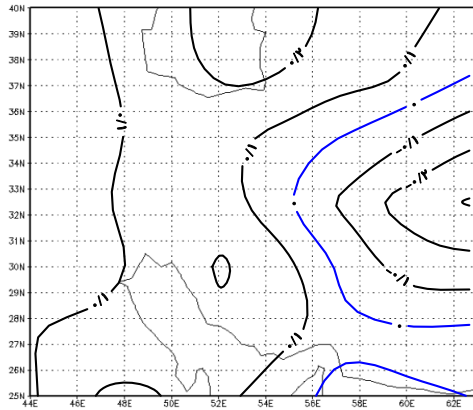
در مرحله بعد، تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ماتریس داده‌های فرارفت دمایی انجام گرفت. این تحلیل نشان داد که با ۱۵ مؤلفه می‌توان بیش از ۹۳ درصد تغییرات داده‌ها را تبیین کرد. به این ترتیب دو ماتریس به ترتیب به ابعاد 56×15 برای الگوهای مکانی، و 1827×15 برای الگوهای زمانی به دست آمد. ماتریس بارهای مؤلفه‌ها (56×15) در نرم‌افزار سرفر^۳ بر روی چارچوب جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی با یاخته‌های $2/5 \times 2/5$ درجه به روش نزدیک‌ترین همسایه به نقشه تبدیل و خطوط همچند آن ترسیم شد. در نهایت ۱۵ نقشه به دست آمد که به ترتیب اهمیت، معرف آرایش‌های اصلی فرارفت دمایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است. بر این اساس آرایش‌های مختلف فرارفت‌های دمایی که در عمل مشاهده می‌شود، ترکیبی از این ۱۵ مؤلفه است.

مؤلفه اول بیش از ۲۵ درصد تغییرات را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه، نماینده فرارفت سردی است که از سمت شرق وارد می‌شود و تمامی کشور را در بر می‌گیرد. درواقع مؤلفه اول معرف فرارفت‌های شرقی است که از سمت شرق و شمال شرق بر کشور گسترش می‌یابند.

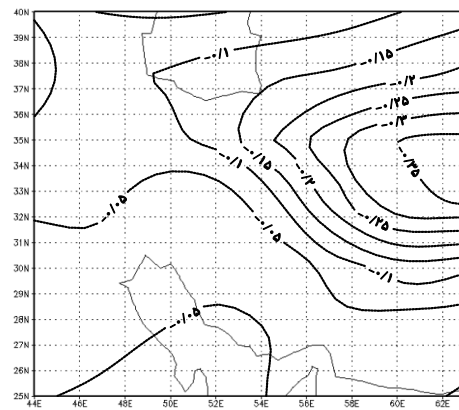
در اینجا لازم است به این نکته اشاره شود که اعداد منفی نمایشگر فرارفت‌های سرد و اعداد مثبت بیانگر

1. Air Temperature
2. NCEP/NCAR (www.cdc.noaa.gov)
3. Surfer

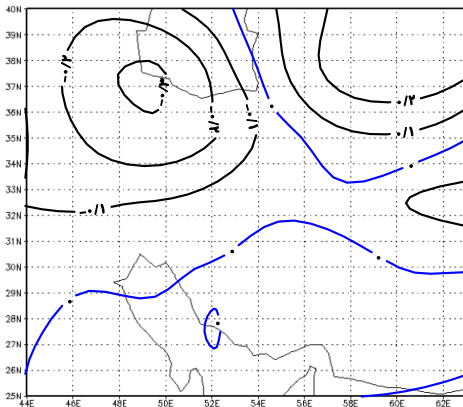
فرارفت‌های گرم هستند (شکل ۱). در روزهایی که نمره مؤلفه دارای مقادیر مثبت بزرگ است، الگوی واقعی فرارفت دمایی همین آرایش مکانی است. در روزهایی که مقدار آن صفر است این مؤلفه خاموش است و در روزهایی که نمره مؤلفه مقادیر منفی بزرگ دارد، الگوی واقعی فرارفت دمایی با همین آرایش مکانی است، اما به‌جای فرارفت سرد الگوی فرارفت گرم، و به‌جای فرارفت گرم الگوی فرارفت سرد حاکمیت می‌یابد.



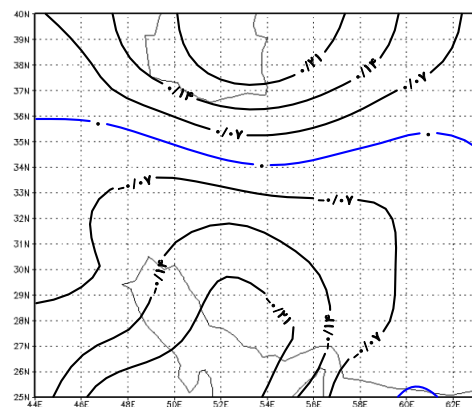
شکل ۲. الگوی مکانی بارهای مؤلفه شماره دو



شکل ۱. الگوی مکانی بارهای مؤلفه شماره یک



شکل ۴. الگوی مکانی بارهای مؤلفه شماره چهار



شکل ۳. الگوی مکانی بارهای مؤلفه شماره سه

مؤلفه دوم حدود ۱۵ درصد تغییرات را بیان می‌کند و از نظر الگوی مکانی تقریباً شبیه الگوی مؤلفه اول است، با این تفاوت که فرارفت سرد از مرزهای شرقی وارد می‌شود و تا مرکز کشور گسترش می‌یابد، در حالی که نیمه غربی کشور را فرارفت گرم فرا گرفته است. در واقع می‌توان گفت که الگوی مکانی مؤلفه دوم حالت تضعیف‌شده الگوی مکانی مؤلفه اول است (شکل ۲).

مؤلفه سوم نماینده فرارفت سردی است که از سمت جنوب و جنوب‌غرب وارد کشور می‌شود. فرارفت سرد نیمه جنوبی کشور یعنی تا حوالی مدار ۳۴ درجه را در بر می‌گیرد، در حالی که نیمه شمالی کشور دارای فرارفت گرم است (شکل ۳). در واقع مؤلفه سوم معرف فرارفت‌های غربی است که در قالب بادهای غربی از سمت شمال‌غرب و غرب و جنوب‌غرب، کشور را احاطه می‌کنند. این مؤلفه حدود ۱۲/۵ درصد تغییرات را تبیین می‌کند.

