

## واکاوی الگوهای گردشی یخبندان‌های فراگیر در استان یزد

خداکرم حاتمی بهمن بیگلر، دانش آموخته دکتری جغرافیا طبیعی، دانشگاه اصفهان، ایران  
مهدی نارنگی فرد، دانش آموخته دکتری جغرافیا طبیعی، دانشگاه یزد، ایران

### چکیده

رخداد پدیده‌ی یخبندان می‌تواند آثار و خسارات قابل توجهی در بخش‌های، اقتصادی اجتماعی و سیاسی بر جای گذارد، بدین منظور برای جلوگیری از خسارات مالی، شناخت ویژگی‌های این پدیده امری بدیهی به شمار می‌رود. بنابراین هدف از این نوشتار، شناسایی الگوهای هم‌دید تراز میانی جو و تراز دریا در رخداد پدیده یخبندان در بازه زمانی ۳۰ ساله است. جهت تعیین الگوهای گردشی روزهای یخبندان، روزهایی که حداقل در ۵ ایستگاه دمای زیر صفر درجه گزارش شده بود و گستره مکانی مورد نظر را تبیین می‌نمود، به عنوان روزهای فراگیر رخداد یخبندان انتخاب گردید. سپس داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا در قلمرو ۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول خاوری و ۲۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی در ماتریسی به ابعاد ۳۱۲ در ۹۲۵ استخراج گردید. در ادامه، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد به واکاوی الگوهای گردشی تراز میانی جو و سطح دریا در روزهای رخداد یخبندان در استان یزد پرداخته شد. یافته‌های پژوهش نشان داد استقرار پراارتفاع در شمال دریای مازندران و شمال خاوری اروپا (تاوه قطبی) در الگوی اصلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مسبب ریزش هوای سرد با گردش و اچرخندی از سمت شرقی منطقه و به وجود آمدن پدیده یخبندان شده است، همچنین نفوذ زیانه‌ی کم ارتفاع از سمت دریای مازندران با کانون شمال سیبری به درون ایران منجر به ریزش هوای سرد با گردش چرخندی از سمت باختری منطقه می‌شود.

**کلمات کلیدی:** واکاوی هم‌دید، تحلیل مؤلفه‌های مبنای، تحلیل خوشه‌ای، یخبندان، استان یزد.

## مقدمه

یکی از عوامل مهم آب و هوایی که در طی دوره سرد سال در بیشتر مناطق کشور بروز می‌کند، پدیده سرما و یخبندان است. یخبندان با پایین آمدن دما و نزول آن به آستانه بحرانی مشخص شروع می‌شود و با تأثیراتی که در سطح زمین ایجاد می‌کند، زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و رشد بازدهی محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). کنترل عوامل اقلیمی توسط انسان ناممکن است، اما انسان با تلاشی که در جهت ارتقای دانش خود نسبت به تأثیر عوامل جوی دارد، می‌تواند توانمندی خود را در کاهش خسارات ناشی از پدیده‌های جوی، چون یخبندان به مرحله اجرا در آورد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۰).

در رابطه با ویژگی‌ها و علل رخداد پدیده یخبندان بررسی‌های انجام گرفته است، از جمله ویتکوویچ<sup>۱</sup> (۱۹۶۳) در مطالعه‌ای گسترش بادهای سرد شمال غربی به وسیله توده‌های هوایی را عامل مبنای یخبندان‌های روسیه، اروپا و قزاقستان می‌داند، دینگ<sup>۲</sup> (۱۹۸۷) به تحلیل الگوهای بزرگ مقیاس و انتقال توده‌های هوای سرد به سمت استوا در چین پرداخته است. مپیل<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی یخبندان در غرب و جنوب غربی آمریکا پرداختند. کیسلی<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) در پژوهشی، اثر ماندگاری الگوهای گردش بر ناهنجاری‌های دمای گرم و سرد در اروپا را در طول قرن بیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. پنا-آنگولو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی، رابطه بین الگوهای گردشی جو و مقدار میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه در شبه جزیره ایبری (اسپانیا) مورد بررسی قرار دادند. در این زمینه می‌توان به مطالعات چنگلان<sup>۶</sup> (۱۹۸۴)، ویلن<sup>۷</sup> (۱۹۸۸)، بوئر<sup>۸</sup>

