

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۳ - بهار ۱۳۸۸

وصول مقاله: ۱۳۸۵/۴/۱۴

تأیید نهایی: ۱۳۸۶/۱۲/۵

صفحات: ۱۳۶-۱۲۷

## تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران

دکتر ابراهیم فتاحی<sup>۱</sup>

تهمینه صالحی پاک

استادیار اقلیم‌شناسی پژوهشکده هواشناسی تهران

کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی

### چکیده

یخبندان از جمله پدیده‌های جوی است که هر ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر بخش‌های مختلف وارد می‌سازد. در فصل زمستان رخداد این پدیده در جاده‌های مناطق کوهستانی مشکلات عدیده‌ای را بر بخش حمل و نقل و تصادفات جاده‌ای باعث می‌شود. الگوهای گردش عمومی جو، نقش اصلی را در بروز یخبندان‌ها و توزیع فضایی یخبندان‌ها در مناطق معتدله دارند. در مطالعه‌ی حاضر به منظور تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران، داده‌های روزانه در ساعت ۱۲ UTC مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا<sup>۲</sup> (SLP) فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰ در تلافی‌های ۲/۵ درجه از مجموعه داده‌های بازسازی شده<sup>۳</sup> NCEP استخراج شد. محدوده‌ی انتخاب شده شامل ۴۰۸ نقطه است که از عرض ۲۰ تا ۶۰ درجه‌ی شمالی و از ۲۰ تا ۸۰ درجه‌ی شرقی را پوشش می‌دهد. مجموع این داده‌ها ماتریسی به ابعاد ۴۰۸×۴۰۵ را برای فصل زمستان تشکیل دادند. با استفاده از روش تحلیل عاملی نقاط وابسته به هم ادغام و ابعاد ماتریس‌ها کاهش داده شد. در تحقیق حاضر روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه‌ی S و چرخش واریماکس برای شناسایی تیپ‌های هوا به کار گرفته شد و برای طبقه‌بندی هوای روزانه روش خوشه‌بندی k-means اعمال گردید.

نتایج بررسی حاضر نشان داد که تیپ‌های هوای پرفشار اروپای شمالی، پرفشار سیبری و پرفشار اروپای شرقی، بیشترین تأثیر را در رخداد یخبندان‌های شدید و فراگیر ایران داشته‌اند، به طوری که این تیپ‌های هوا، جریانات هوای سرد قطبی را از عرض‌های جغرافیایی بالا به سوی عرض‌های پایین منتقل کرده و به دنبال آن یخبندان‌های شدید و فراگیر در ایران به وقوع می‌پیوندد.

کلیدواژه‌ها: تیپ‌های هوا، یخبندان، خوشه‌بندی، الگوهای گردش جوی، ایران.

1- Fatahi@irimet.net

2- Sea Level Pressure

3- National Center Environmental Prediction

## مقدمه

الگوهای گردش جوی نقش اصلی را در وقوع یخبندانها، شدت یخبندان و توزیع فضایی یخبندانها به خصوص در مناطق معتدل به عهده دارند و رخداد پدیده‌های محیطی نظیر یخبندان و سرمازدگی در ارتباط با تکرار سیستم‌های سینوپتیکی و تیپ‌های هوا می‌باشد. تکرار، تغییر و یا تداوم سیستم‌های هوایی هر مکانی در تعیین و شناسایی اقلیم آن مکان اهمیت بسزایی دارد. تداوم و تغییر سیستم‌ها از طریق فرآیند طبقه‌بندی یا تعیین تیپ‌های هوا شناسایی می‌شوند (هو، ۱۹۹۶: ۱۹۸) و به همین دلیل طبقه‌بندی سیستم‌های هوا یکی از اهداف اصلی اقلیم‌شناسی سینوپتیک است. روزنبرگ و مایرز (۱۹۶۲) یخبندان فرارفتی را نتیجه‌ی انتقال یک توده‌ی هوا در مقیاس وسیعی توأم با وزش باد می‌دانند و یخبندان تشعشی را دارای منشاء آنتی سیکلونی و وقوع آن را در داخل توده‌های وسیع و متجانس با هوای صاف و آرام همراه با وارونگی‌های دمایی می‌دانند.