الگوی مکانی مؤلفه چهارم حاکی از فرارفت سردی است که از سمت غرب و شمال غرب کشور وارد شده و نیمه غربی کشور و تمام سواحل جنوب‌غربی خزر را در بر گرفته است. در بخش شمال غرب کشور نیز فرارفت گرمی رخ داده که تا حوالی نصف‌النهار ۵۶ درجه شرقی و مدار ۳۴ درجه شمالی گسترش یافته است (شکل ۴). این مؤلفه در حدود ۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توضیح می‌دهد و بیانگر فرارفت‌های غربی - شرقی است. فرارفت‌های غربی از سمت شمال و شمال‌غرب و جنوب‌غرب، و فرارفت‌های شرقی از سمت شرق و شمال شرق کشور را در بر می‌گیرند. در مجموع مؤلفه‌های اول تا چهارم بیش از ۶۰ درصد پراش داده‌ها را تبیین می‌کنند. برای رعایت اختصار، بقیه نقشه‌ها و نمودارهای مؤلفه‌های بعدی آورده نشده است.

شناسایی الگوهای فرارفت دمایی

الگوی فرارفت دمایی برحسب ترکیب ویژه‌ای از نمرات مؤلفه‌های اصلی تعریف می‌شود. بنابراین تمامی روزهایی که از نظر مقدار پانزده مؤلفه اصلی مذکور با یکدیگر همانند هستند اعضای یک الگوی فرارفت دمایی را تشکیل می‌دهند. بر پایه این استدلال، تحلیلی خوشه‌ای با روش ادغام وارد بر روی ماتریس نمرات مؤلفه‌ها (۱۸۲۷×۱۵) انجام گردید. این بررسی نشان داد که براساس مقادیر پانزده مؤلفه اصلی در ۱۸۲۷ روز (۵ سال)، می‌توان دوازده الگوی فرارفتی شناسایی کرد. هر الگوی فرارفتی از نظر مقدار مؤلفه‌های اصلی، از الگوی دیگر متمایز می‌شود (جدول ۱). به بیان دیگر، هر الگوی فرارفتی ترکیب ویژه‌ای از مقادیر مؤلفه‌های اصلی را نمایش می‌دهد. بنابراین، هر یک از روزهای مورد بررسی را می‌توان برحسب مقادیر مؤلفه‌های شان در یکی از این الگوهای فرارفتی جا داد.

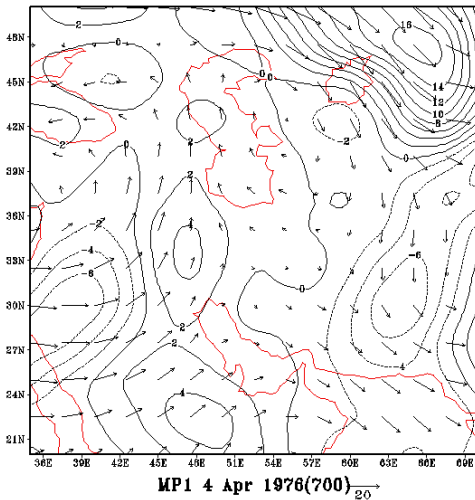
روزی که به‌طور متوسط با دیگر اعضای هم‌گروه خود بالاترین همبستگی را داشت به‌عنوان روز نماینده در نظر گرفته شد. سپس برای هر الگوی فرارفتی یک روز نماینده مشخص گردید که معرف فرارفت دمایی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در زمان حاکمیت آن الگوست. مقادیر همبستگی روز نماینده نشان می‌دهد که روزهای انتخاب شده تا اندازه زیادی معرف افراد هم‌گروه خود هستند (جدول ۱). افزون بر این برای هر گروه، میانگین همبستگی همه اعضای گروه با یکدیگر نیز محاسبه شد، که معیاری از درجه همگنی اعضای گروه با یکدیگر است. مقادیر همبستگی درون‌گروهی نشان می‌دهد که الگوهای فرارفتی به‌دست آمده، انسجام و همگنی درونی نسبتاً مناسبی دارند (جدول ۱).

جدول ۱. نمایندگان دوازده الگوی فرارفت دمایی

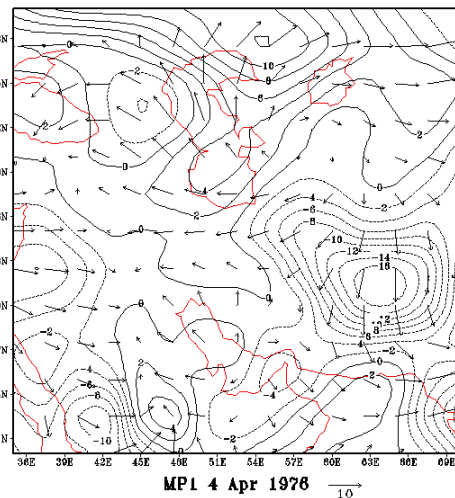
الگوی فرارفتی	فراوانی (روز)	درصد فراوانی	روز نماینده	همبستگی روز نماینده	همبستگی درون‌گروهی	الگوی فرارفتی	فراوانی (روز)	درصد فراوانی	روز نماینده	همبستگی روز نماینده	همبستگی درون‌گروهی
۱	۲۸۵	۱۵/۶	۱۹۷۶/۴/۴	۰/۵۰	۰/۲۷	۷	۲۷۷	۱۵/۲	۱۹۹۲/۱۲/۱۲	۰/۶۹	۰/۵۱
۲	۱۵۶	۸/۵	۱۹۹۲/۱۲/۲۷	۰/۶۴	۰/۴۶	۸	۱۵۵	۸/۵	۱۹۹۲/۱۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۱۶
۳	۷۰	۳/۸	۱۹۷۵/۳/۲۱	۰/۵۳	۰/۳۶	۹	۲۷۸	۱۵/۲	۱۹۷۴/۸/۱۱	۰/۴۲	۰/۲۰
۴	۱۰۴	۵/۶	۱۹۹۲/۱۱/۲	۰/۶۷	۰/۴۹	۱۰	۴۰	۲/۲	۱۹۷۶/۳/۲	۰/۷۷	۰/۶۶
۵	۹۱	۵	۱۹۷۶/۱۰/۴	۰/۷۳	۰/۵۹	۱۱	۱۲۹	۷	۱۹۸۲/۸/۱۱	۰/۷۴	۰/۵۹
۶	۷۶	۴/۲	۱۹۷۴/۱/۱۷	۰/۷۴	۰/۵۹	۱۲	۱۶۶	۹/۱	۱۹۸۲/۷/۴	۰/۴۹	۰/۲۹

یافته‌های تحقیق

پس از تعیین روز نماینده، نقشه‌های فرارفت دمایی تراز ۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ GMT این روزها از پایگاه داده‌های اقلیمی برگرفته شد و به کمک نرم‌افزار گرادس محاسبه و ترسیم گردید. در اینجا به دلیل رعایت اختصار فقط نقشه‌های تراز ۷۰۰ و ۱۰۰۰ آورده شده است. در این نقشه‌ها خطوط ممتد با ارقام مثبت، فرارفت گرم را نشان می‌دهند؛ و خطوط نقطه‌چین با ارقام منفی، فرارفت سرد را.