1 - Vithkevich

2 - Ding

3 - Meehl

4 - Kyselý

5 - Peña-Angulo

6 - Chengelan

7 - Waylen

8 - Boer

(۱۹۸۹)، واتکینر<sup>۱</sup>(۱۹۹۱)، گارسیا<sup>۲</sup>(۱۹۹۶)، مارشال<sup>۳</sup>(۲۰۰۱)، والش<sup>۴</sup>(۲۰۰۱)، واورس<sup>۵</sup>(۲۰۰۶)، وان<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۶) و بیانیک و والش<sup>۷</sup>(۲۰۱۷) اشاره کرد. پژوهش‌های متعددی در زمینه یخبندان در ایران توسط پژوهشگران صورت گرفته که به صورت کلی می‌توان به سه بخش مختلف، تحلیل فراوانی، روند و توزیع مکانی پدیده یخبندان در فصول گوناگون صورت گرفته ابراهیمی (۱۳۸۷)، امیدوار و ابراهیمی (۱۳۸۸)، فرج‌زاده و حسینی (۱۳۸۹)، میر موسوی و حسین‌بابایی (۱۳۹۰) و محمودی و همکاران (۱۳۹۲) امیدوار و اصلانی (۱۳۹۳)، مسعودیان و دارند (۱۳۹۴) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد، مطالعات این دسته نشان داد دی‌ماه با بیشترین میانگین یخبندان و اردیبهشت کم‌ترین میزان یخبندان و همچنین مناطق شمال باختری و باختر، دامنه‌های جنوبی البرز و ایستگاه‌های مرتفع زاگرس میانی بیشترین و نواحی ساحلی شمال و جنوبی ایران کم‌ترین میانگین یخبندان را به خود اختصاص داده است. روند تعداد روزهای یخبندان نیز در ایران رو به کاهش می‌باشد. بخش دوم، مطالعات شامل واکاوی سامانه‌های جوی و الگوهای گردشی موثر در بروز یخبندان است لشکری و ربانی (۱۳۸۳)، علیجانی و هوشیار (۱۳۸۷)، فتاحی و صالحی‌پاک (۱۳۸۸)، خوشحال دستجردی و همکاران (۱۳۸۸)، پروین (۱۳۹۰)، مسعودیان و دارند (۱۳۹۰)، (۱۳۹۱) و (۱۳۹۲)، محمودی و همکاران (۱۳۹۱)، پروین و عطایی (۱۳۹۲)، براتی و همکاران (۱۳۹۵). پژوهش‌های انجام شده در این زمینه بیانگر تأثیر الگوهای پرفشار سیبری و سامانه‌های ادغامی این پرفشار با پرفشار اروپای شمالی، اروپای شرقی، شمال دریای مازندران می‌باشد. در تراز ۵۰۰ نیز سه الگوی غالب سردچال جو بالایی، فرود موج کوتاه و فراز موج کوتاه نقش موثری در رخداد یخبندان‌های شدید و فراگیر ایران داشته‌اند. بخش سوم مطالعات دربرگیرنده