ویتکوویچ (۱۹۶۳: ۲۱۲) گسترش بادهای سرد شمال غربی را توسط توده‌های هوا عامل اصلی یخبندانها در روسیه، اروپا و قزاقستان می‌داند. هاگ (۱۹۷۵) یخبندان‌های فرارفتی و تشعشی را در یک دوره‌ی ۳۰ ساله برای کنت انگلستان مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که یخبندان‌های فرارفتی ۲۵ درصد از کل یخبندان‌های بهاره را در مالینیک شرقی شامل می‌شود. دینگ (۱۹۸۷: ۱۴۲) در بررسی خود به‌منظور مطالعه‌ی موسمی‌های زمستانه و یورش هوای سرد در چین به تحلیل‌الگوهای بزرگ مقیاس و انتقال توده‌های هوای سرد و گسترش نفوذ زبانه‌های سرد به سمت استوا پرداخت.

تحقیقات در زمینه‌ی طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی به‌صورت دو روش دستی (توصیفی) و کمی صورت گرفته است. این‌گونه مطالعات تا قبل از سال ۱۹۷۰ عمدتاً بر پایه‌ی روش دستی به بررسی تغییرپذیری اقلیمی و ارتباط این تغییرات با الگوهای گردش جوی بوده است. امروزه با استفاده از تکنولوژی برتر رایانه‌ای و با ظهور الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته، نظیر تحلیل عاملی و خوشه‌بندی، امکان استفاده از روش‌های کمی فراهم شده است. به‌طوری‌که طی دهه‌های اخیر روش‌های آماری چندمتغیره و استفاده از روش‌های کمی در مطالعات اقلیم‌شناسی متداول شد.

یارنال و همکاران (۱۹۹۷: ۳۲۵) با بررسی نقشه‌های هوا، الگوی مربوط به هر روز را شناسایی و فراوانی الگوهای حاکم بر پنسیلوانیا را محاسبه کردند.

بررسی متغیرهای اقلیم‌شناسی در یک مکان و زمان معین نشان می‌دهد که این متغیرها شدیداً تحت تأثیر الگوی گردش جوی هستند. باری و همکاران (۱۹۸۱: ۱۰۲) مناطق جغرافیایی مختلف را بررسی و یک طرح طبقه‌بندی را انجام دادند، نتایج تحقیق آن‌ها منطبق بود با درک این نکته که نوسانات دمای هوا دقیقاً با نوسانات الگوی گردش جوی ارتباط دارد.

باردوسی و همکاران (۱۹۹۰: ۱۲۵) جهت تعیین الگوی گردشی در اروپا از تکنیک آماری متفاوت استفاده کردند، آنها نتایج قابل قبولی در رابطه با تأثیر نوسانات الگوی گردش هوا بر روی دما و بارش به دست آوردند. چن و هلستوم (۱۹۹۹: ۵۱۰) نشان دادند که ناهنجاری‌های دمای زمستانه در جنوب سوئد با استفاده از تیپ‌های هوا قابل توجیه است. آن‌ها نشان دادند که هر تیپ هوا باعث ایجاد شرایط خاص دمایی کاملاً متمایزی در منطقه می‌شود. بوشمند و براندسما (۱۹۹۷: ۸۷۶) روش‌های مختلف طبقه‌بندی الگوهای گردشی را برای پیش‌بینی دما و بارش در هلند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با مقایسه‌ی روش‌های مختلف دریافتند که الگوهای گردشی در تمام فصول بین ۳۰ تا ۴۰ درصد تغییرات دمای روزانه را توضیح می‌دهند. کوتیل و همکاران (۲۰۰۱: ۷۷۶) نیز تیپ‌های هوای تولیدکننده‌ی دوره‌های خشک و مرطوب را برای ترکیه مطالعه کردند.