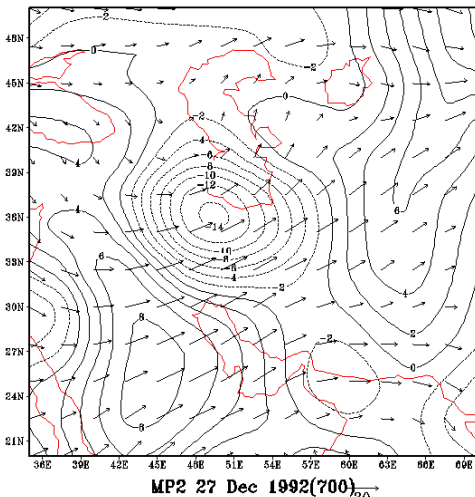


شکل ۶. الگوی فرارفتی شماره ۱ (تراز ۷۰۰)

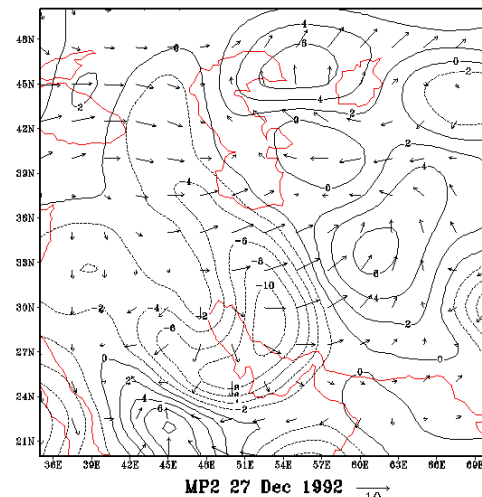


شکل ۵. الگوی فرارفتی شماره ۱ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره یک، چهارم آوریل ۱۹۷۶ و فراوانی آن ۱۵/۶ درصد بوده است (جدول ۱). این الگو نشانگر فرارفت سردی است که کانون آن در تلاقی مدار ۳۲ و نصف‌النهار ۶۵ درجه واقع است و از سمت شمال شرق کشور وارد شده و نیمه شرقی کشور از سواحل شرقی خزر تا جنوب تنگه هرمز را فرا گرفته است (شکل ۵). علاوه بر این، نقشه تراز ۷۰۰، فرارفت گرم ضعیفی در غرب کشور و فرارفت سردی را که در قالب بادهای غربی از روی عربستان در حال پیشروی به سمت ایران است، نشان می‌دهد (شکل ۶).

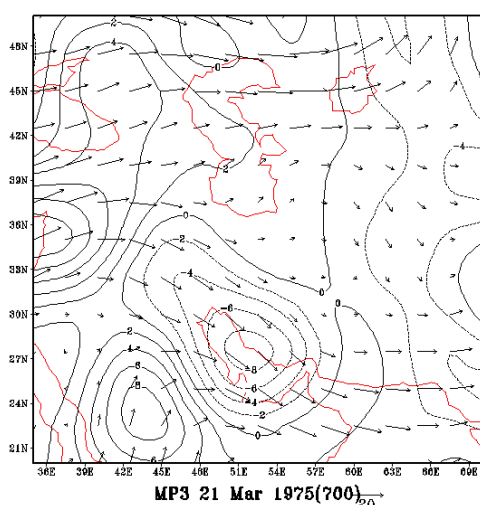


شکل ۸. الگوی فرارفتی شماره ۲ (تراز ۷۰۰)

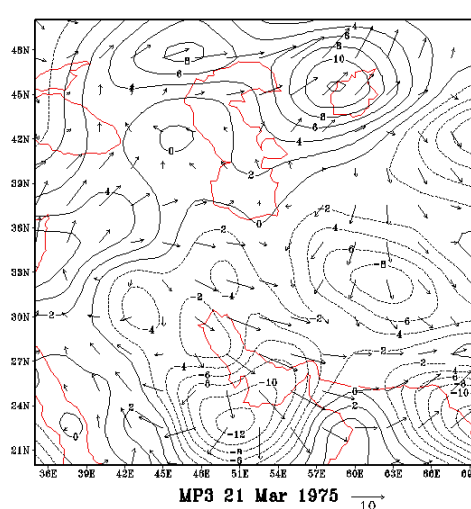


شکل ۷. الگوی فرارفتی شماره ۲ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره دو، بیست و هفتم دسامبر ۱۹۹۲ و بسامد این الگو ۸/۵ درصد بوده است (جدول ۱). این الگو نماینده فرارفت سردی است که کانون آن شمال خلیج فارس، و از شمال دریای خزر تا جنوب خلیج فارس گسترش یافته و نیمه غربی کشور را فرا گرفته است. این الگو با بادهای غربی از سمت غرب وارد کشور شده است و با توجه به روند حرکتی آن می‌تواند ناشی از یورش هوای سرد از طریق فرود بلند مدیترانه‌ای باشد. همچنین در این روز بخش‌های شرقی کشور را فرارفت گرم ضعیفی فراگرفته است (شکل ۷). در نقشه تراز ۷۰۰، فرارفت سرد شدیدتر است و کانون آن بر روی قزوین استقرار دارد. فرارفت گرم که بر روی عربستان قرار دارد، به سمت خلیج فارس در حال حرکت است (شکل ۸).

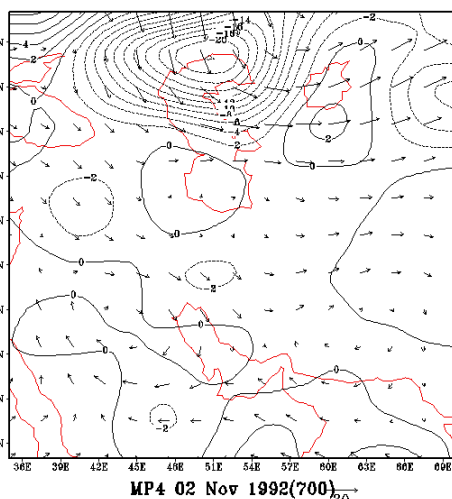


شکل ۱۰. الگوی فرارفتی شماره ۳ (تراز ۷۰۰)

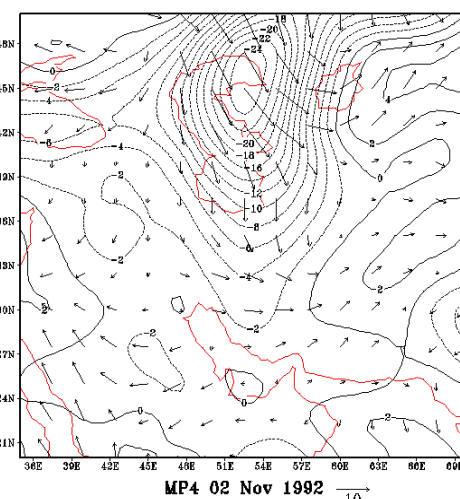


شکل ۹. الگوی فرارفتی شماره ۳ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره سه، بیست و یکم مارس ۱۹۷۵ و بسامد این الگو حدود ۸/۳ درصد است و معرف فرارفت سردی است که اکثر قسمت‌های کشور و به‌ویژه نیمه جنوبی را در بر گرفته است. در این نقشه دو کانون فرارفت سرد مهم، یکی در شرق کشور و دیگری در جنوب خلیج فارس، دیده می‌شود. به نظر می‌رسد کانون شرقی ناشی از گسترش زبان‌های پرفشار سیبری (شکل ۹) و کانون جنوبی ناشی از گسترش بادهای غربی است (شکل ۱۰).