---

1 - Watkins

2 - Garcia

3 - Marshal

4 - Walsh

5 - Vavrus

6 - Whan

7 - Bieniek & Walsh

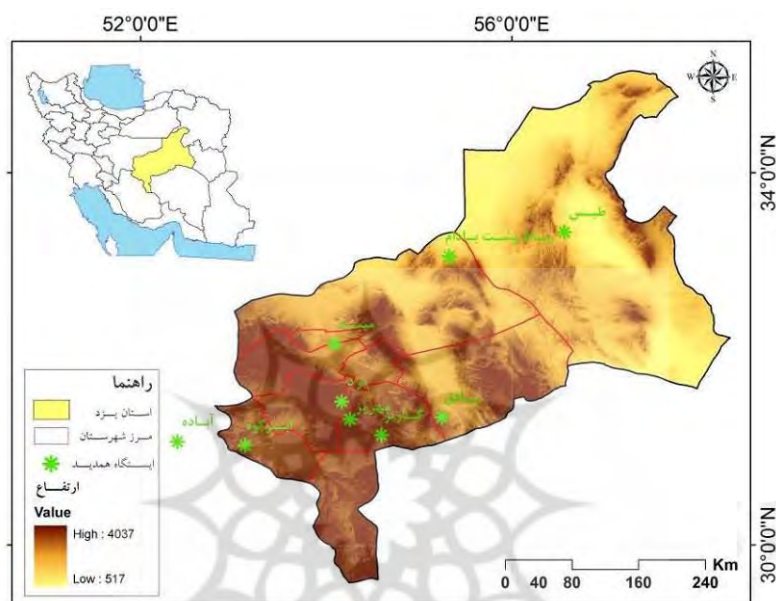
مطالعه موردی درباره یخبندان‌های شدید و موج‌های فراگیر و فرین سرما در ایران علیجانی و براتی (۱۳۷۵)، براتی (۱۳۷۸)، عزیزی (۱۳۸۳)، هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶)، لشکری (۱۳۸۷)، گندمکار (۱۳۸۷)، عزیزی و همکاران (۱۳۸۸)، لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹)، عزیزی و خلیلی (۱۳۹۰)، جهان‌بخش و همکاران (۱۳۹۰)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۰)، امیدوار و ابراهیمی (۱۳۹۱) و محمودی و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد. به طور کلی دلایل عمده وقوع چنین رویدادی ناشی از استقرار یک سامانه پرفشار در سطح زمین (ادغام پرفشار سبیری با پرفشار مهاجر غربی) و گسترش زبانه سرد قطبی آن به سمت شرق یا غرب، هم‌زمان در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز وجود حرکت واپرخندی که باعث هدایت هوای سرد عرض‌های بالا به طرف ایران می‌باشد. همچنین عمیق شدن ناوه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال باعث فرارفت هوای سرد از عقب ناوه (منطقه خاوری فراز) از سمت شمال با امتداد شمالی - جنوبی سبب تداوم ریزش هوای سرد بر روی ایران می‌گردد.

شناخت الگوهای گردشی بوجود آورنده رخداد‌های مخاطره آمیز طبیعی از جمله پدیده یخبندان، جهت کاهش اثرات و خسارات چشمگیر آن در بخش‌های، اقتصادی اجتماعی و سیاسی مرتبط با آن بسیار حائز اهمیت دارد. نظر به اینکه استان یزد دچار تنش‌های دمایی و سرماهای شدید به ویژه طی زمستان است. بنابراین با توجه به مطالب مطرح شده هدف از این نوشتار واکاوی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا جهت شناسایی الگوهای گردشی موثر بر رخداد پدیده یخبندان با روش تحلیل مؤلفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای در منطقه مورد مطالعه (استان یزد) می‌باشد.

### داده‌ها و روش کار

استان یزد با مساحتی حدود ۱۳۱۵۷۵ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران قرار دارد. این استان در ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲

درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول خاوری واقع شده است (شکل ۱). اقلیم استان گرم و خشک بوده و در برگیرنده نامناسب‌ترین عوامل طبیعی غالب در فلات ایران است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی سرزمین پژوهش

نخست جهت دستیابی به داده‌های مورد نیاز، داده‌های روزانه‌ی ایستگاه‌های همدید از اداره کل هواشناسی استان یزد دریافت گردید. بنا بر تعریف هاگ (۱۹۵۰) و لورانس<sup>۲</sup> (۱۹۵۲) یخبندان: وقوع دمای مساوی یا کمتر از صفر درجه سلسیوس در یک جعبه اسکرین در ارتفاع ۱/۲۵ تا ۲ متری از سطح زمین است (امیدوار، ۱۳۹۰: ۲۰۶)، بدین جهت تمام داده‌های دمای شبانه از آغاز تاسیس برای بررسی پدیده یخبندان انتخاب شده است. ایستگاه‌های منتخب استان، شامل ایستگاه همدید یزد، گاریز، مید، بافق، ابرکو،

<sup>۱</sup> - Hogg

<sup>۲</sup> - Lawrence

رباط پشت بادام، مهریز، طبس و ایستگاه آباده در استان فارس می‌باشد، مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد پژوهش در ( جدول ۱)، نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