به‌طور کلی پدیده‌های آب و هوایی محلی شامل دما، بارش و غیره می‌توانند به انواع تیپ‌های ویژه‌ای از الگوهای گردش جوی مربوط شوند، بنابراین این مسأله قابل توجه است که وقوع پدیده‌ی یخبندان و سرمازدگی در ارتباط با الگوی گردش جوی است. هدف این مطالعه توسعه و به‌کارگیری یک مدل سینوپتیکی برای تحلیل یخبندان‌های زمستانه‌ی ایران و امکان پیش‌آگاهی رخداد یخبندان بر اساس الگوهای گردش جوی است.

### داده‌ها و روش کار

برای تعیین الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه‌ی ایران، داده‌های روزانه در ساعت ۱۲ UTC مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین فصل زمستان (دسامبر - فوریه) طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰ در تلاقی‌های ۲/۵ درجه از مجموع داده‌های بازسازی شده NCEP استخراج شد، به‌گونه‌ای که شبکه‌ی انتخاب شده تمامی سیستم‌های مؤثر بر رخداد یخبندان‌های زمستانه‌ی ایران را پوشش می‌دهد. این محدوده شامل ۴۰۸ نقطه از عرض ۲۰ تا ۶۰ درجه‌ی شمالی و ۲۰ تا ۸۰ درجه‌ی شرقی را در بردارد. داده‌های مربوط به دمای حداقل روزانه نیز از بخش خدمات ماشینی سازمان هواشناسی تهیه گردید. تمامی نقشه‌های

سینوپتیکی بررسی شده در تحقیق حاضر شامل نقشه‌های سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و داده‌های روزانه رقومی آنها تماماً از مرکز داده‌های آنالیز شده NCEP به صورت ساعتی و روزانه استخراج و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. ویژگی متغیرهای مورد مطالعه در جدول (۱) و ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) درج شده است.

جدول ۱: ویژگی متغیرهای استفاده شده در مطالعه حاضر

ردیف	نام متغیر	مقیاس زمانی	دوره‌ی آماری	مرجع
۱	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	روزانه و ساعتی	زمستان ۱۹۶۰-۲۰۰۰	NCEP
۲	فشار تراز دریا (SLP)	روزانه و ساعتی	زمستان ۱۹۶۰-۲۰۰۰	NCEP
۳	دمای حداقل روزانه	روزانه	زمستان ۱۹۶۰-۲۰۰۰	سازمان هواشناسی کشور

مأخذ: نویسندگان

جدول ۲: ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	معرف منطقه
۱	تبریز	شمال غرب
۲	بابلسر	شمال
۳	مشهد	شمال شرق
۴	کرمانشاه، خرم آباد، شهرکرد	غرب
۵	اهواز، بوشهر، آبادان	جنوب غرب
۶	بندرعباس	جنوب
۷	ایرانشهر، چابهار	جنوب شرق
۸	زاهدان، بیرجند	شرق
۹	اصفهان، یزد، کرمان، تهران	مرکز

مأخذ: نویسندگان

در بررسی حاضر به منظور شناسایی نقاطی از شبکه که معرف اصلی شکل‌گیری الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران هستند، از روش تحلیل عاملی استفاده شد که مراحل آن به شرح زیر می‌باشد:

- الف- استاندارد کردن داده‌های تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال و تراز سطح دریا ؛
- ب- تشکیل یک ماتریس داده  $n \times p$  که در آن  $n$  تعداد روزها و  $p$  تعداد تلاقی‌ها است. تشکیل و تنظیم ماتریس داده‌ها به‌هدف مطالعه بستگی دارد، تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه‌ی  $S$  و چرخش واریماکس معمولاً برای شناسایی تیپ‌های هوا در دوره‌ی زمانی مختلف کاربرد دارد. ابعاد این ماتریس در مطالعه‌ی حاضر برابر با  $408 \times 4050$  می‌باشد ؛
- ج- تعیین مؤلفه‌های اصلی ؛
- د- خوشه‌بندی عامل‌های مؤثر ؛