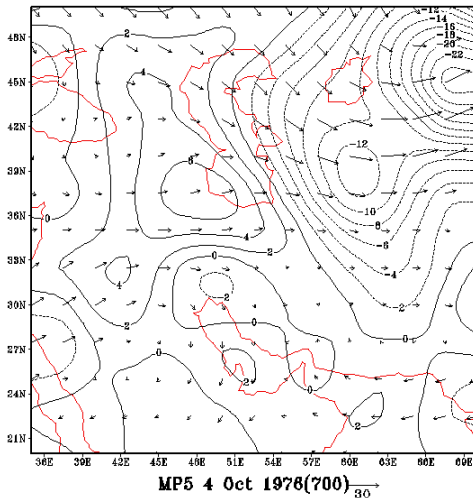


شکل ۱۲. الگوی فرارفتی شماره ۴ (تراز ۷۰۰)

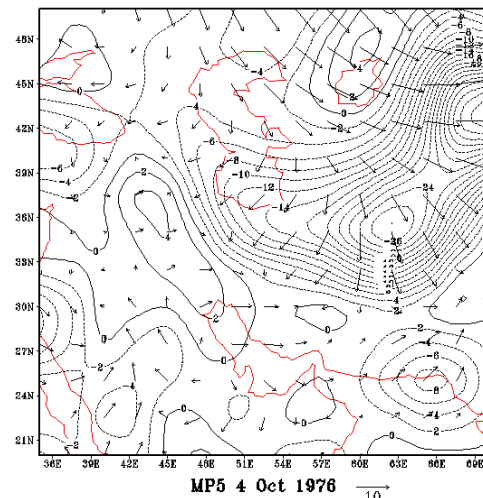


شکل ۱۱. الگوی فرارفتی شماره ۴ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی چهارم، دوم نوامبر ۱۹۹۲ و بسامد آن $5/6$ درصد است. در این روز فرارفت سردی که کانون آن شمال شرق دریای خزر است، از سمت شمال کشور وارد شده و تا شمال خلیج فارس گسترش یافته است که به نظر می‌رسد که به نظر می‌رسد ناشی از فرود عمیق بادهای غربی بر روی دریای خزر باشد (شکل ۱۱). نقشه تراز ۷۰۰ فرارفت سرد ضعیف را، یکی بر روی مرکز کشور و دیگری بر روی جنوب ترکیه، نشان می‌دهد که به وسیله بادهای غربی در حال جابه‌جایی است (شکل ۱۲).

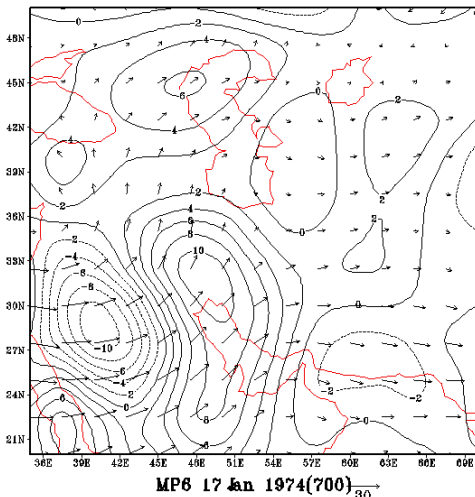


شکل ۱۴. الگوی فرارفتی شماره ۵ (تراز ۷۰۰)

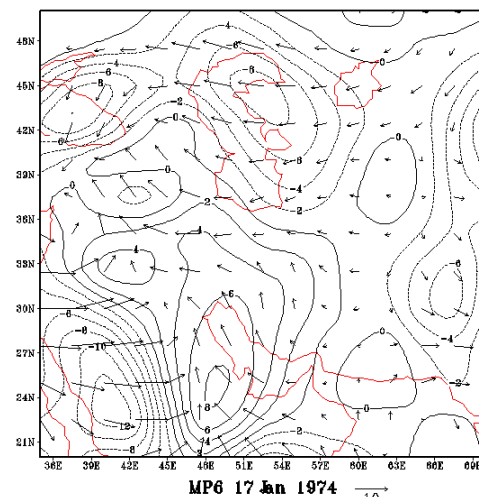


شکل ۱۳. الگوی فرارفتی شماره ۵ (تراز ۱۰۰۰)

الگوی شماره پنج، نشان‌دهنده فرارفت سرد بسیار قوی است که کانون اصلی آن در شرق دریاچه آرال و کانون ثانویه آن در شمال شرق کشور مستقر است و به نظر می‌رسد زبانه‌ای از پرفشار سیبری است که نیمه شمالی کشور را فراگرفته است. فرارفت گرم ضعیفی نیز از سمت غرب در حال وارد شدن به کشور است (شکل ۱۳). نقشه سطح ۷۰۰ نشان می‌دهد که فرارفت گرم غربی از سمت شمال غرب وارد شده و فرارفت سرد با شدتی بیشتر نیمه شرقی کشور را در بر گرفته است (شکل ۱۴). روز نماینده این الگو، چهارم اکتبر ۱۹۷۶ و بسامد آن ۵ درصد است.

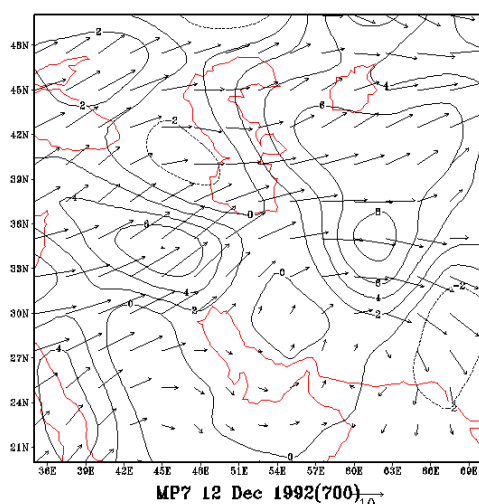


شکل ۱۶. الگوی فرارفتی شماره ۶ (تراز ۷۰۰)