شماره	شهر	ارتفاع به متر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	یزد	۱۲۳۷	۵۴° ۱۷'	۳۱° ۵۴'
۲	گاریز	۲۱۰۰	۵۴° ۶'	۳۱° ۱۸'
۳	میبد	۱۱۰۸	۵۴° ۰۱'	۳۲° ۱۶'
۴	بافق	۹۹۱	۵۵° ۲۵'	۳۱° ۳۷'
۵	ابركوه	۱۵۲۳	۵۳° ۱۳'	۳۱° ۰۷'
۶	طبس	۷۱۱	۵۶° ۵۷'	۳۳° ۳۶'
۷	رباط پشت بادام	۱۱۸۸	۵۵° ۳۳'	۳۳° ۱'
۸	مهریز	۱۵۲۰	۵۴° ۲۶'	۳۱° ۳۵'
۹	آباده	۲۰۳۰	۵۲° ۴۰'	۳۱° ۱۱'

جهت بررسی روزهای یخبندان در استان یزد از داده‌های دمای کمینه ثبت شده در دوره‌ی آماری ۲۰۰۸-۱۹۷۹ استفاده گردید، بنابراین روزهایی که حداقل در ۵ ایستگاه یزد، گاریز، مهریز، ابرکو و ایستگاه همجوار استان یزد آباده که دمای برابر و زیر صفر درجه گزارش نموده بودند و گستره مکانی مورد نظر را تبیین می‌نمود به عنوان روزهای فراگیر رخداد یخبندان در استان یزد از سایر داده‌ها جدا گردید، در نتیجه ۳۱۲ روز فراگیر استخراج شد، سپس بر اساس فراگیرترین روزهای یخبندان داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا در قلمرو ۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول خاوری و ۲۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی از تارنمای<sup>۱</sup> باز تحلیل مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز

<sup>۱</sup> - [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov)

ملی پژوهش‌های هواشناسی<sup>۱</sup> (NCEP/NCAR) استخراج گردید، سپس با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به واکاوی مولفه‌های اصلی تشکیل دهنده الگوهای گردشی در روزهای رخداد یخبندان در استان یزد پرداخته شد. به منظور شناسایی الگوهای گردشی در زمان وقوع پدیده یخبندان در استان یزد مراحل زیر انجام شد.

با بررسی ایستگاه‌ها، روزهایی که حداقل در پنج ایستگاه با تداوم بیش از ۲ روز یخبندان رخ داده بود از میان داده‌های روزانه استخراج شد. در نتیجه ۷۸ دوره یخبندان شناسایی شد. که در مجموع ۳۱۲ روز یخبندان را شامل می‌گردید. دوره یخبندان در این پژوهش، دوره‌ای است که روز یخبندان حداقل در ۵ ایستگاه با تداوم حداقل دو روز مشاهده شده باشد. این فرآیند به این منظور انجام پذیرفت که یخبندان‌های فرارفتی<sup>۲</sup> (همیدی) از یخبندان‌های تابشی<sup>۳</sup> متمایز گردد. فرض بر این است که یخبندان‌های انتقالی طولانی‌تر هستند (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶: ۹۳).

در گام بعد در محیط نرم‌افزار متلب برای روزهای یخبندان فراگیر با حداقل ۵ ایستگاه با تداوم حداقل دو روز ماتریسی به ابعاد  $۶ \times ۳۱۲$  تشکیل شد که روزهای خورشیدی و میلادی را شامل می‌گردید. بر اساس این روزها داده‌های روزانه فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از سال ۱۹۷۹ تا سال ۲۰۰۸ میلادی با تفکیک مکانی  $۲/۵ \times ۲/۵$  درجه با رویکرد محیطی به گردشی برای شناسایی الگوهای گردشی انتخاب شد، بنابراین برای هر روز در راستای طول جغرافیایی ۳۷ یاخته و در راستای عرض جغرافیایی ۲۵ یاخته وجود دارد. بدین ترتیب آرایه داده‌ها به ابعاد  $۹۲۵ \times ۳۱۲$  برای دو تراز مورد نظر آماده شد. در واقع این آرایه ۹۲۵ مکان (نقطه) را در طی ۳۱۲ روز یخبندان

<sup>۱</sup> - National Center Environmental Prediction / National Center Atmospheric Research

<sup>۲</sup> - Advection Frost

<sup>۳</sup> - Radiative Frost

نشان می‌دهد، بنابراین ماتریس داده‌ها در حالت گاه جای‌تنظیم گردید. مکان‌ها در روی ستون و روزها بر روی سطر ماتریس واقع شدند.