روش‌ها و الگوریتم‌های خوشه‌بندی مختلفی برای طبقه‌بندی مشاهدات و یا روزهایی که از نظر اقلیم‌شناسی همگن هستند وجود دارد، که پس از بررسی منابع متعدد روش خوشه‌بندی K- Means برای تحقیق حاضر مناسب تشخیص داده شد. این روش مقادیر اولیه را برای نشان دادن شرایط میانگین هر تیپ هوا انتخاب می‌کند، سپس سایر روزها به نزدیکترین خوشه بر اساس فاصله‌ی آن از مقادیر میانگین طبقات تعیین می‌شوند، این فرآیند تکرار شده و میانگین روزهای جدید همراه با به روز کردن عضویت گروه مؤثر محاسبه می‌شود. این روش بعد از تکراری که هیچ آرایش جدیدی را ایجاد نکند، پایان می‌یابد (فتاحی، ۱۳۸۳: ۳۰). برای توضیح کامل‌تر به فاوول و فاوول (۱۹۹۳: ۲۱۱۴) و یا به کالکستین و همکاران (۱۹۸۷: ۷۲۰، ۱۹۸۹: ۱۲۲۶) مراجعه شود. مراحل مربوط به محاسبه‌ی روش خوشه‌بندی K-Means به شرح زیر انجام گرفت.

الف- تشکیل فایل داده‌های انتخاب‌شده به‌عنوان مقادیر شروع‌کننده برای هریک از الگوهای هوا ؛

ب- اختصاص دادن هر مشاهده (نمرات عاملی محاسبه شده بر اساس روش تحلیل عاملی) به نزدیکترین خوشه بر اساس فاصله‌شان از نمرات عامل روزهای نمونه ؛

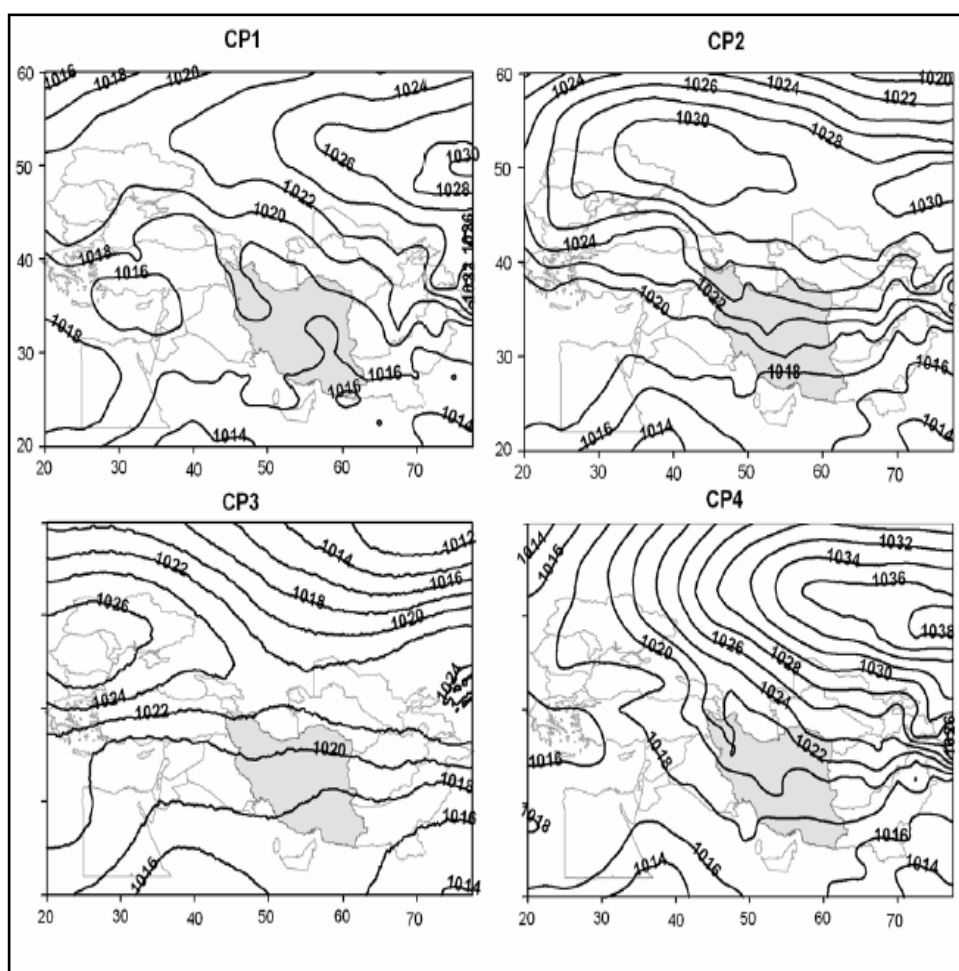
ج- محاسبه‌ی روزهای جدید (تیپ‌های هوای سایر روزها) بر پایه‌ی اعضای گروه‌های کنونی ؛