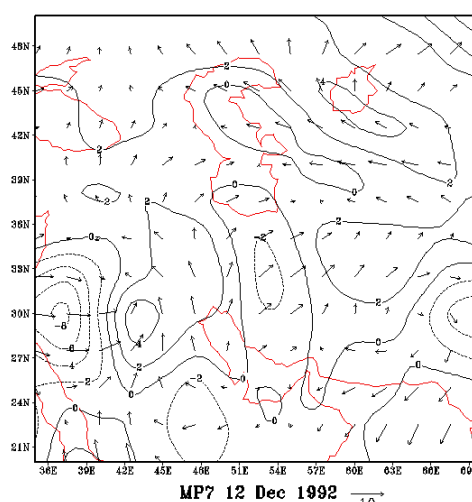


شکل ۱۵. الگوی فرارفتی شماره ۶ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره شش، هفدهم ژانویه ۱۹۷۴ و بسامد این الگو حدود ۴/۲ درصد است. در این روز دو کانون فرارفت سرد ضعیف، یکی در شرق کشور بر روی افغانستان و دیگری بر روی شرق دریای خزر دیده می‌شود. همچنین کانون فرارفت گرمی در جنوب خلیج فارس وجود دارد که از سمت جنوب غرب وارد شده و نیمه غربی کشور را در بر گرفته است (شکل ۱۵). نقشه تراز ۷۰۰ نشان می‌دهد که بادهای غربی عامل گسترش فرارفت گرم بر نیمه غربی کشور است (شکل ۱۶).

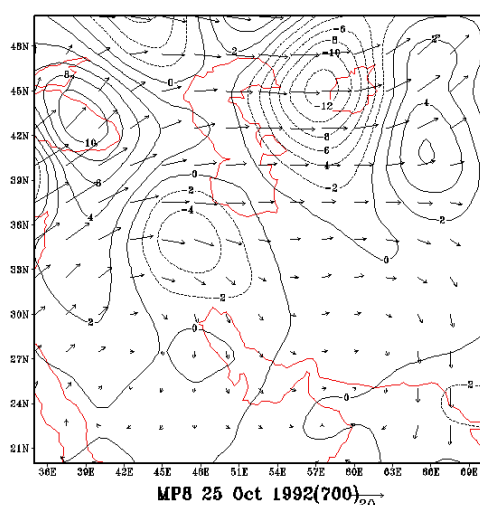


شکل ۱۸. الگوی فرارفتی شماره ۷ (تراز ۷۰۰)

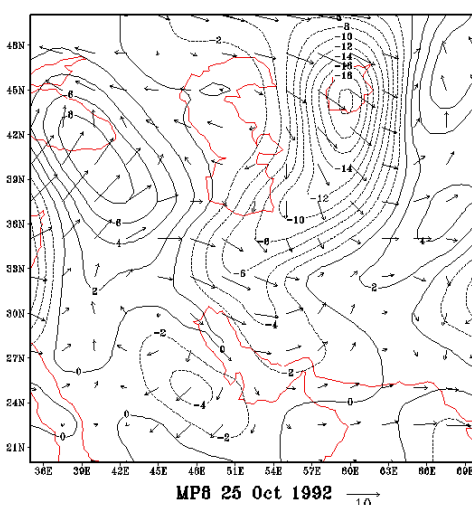


شکل ۱۷. الگوی فرارفتی شماره ۷ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره هفت، دوازدهم دسامبر ۱۹۹۲ و بسامد آن حدود ۱۵/۲ درصد است، که فرارفت سرد بسیار ضعیفی را در مرکز کشور نشان می‌دهد (شکل ۱۷). در نقشه سطح ۷۰۰، فرارفت گرمی از سمت غرب در حال ورود به کشور است و فرارفت گرم دیگری بخش‌های شمال شرق کشور را فراگرفته است. در مجموع در این روز فرارفت گرم به‌ویژه در نیمه شمالی کشور گسترش بیشتری دارد (شکل ۱۸).

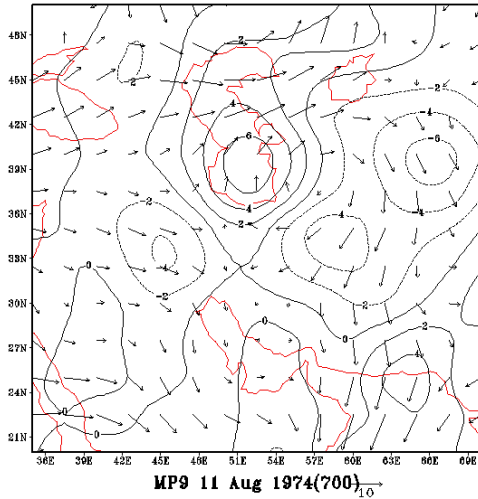


شکل ۲۰. الگوی فرارفتی شماره ۸ (تراز ۷۰۰)

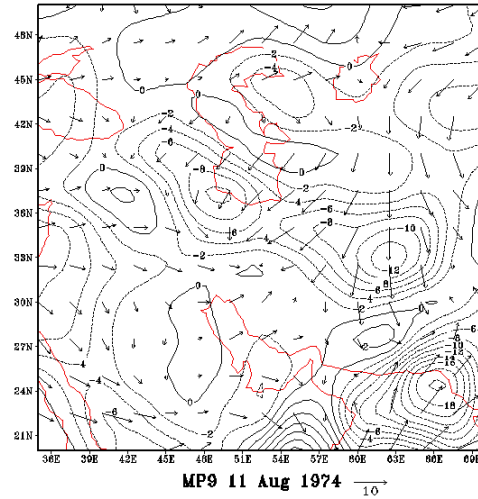


شکل ۱۹. الگوی فرارفتی شماره ۸ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره هشت، بیست‌وپنجم اکتبر ۱۹۹۲ و بسامد آن $۸/۵$ درصد است. فرارفت سردی که کانون آن بر روی دریاچه آرای مستقر است و از سمت شمال شرق تا شمال خلیج فارس را فراگرفته است (شکل ۱۹). نقشه تراز ۷۰۰ ، فرارفت سرد ضعیفی را نشان می‌دهد که از سمت غرب وارد کشور شده است و چگونگی آرایش پیکان‌ها و گسترش آن را به‌وسیله بادهای غربی بیان می‌کند (شکل ۲۰).