برای شناسایی علل همدید یخبندان‌های از روش‌های آماری تحلیل مؤلفه مبنا و تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. هدف از تحلیل مؤلفه مبنا از یک سو کاهش حجم داده‌ها و از سوی دیگر شناسایی مهم‌ترین الگوهای زمانی و الگوهای مکانی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا در قلمرو مورد بررسی بوده است.

تحلیل مؤلفه‌های مبنا دارای سه برونداد است: الگوهای مکانی (آرایه بار مؤلفه‌ها)، الگوی زمانی (آرایه نمرات مؤلفه‌ها) و آرایه درصد تبیین مؤلفه‌ها. برای انتخاب مهم‌ترین مؤلفه‌ها اصل تبیین بیش از یک درصد مد نظر قرار گرفت. بر این اساس تنها مؤلفه‌هایی را برای تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت که بیش از یک درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا را تبیین می‌کردند. نقشه الگوهای مکانی برای شناخت موثرترین مؤلفه‌ها در زمان رخداد پدیده‌ی یخبندان در ترازهای یاد شده ترسیم گردید و سپس با انجام یک تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد بر روی نمرات مؤلفه‌ها بر اساس تحلیل همبستگی که شیو پراش بر آن اثری ندارد و سبب حذف شدت فشار می‌گردد، در هر خوشه یک روز به عنوان روز نماینده یا الگوی گردشی معرفی شد. سپس نقشه‌های روزهای نماینده یا الگوهای گردشی در چهارچوب مختصات معرفی شده استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

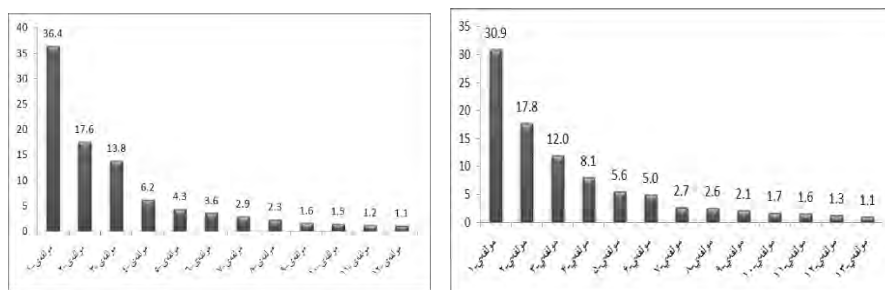
درصد پراش تبیین شده توسط هر یک از مؤلفه‌های مبنا بر اساس ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا در (شکل ۲) نشان داده شده است. بر این اساس

<sup>1</sup> - S-mode

<sup>2</sup> - ward



۱۳ مؤلفه ۹۲/۵ درصد تغییرات داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و ۱۲ مؤلفه ۹۲/۵ درصد تغییرات داده‌های فشار تراز دریا را تبیین می‌کند.