- تکرار مراحل بند ب و ج تا اینکه هیچ تشخیص مجددی رخ ندهد ؛

### بحث

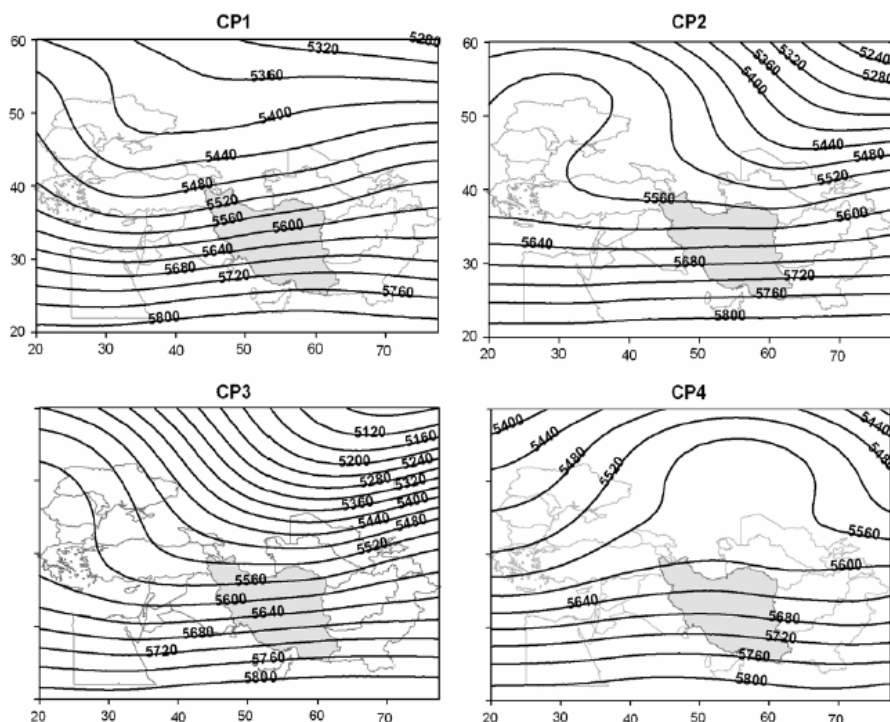
ماهیت الگوهای فشار سطح زمین ناشی از وجود تفاوت‌های حرارتی و ساختاری خشکی و آب و گردش عمومی جو است و الگوهای تراز فوقانی، بیشتر تحت تأثیر اثرات دینامیکی توده‌ی هوا بوده و پدیده‌های تابشی و حرارتی سطح زمین و جو در آن نقش فرعی دارند. الگوهای فشار و نحوه‌ی آرایش خطوط جریان نقشه‌های تراز سطح دریا و تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال معرف انتقال توده‌ی هوای ویژه‌ای به‌سوی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. در این مقاله به منظور

دستیابی به شناختی صحیح از الگوها و تیپ‌های هوایی که باعث ریزش هوای سرد به ایران می‌شود از روش تحلیل عاملی و خوشه‌بندی استفاده شد. با توجه به شکل ۱ (CP1) در این الگو پرفشار سیبری به صورت نصف‌النهاری قرار گرفته و در این الگو سیستم کم فشار بر روی ایران استقرار داشته و بارش‌های قابل ملاحظه‌ای را در پی دارد. میانگین ابرناکی این سامانه بین  $\frac{5}{10}$  تا  $\frac{7}{10}$  در فصل زمستان می‌باشد که کاهش تابش خورشیدی و افت دما را در پی داشته است و متعاقب آن یخبندان‌های ملایمی به وقوع پیوسته است.