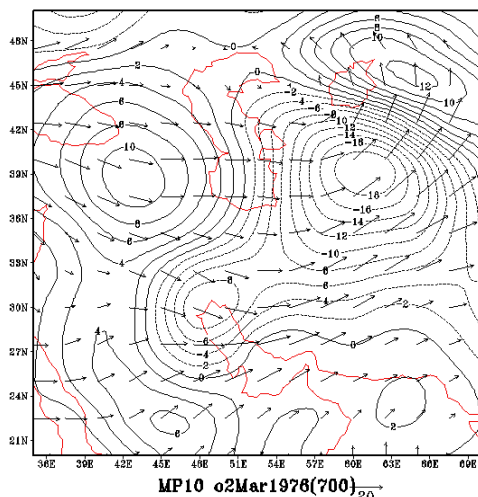


شکل ۲۲. الگوی فرارفتی شماره ۹ (تراز ۷۰۰)

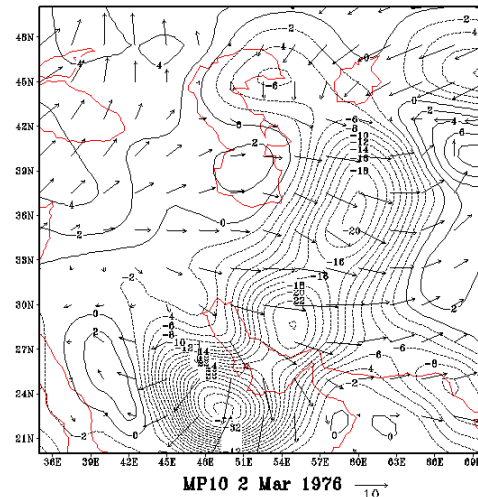


شکل ۲۱. الگوی فرارفتی شماره ۹ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره نه، یازدهم اوت ۱۹۷۴ و بسامد آن $۱۵/۲$ درصد است. این الگو نمایش‌دهنده فرارفت سردی است که تمام کشور و به‌ویژه نیمه شمالی آن را فرا گرفته است. این فرارفت دارای دو کانون در تلاقی مدار ۳۳ و نصف‌النهار ۶۳ درجه و کانون بعدی در ساحل جنوب غربی دریای خزر قرار گرفته است. آرایش پیکان‌ها نشان می‌دهد که ریزش هوای سرد از سمت شمال شرقی است. همچنین فرارفت سردی در شرق مدیترانه قرار گرفته که به سمت ایران در حال حرکت است (شکل ۲۱). نقشه تراز ۷۰۰ ، نیز دو کانون فرارفت سرد را نشان می‌دهد که یکی از سمت شمال شرق و دیگری از سمت غرب وارد کشور شده است (شکل ۲۲).

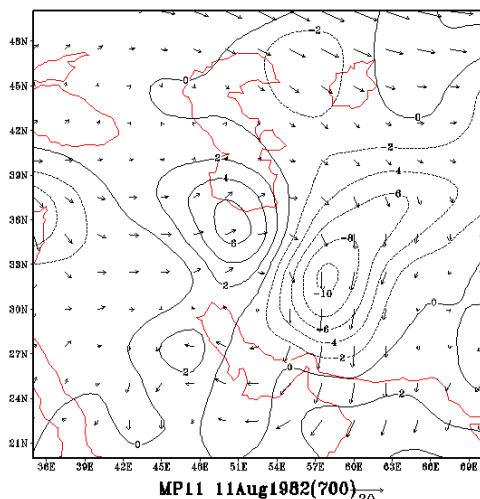


شکل ۲۴. الگوی فرارفتی شماره ۱۰ (تراز ۷۰۰)

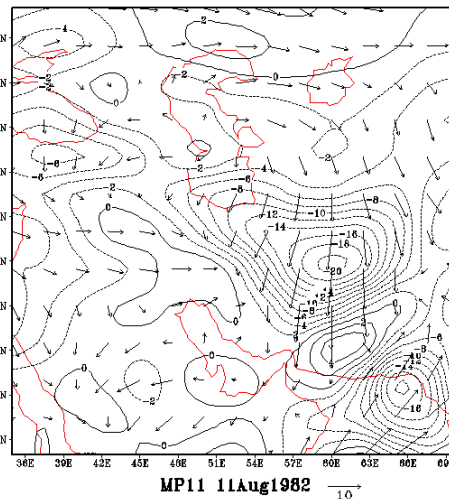


شکل ۲۳. الگوی فرارفتی شماره ۱۰ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره ده، دوم مارس ۱۹۷۶ و کم‌بسامدترین الگو با ۲/۲ درصد است. در این روز فرارفت بسیار سردی بر کشور حاکمیت یافته است و همان‌طور که در نقشه مشاهده می‌شود، فرارفت سرد به صورت مورب و در قالب سه کانون از شمال شرق تا جنوب غرب کشور را فرا گرفته است. آرایش پیکان‌ها نشان می‌دهد که این فرارفت ناشی از گسترش بادهای غربی است (شکل ۲۳). این وضعیت در نقشه تراز ۷۰۰ نمود بهتری دارد.

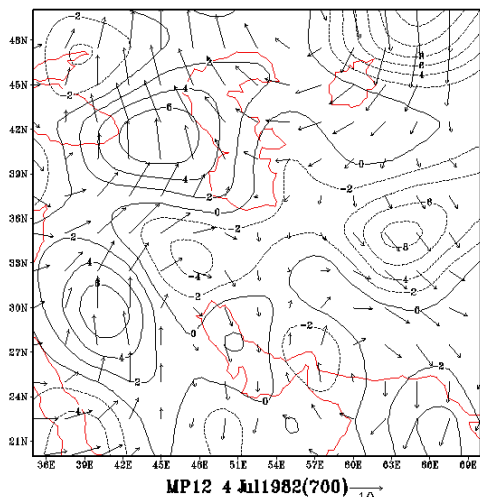


شکل ۲۶. الگوی فرارفتی شماره ۱۱ (تراز ۷۰۰)

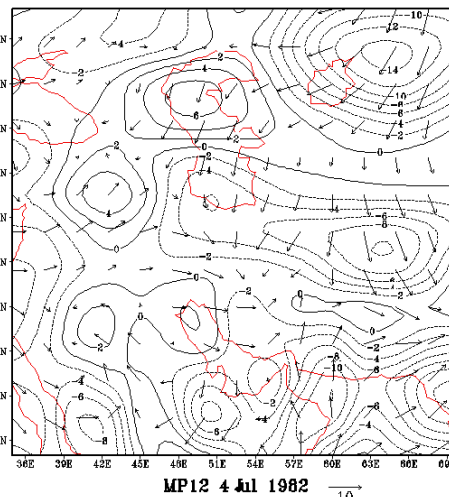


شکل ۲۵. الگوی فرارفتی شماره ۱۱ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره یازده، روز یازدهم ماه اوت ۱۹۸۲ و بسامد آن در حدود ۷ درصد است. در این روز فرارفت سرد از سمت شمال شرق وارد شده و بخش‌های شرقی و شمالی کشور را در بر گرفته است. این الگو با ریزش هوای سرد شمالی باعث تعدیل هوای گرم تابستانی به‌خصوص در بخش‌های شمال شرق کشور شده است (شکل ۲۵). نقشه سطح ۷۰۰ نیز فرارفت سردی را نشان می‌دهد که نیمه شرقی کشور را فرا گرفته، در حالی که فرارفت گرم ضعیفی در بخش‌های شمالی و شمال غربی کشور گسترده شده است (شکل ۲۶).



شکل ۲۸. الگوی فرارفتی شماره ۱۲ (تراز ۷۰۰)



شکل ۲۷. الگوی فرارفتی شماره ۱۲ (تراز ۱۰۰۰)

روز نماینده الگوی شماره دوازده، چهارم ژوئیه ۱۹۸۲ و بسامد آن حدود ۹/۱ درصد است. در این روز فرارفت سردی که کانون آن در شرق کشور است، تقریباً اکثر بخش‌های کشور را در بر گرفته است. کانون‌های فرارفت سردی هم در جنوب کشور مشاهده می‌شود که یکی از آنها روی دریای عمان و دیگری در جنوب خلیج فارس مستقر است (شکل ۲۷). در نقشه سطح ۷۰۰ نیز سه کانون فرارفت سرد نسبتاً ضعیف مشاهده می‌شود (شکل ۲۸). با توجه به جدول ۱، از ۱۲ روز نماینده الگوهای فرارفت دمایی، ۳۱ درصد در ماه‌های تابستان، ۱۰/۲ درصد در فصل زمستان، ۱۵/۶ درصد در فصل بهار و ۴۲/۸ درصد در فصل پاییز، حادث شده است. در نتیجه حدود ۷۰ درصد از الگوهای فرارفت دمایی در ماه‌های غیرتابستانی رخ داده است.

بررسی فراوانی فرارفت‌های دمایی در ماه‌های سال

با استناد به جدول ۲ مهم‌ترین الگوی فرارفت دمایی، الگوی شماره یک است که در ۲۸۵ روز با فراوانی ۱۵/۶ درصد حادث شده است. از ویژگی‌های الگوی مذکور این است که در تمام ماه‌های سال اتفاق می‌افتد، اما فراوانی آن به‌ترتیب در ماه‌های اکتبر، نوامبر، مه، سپتامبر، آوریل و اوت بیشتر است. بنابراین می‌توان آن را الگویی پاییزه - بهاره نامید که معرف فرارفت سرد شرقی است. پس از الگوی شماره یک، الگوی هفتم و نهم امکان وقوع بیشتری دارند و هر دو در ۱۵/۲ درصد دوره مورد مطالعه، مشاهده شده‌اند. در واقع امکان وقوع الگوهای اول، و هفتم و نهم تقریباً برابر، اما موقعیت زمانی وقوع‌شان متفاوت است، به طوری که الگوی هفتم در ماه‌های دسامبر، ژانویه، نوامبر، مارس و فوریه فراوان‌تر است و از این رو می‌توان آن را الگویی زمستانه نامید. این در حالی است که الگوی نهم در ماه‌های ژوئن، اوت، سپتامبر و ژوئیه فراوانی بیشتر دارند و در نتیجه الگویی تابستانه است.

جدول ۲. فراوانی الگوهای فرارفت دمایی در ماه‌های سال

جمع	MP12	MP11	MP10	MP9	MP8	MP7	MP6	MP5	MP4	MP3	MP2	MP1	
۱۵۵	۱	۲	۶	۱	۴	۵۲	۲۱	۲	۶	۱۱	۳۱	۱۸	ژانویه
۱۴۲	۱	۰	۸	۰	۱۵	۳۲	۱۳	۸	۷	۱۱	۳۷	۱۰	فوریه
۱۵۵	۱	۰	۱۰	۶	۲۱	۳۶	۸	۶	۱۲	۱۳	۲۱	۲۱	مارس
۱۵۰	۹	۷	۵	۱۱	۱۴	۲۸	۶	۳	۸	۹	۱۸	۳۲	آوریل
۱۵۵	۱۶	۱۶	۱	۲۴	۳۱	۶	۱	۵	۳	۱۴	۵	۳۳	می
۱۸۱	۳۳	۲۱	۱	۷۲	۱۰	۶	۰	۵	۴	۲	۳	۲۴	ژوئن
۱۲۴	۵۴	۱۳	۰	۳۶	۰	۰	۰	۴	۳	۰	۰	۱۴	ژوئیه
۱۵۵	۳۰	۳۱	۰	۴۸	۲	۰	۰	۱۵	۴	۰	۰	۲۵	اگوست
۱۵۰	۱۶	۲۸	۰	۴۶	۱۰	۱	۰	۷	۹	۰	۱	۳۲	سپتامبر
۱۵۵	۵	۷	۰	۲۰	۱۸	۲۰	۲	۲۲	۲۲	۰	۳	۳۶	اکتبر
۱۵۰	۰	۳	۶	۱۳	۱۸	۳۶	۶	۱۰	۱۸	۱	۶	۳۳	نوامبر
۱۵۵	۰	۱	۳	۱	۱۲	۶۰	۱۹	۴	۸	۹	۳۱	۷	دسامبر
۱۸۲۷	۱۶۶	۱۲۹	۴۰	۲۷۸	۱۵۵	۲۷۷	۷۶	۹۱	۱۰۴	۷۰	۱۵۶	۲۸۵	جمع
۱۰۰	۹/۱	۷	۲/۲	۱۵/۲	۸/۵	۱۵/۲	۴/۲	۵	۵/۶	۳/۸	۸/۵	۱۵/۶	درصد فراوانی

الگوی شماره دو، الگویی زمستانه است، زیرا فراوانی این الگو در ماه‌های فوریه، ژانویه، دسامبر و مارس بیشتر بوده است. در این الگو، گسترش بادهای غربی بر فراز کشور، فرارفت سردی را از سمت غرب بر روی کشور نشانده است. در این الگو هم فرارفت شرقی و هم فرارفت غربی حاکمیت دارد. الگوی ششم در ماه‌های ژانویه و دسامبر و فوریه بیشترین فراوانی را دارد و از این‌رو الگویی زمستانه محسوب می‌شود. الگوی دهم نیز زمستانه است، زیرا فراوانی آن در ماه‌های مارس، فوریه، ژانویه و نوامبر به حداکثر می‌رسد. لازم به ذکر است که الگوی دهم، کم‌بسامدترین الگو در این میان محسوب می‌شود.

الگوهای چهارم و پنجم در تمام طول سال حادث می‌شوند، لیکن فراوانی الگوی چهارم در ماه‌های اکتبر، نوامبر و مارس بیشتر است و به همین خاطر الگویی پاییزه - بهاره است؛ در حالی که الگوی پنجم در ماه‌های اکتبر، اوت و نوامبر فراوانی بیشتری دارد و در نتیجه الگویی پاییزه - تابستانه محسوب می‌شود. الگوی هشتم نیز بهاره - پاییزه است، زیرا در ماه‌های مه، مارس، اکتبر و نوامبر فراوانی بیشتری دارد. الگوی یازدهم در ماه‌های اوت و سپتامبر و ژوئن، و الگوی دوازدهم در ماه‌های ژوئیه، ژوئن و اوت فراوانی وقوع بیشتری دارند و بدین ترتیب هر دوی اینها الگوی تابستانه‌اند که در دوره سرد سال، به‌ندرت حادث می‌شوند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با این فرض به انجام رسید که پایین بودن دما در سال‌های سرد، منشأ بیرونی دارد و می‌تواند ناشی از گسترش فرارفت‌های دمایی سرد بر کشور در قالب سامانه‌های فشار جوئی باشد. بررسی‌ها نشان داد که فرارفت‌های دمایی در قالب دو گروه فرارفت‌های شرقی (از سمت شرق و شمال شرق) و فرارفت‌های غربی (از سمت شمال غرب، غرب و جنوب غرب) کشور را در بر می‌گیرند. فرارفت‌های شرقی را می‌توان به چگونگی استقرار فرابار سیبری منتسب دانست، در حالی که فرارفت‌های غربی ناشی از گسترش بادهای غربی بر گستره کشور است.