شکل ۱: نقشه‌ی میانگین تراز سطح دریا مربوط به تیپ‌های هوای یخبندان‌های زمستانه‌ی ایران (۲۰۰۰-۱۹۶۰) کم‌فشار مدیترانه‌ای (CP1)، پرفشار اروپای شرقی (CP2)، پرفشار اروپای شمالی (CP3)، پرفشار سیبری (CP4)  
 مأخذ: نویسندگان

نقشه‌ی متوسط تیپ هوای پرفشار اروپای شرقی در شکل ۱ و ۲ (CP2) منعکس شده است. در این الگو ناوهای بر روی اروپای شرقی و دریای سیاه مستقر می‌باشند و جریانات از اروپای شرقی، وارد ایران می‌شوند، این جریانات توده‌ی هوای سرد و مرطوب را به همراه دارند و شرایط ابرناکی، بارش‌های جامد و متعاقب آن سرما و یخبندان را باعث می‌شوند. شکل ۳ (ب) رابطه‌ی همبستگی بین فراوانی تیپ هوای پرفشار اروپای شرقی با دمای حداقل روزانه را نشان می‌دهد. نتایج این نقشه حاکی از سهم عمده‌ی تیپ هوای پرفشار اروپای شرقی در وقوع یخبندان‌های زمستانه به‌ویژه در بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی، شمال‌غربی و مرکز ایران است. با گسترش زبانه‌های این پرفشار به عرض‌های جنوبی‌تر بخش‌های جنوبی کشور نیز تحت تأثیر هوای سرد قرار می‌گیرد. به عبارتی زمانی که پرفشار به سمت عرض‌های جنوبی گسترش می‌یابد، به دنبال خود جریانات هوای سرد به عرض‌های پایین گسترش می‌یابد و این فرآیند باعث افت شدید دما شده و بخش اعظمی از ایران زیر پوشش یخبندان می‌رود.

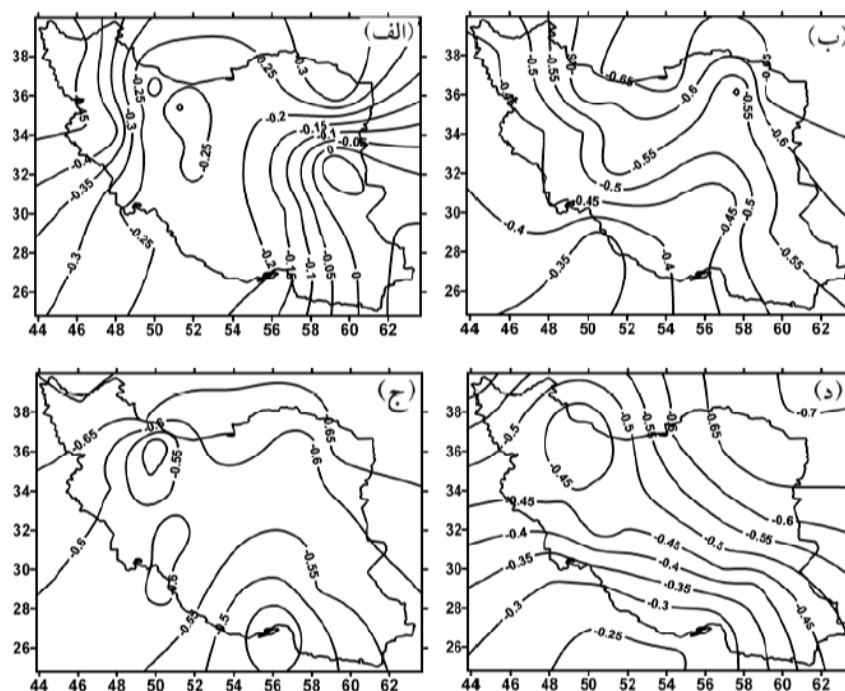


شکل ۲: نقشه‌ی میانگین تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به تیپ‌های هوای یخبندان‌های زمستانه‌ی ایران (۲۰۰۰-۱۹۶۰)

کم‌فشار مدیترانه‌ای CP1، پرفشار اروپای شرقی CP2، پرفشار اروپای شمالی CP3، پرفشار سیبری CP4