بررسی‌ها نشان داد که فرارفت‌های شرقی شدت بیشتری دارند، در حالی که فرارفت‌های غربی نسبتاً ملایم‌ترند. از سوی دیگر، فرارفت‌های شرقی در نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ نمود و جلوه گسترده‌تری دارند، در حالی که در نقشه‌های سطح ۷۰۰ از شدت و گستردگی آنها کاسته می‌شود و این نشان می‌دهد که فرارفت‌های شرقی، در ترازهای پایینی جو جابه‌جا می‌شوند.

بررسی نقشه‌های روزهای نماینده حاکی از آن است که الگوهای شماره ۱، ۵، ۶، ۸، ۱۱ و ۱۲ منشأ شرقی دارند و الگوهای شماره ۲، ۴ و ۷ منشأ غربی و الگوهای شماره ۳، ۹ و ۱۰ دارای منشأ شرقی - غربی‌اند. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که فرارفت‌های سرد، بیشتر منشأ شرقی دارند.

همچنین بررسی‌ها نشان داد که در طی دوره مطالعه، فرارفت‌های سرد فراوانی به مراتب بیشتری از فرارفت‌های گرم داشته‌اند. این بدان معناست که سردی هوا در دوره سرد، علاوه بر عوامل محلی، ناشی از فرارفت‌های سرد است؛ در حالی که گرمایش هوا در دوره گرم، مدیون عوامل محلی و حاکمیت هوای نسبتاً پایدار ناشی از استقرار پرفشار جنب حاره‌ای است.

بررسی بسامد فرارفت‌های دمایی در ماه‌های سال نشان داد که الگوهای ۹ و ۱۱ و ۱۲ تابستانه‌اند و در ۳۱ درصد موارد در دوره گرم حادث شده‌اند. از این رو می‌توان گفت که فرارفت‌های دمایی در دوره سرد سال بیشتر حادث می‌شوند، زیرا تابعی از الگوهای فشار هستند و این الگوها در دوره سرد قوی‌تر و فراوان‌ترند و علاوه بر آن تا عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر نیز گسترش می‌یابند.

منابع

- Alijani B., 2002, **Synoptic Climatology**, Samt, Tehran.
- Alijani B., Barati G.R., 1996, **The Synoptic Analysis of the Spring Frost of Iran in 1987**, Geography Research Quarterly, No. 40, pp. 121-135.
- Alijani B., Hushyar M., 2008, **Synoptic Analysis of Severe Colds in North West of Iran**, Researches of Physical Geography, No. 65, pp. 1-16.
- Azizi G., 2004, **Synoptic Analysis of Pervasive Spring Frosts in Midwestern of Iran**, Teacher of Humane Sciences, No. 1, pp. 99-115.
- Barati G., 1999, **The Effect of the Migrant High-Pressure Systems and Iran's Spring Fronts**, Geography Research Quarterly, No. 54, 55, pp. 132-150.
- Behyar M.B., 2003, **The Survey of Frost Phenomenon with Synoptic_Dynamic Approach in Chaharmahal and Bakhtyari**, Geography Research Quarterly, No. 69, pp. 108-120.
- Birol Kara A., Paul H. Ruscher, Zekai Sen., 1999, **Forecast Errors in the Florida State University Atmospheric Boundary Layer Model**, part I: Thermal Advection Effects, Atmospheric Research, No. 50, pp. 119-131.
- Essery R., 1999, **Parameterization of Heterogeneous Snowmelt**, Theor. Appl. Climatol, No. 62, pp. 25-30.
- Fattahi A., Salehipak T., 2009, **Synoptic Analysis of Winter Fronts in Iran**, Geography and Development, No. 13, pp. 127-136.
- Geerts B., 2003, **Empirical Estimation of the Monthly Mean Daily Temperature Range**, Theor. Appl. Climatol. 74, 145-165.
- Hojabrpur G., Alijani B., 2007, **Synoptic Analysis Frosts in Iran**, Geography and Development, No. 10, pp. 89-106.
- Khoshhal J., khosravi M., Nazaripur H., 2009, **Determination of Humidity Source and Tracks Heavy Precipitation in Bushehr Province**, Geography and Development, No. 16, pp. 1-18.
- Lashkari H., 2008, **Synoptic Analysis of Pervasive, Cold Surge During 1382 in Iran**, Researches of Physical Geography, No. 66, pp. 1-18.
- Lashkari H., Rabbani F., 2004, **Synoptic Spatial Classification of Air Masses Effective on Spring Fronts in North of Khorasan**, Geography and Development, No. 3, pp. 19-34.
- Markus J., and Raghu M., 2006, **Temperature Advection by Tropical Instability Waves**, Journal of physical oceanography, No. 36, pp. 592-605.

- Markus. J, Meghan F. Cronin, William S. Kessler and Denis Shea, 2007, **Observed Horizontal Temperature Advection by Tropical Instability Waves**, National Center for Atmospheric Research.
- Metaxas D.A., and Repapis C.C., 1977, **Large Warm Advection over Athens: A Climatological and Synoptical Study**, Theor. Appl. Climatol, No. 26, pp. 51-61.
- Muhammed I., Quartley G., and Challenor P., 2009, **Variability in Horizontal Temperature Advection Associated with Tropical Instability Waves in the Atlantic**, Geophysical Research Abstracts, No. 11, EGU2009, pp.13601.
- Noohi K., Pedram M., Sahraian F., Kamali G.A., 2007, **Spring Advection and Radiation – Advection fronts in Azarbaijan Province**, Pajouhesh & Sazandegi, No. 75, pp. 78-85.
- Soon I., 2008, **A Mechanism for the Multi- Decadal Climate Oscillation in the North Pacific**, Theor. Appl. Climatol, No. 91, pp. 77-84.
- Sukhovoy V. F., and Camara T., 1995, **Thermal Advection in the Tropical Atlantic Upper Layer**, Phys, Oceanogr, Vol. 6, No. 6, 399-410.
- Szymanowski M., 2005, **Interactions between Thermal Advection in Frontal Zones and the urban Heat Island of Wroclaw**, Poland. Theor. Appl. Climatol, No. 82, pp. 207-224.
- Tong L., Ichiro F., and Benyang T., 2004, **Temperature Advection: Internal Versus External Processes**, Journal of Physical Oceanography, No. 34, pp. 1936-1944.