مأخذ: نویسندگان

الگوی پرفشار اروپای شمالی در شکل‌های ۱ و ۲ (CP3) آمده است. با توجه به الگوی فوق در سطح زمین پرفشاری بر روی اروپای شمالی مستقر می‌باشد. ناحیه‌ی مرکزی این پرفشار برابر با ۱۰۲۸ هکتوپاسکال می‌باشد و بین ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ی شرقی گسترده شده است. خطوط هم فشار در این تیپ هوا به عرض‌های شمالی منتقل شده است، در نتیجه جریانات هوای سرد را به سوی شرق اروپا، غرب روسیه و شرق دریای سیاه منتقل می‌سازد. شکل ۳ (ج) نقشه‌ی ضریب همبستگی بین فراوانی تیپ هوای اروپای شمالی با میانگین حداقل دما در سطح ایران می‌باشد. الگوی نقشه‌ی فوق بیانگر سهم عمده‌ی تیپ هوای اروپای شمالی در افت شدید دما و بروز یخبندان‌های شدید و فراگیر در سطح کشور است.



شکل ۳: رابطه‌ی همبستگی فراوانی تیپ‌های هوا با دمای حداقل روزانه (رخداد یخبندان) طی فصل زمستان ایران (۱۹۶۰-۲۰۰۰) الف- کم فشار مدیترانه، ب- پرفشار اروپای شرقی، ج- پرفشار اروپای شمالی، د- پرفشار سیبری  
مأخذ: نویسندگان

الگوی شکل ۱ (CP4) بیانگر استقرار پرفشاری بر روی سیبری می‌باشد. ناحیه‌ی مرکزی این پرفشار در شمال شرق دریاچه بالخاش برابر با ۱۰۴۰ هکتوپاسکال بسته شده است. وجود این پرفشار بر روی دریاچه‌ی بالخاش و خوارزم (آرال) باعث شده که جریانات شمال شرقی- جنوب غربی این سامانه پرفشار سرد تا نواحی جنوبی ایران کشیده شود. بخش‌های شمال شرقی



و شمال غربی این سامانه‌ی پرفشار سرد و خشک است، مؤلفه‌ی باد در این تیپ هوا، شمالی و شمال شرقی می‌باشد. در برخی مواقع مرکز پرفشار سیبری که عمدتاً بر روی دریاچه‌ی بالخاش و آرال قرار دارد از ۱۰۵۵ هکتوپاسکال نیز فراتر می‌رود، در این صورت شدت هوای سرد زیاد بوده و انتقال آن به سوی عرض‌های جنوبی با شدت بیشتری همراه است. با استیلای تیپ هوای پرفشار سیبری جریانات هوای سرد گسترش یافته و بخش‌های شمال شرقی، شمالی و شمال غربی ایران زیر پوشش یخبندان قرار می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

ماهیت الگوهای فشار تراز سطح دریا ناشی از وجود تفاوت‌های حرارتی و ساختاری خشکی؛ آب و گردش عمومی جو است و الگوهای تراز فوقانی بیشتر تحت تأثیر اثرات دینامیکی توده‌ی هوا بوده و پدیده‌های تابشی و حرارتی تراز سطح دریا و جو در آن نقش فرعی دارند. الگوهای فشار و نحوه‌ی آرایش خطوط جریان نقشه‌های سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال معرف انتقال توده‌ی هوای ویژه‌ای به سوی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، در این مطالعه به منظور دستیابی به شناختی صحیح از الگوها و تیپ‌های هوایی که باعث ریزش هوای سرد و یخبندان در ایران می‌شوند از روش تحلیل عاملی و خوشه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان داد که تیپ‌های هوای پرفشار مرکزی CP1، پرفشار اروپای شرقی CP2، پرفشار اروپای شمالی CP3 و پرفشار سیبری CP4 از جمله الگوهایی هستند که منجر به یخبندان‌های شدید و فراگیر در ایران شده‌اند. به عبارتی آرایش چهار تیپ هوای فوق که عمدتاً مربوط به پرفشارهای اروپای شرقی، شمالی و سیبری، باعث انتقال توده‌های هوای قطبی اروپایی و توده هوای قطبی شمالی و متعاقب آن ورود سرما و ریزش هوای سرد به درون کشور می‌شوند. سرمای ناشی از ورود این توده‌های هوا به یخبندان‌های فرارفتی و یا انتقالی موسوم است. این سرما معمولاً پس از عبور یک جبهه‌ی هوای سرد توسعه یافته و استیلا می‌یابد و عموماً پیشاپیش یک توده‌ی هوا با فشار زیاد جریان می‌یابد و تا چندین روز تداوم می‌یابد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با مطالعه‌ی حرکت سامانه‌های جوی و شناخت تیپ‌های هوایی که جریانات سرد را به دنبال دارند، امکان تشخیص این وضعیت‌های جوی با ظهور مجدد آن بر اساس داده‌ها و الگوهای آینده میسر خواهد شد و از نتایج آن در مدیریت‌های ترابری و سایر بخش‌ها در فصل زمستان می‌توان استفاده کرد.

## منابع و مأخذ

- ۱- براتی، غلامرضا (۱۳۷۵). طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره در ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۲- علیجانی، بهلول (۱۳۶۹). چگونگی تشکیل فرابار سیبری و اثر آن بر اقلیم شرق ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال پنجم. شماره ۱۷.
- ۳- علیجانی، بهلول (۱۳۸۰). تیپ‌های هوا و اثر آنها بر اقلیم ایران، فصلنامه کاوش‌نامه. سال دوم. شماره ۳. دانشگاه یزد.
- ۴- فتاحی، ابراهیم (۱۳۸۳). طبقه‌بندی همدیدی فضایی توده‌های هوا با تأکید بر دوره‌های خشک و مرطوب، رساله‌ی دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- 5- Bardossy, A. et al.(1990) "Space-time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns" water Resources Research. Vol 28.
- 6- Barry, R. G. et al. (1981) "Synoptic Climatology of the western united states in relation to climatic fluctuations during the twentieth century" journal of climatology, Vol. 1.
- 7- Buishand, T.A and Brandsma, T(1997) "Comparison of circulation classification schemes for predicting temperature and precipitation in the Netherlands" International Journal of Climatology, 17: 875-889
- 8- Buishand, T.A and Brandsma, T(1997) "Comparison of circulation classification schemes for predicting temperature and precipitation in the Netherlands" International Journal of Climatology, 17: 875-889
- 9- Chen, D.(2000) "A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study" Int. J. Climatol. 20: 1067-1076.
- 10- Chen, D, and Hellstrom, C (1999) "The influence of the North Atlantic Oscillation on the regional temperature variability in Sweden: spatial and temporal variations" Tellus 51 A (4): 505-516.
- 11- Ding, y and T. N krishnamurti (1987) "Heat Budget of the Siberian High and winter Monsoon" Monthly weather Review; vol. 115.
- 12- Esteban P, Jones PD, Mart'in-Vide J, Mases M. (2005)"Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees" International Journal of Climatology 25: 319-329.
- 13- Fovel, R. G and Fovel (1993) "climate zones of the conterminous united states using cluster analysis" Journal of climate, Vol. 6.
- 14- Huth, R. (1996) "An intercomparison of Computer assisted circulation classification methods" International journal of climatology. Vol. 16.
- 15- Kalkstein, L. S and Corrigan, P. (1986) "A synoptic climate logical approach for environmental analysis: assessment of sulfur dioxide concentrations; Ann. Assoc. AM. Vol. 76.
- 16- Kalkstein, L. S. et al.(1987) "An Evolution of three clustering procedures for use in synoptic climate logical classification" Journal climate and applied meteorology; Vol. 26.
- 17- Kalkstein, L. S. et al. (1998) "Determination of character and frequency change in air masses using spatial synoptic classification", International Journal of climatology; vol. 18.
- 18- Kutiel, H. et al. (1996) "Circulation and extreme rainfall conditions in the eastern Mediterranean during the last century"International journal of climatology, Vol.1b.
- 19- Vithkevich, V. I (1963) "Agricultural Meteorology, Jerusalem; PP. 183-305.
- 20- Yarnal, B. and B, Frakes (1997) "Using synoptic climatology to define representative discharge events" International journal of climatology, Vol. 17.