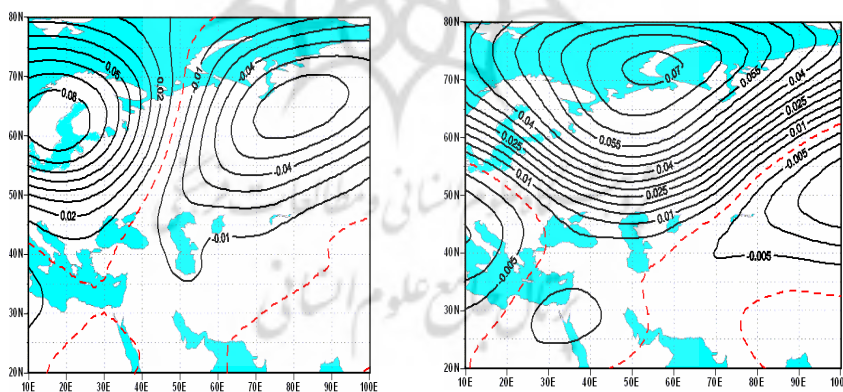


شکل ۲. درصد تبیین مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا

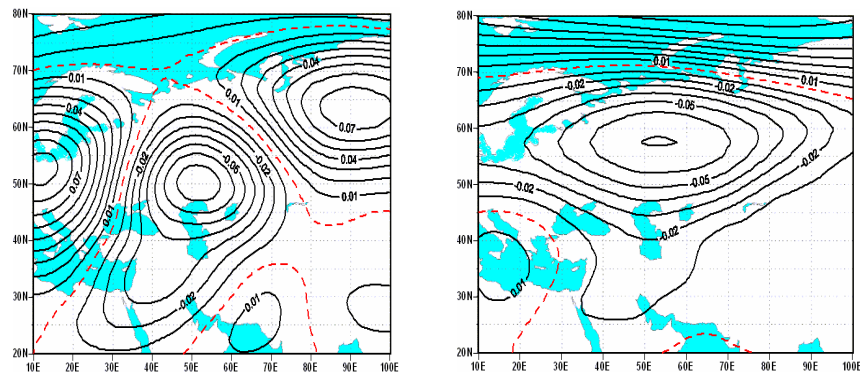
### واکاوی مؤلفه‌های اصلی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

مؤلفه‌ی اول، ۳۱ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که کانون پر ارتفاع در شمال دریای مازندران و شمال خاوری اروپا گسترش یافته است و بر روی سرزمین پژوهش زبانه‌ی این الگو حاکمیت دارد که باعث ریزش هوای سرد با گردش ساعت‌گرد (واچرخندی) از سمت خاوری منطقه شده است و در خاور آن این مؤلفه غیر فعال است. مؤلفه‌ی دوم در حدود ۱۹ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که زبانه‌ی کم ارتفاع از سمت دریای مازندران با کانون شمال دریاچه‌ی آرال به درون ایران نفوذ کرده است که مسبب ریزش هوای سرد با گردش پادساعت‌گرد (چرخندی) از سمت باختری منطقه شده است و هم‌زمان در روی اروپا یک پر ارتفاع مستقر است و در روی منطقه کم ارتفاع حاکمیت دارد (شکل ۳). مؤلفه‌ی سوم ۱۲ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که کم ارتفاعی با کانون شمال دریای مازندران بر روی ایران-حاکمیت دارد و در روی دریای مدیترانه کانون پر ارتفاع مستقر است. الگو چرخندی این مؤلفه در قیاس با مؤلفه دوم به عرض‌های پایین‌تر کشیده شده و تا جنوب

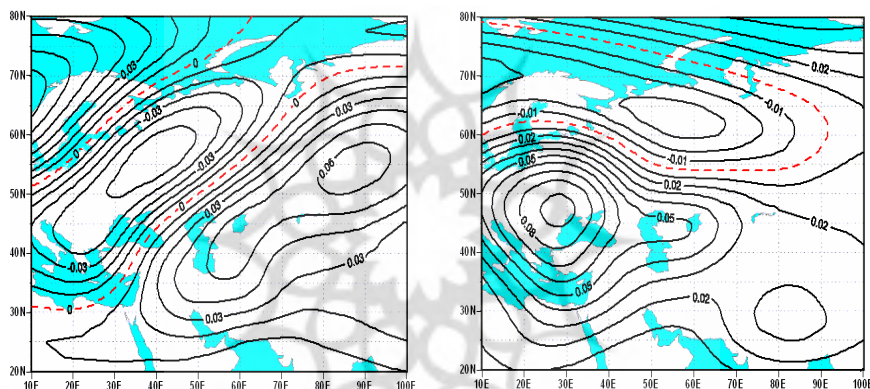
ایران گسترش پیدا کرده است. مولفه‌ی چهارم ۸ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که یک فرود عمیق در روی دریای سیاه- دریای مازندران قرار دارد که بین دو پر ارتفاع سیبری و مناطق خاوری اروپا قرار دارد استقرار یک و اچرخند در جلو ناوه باعث بندآیی (بلوکه شدن) و تداوم ریزش هوای سرد از سمت خاوری منطقه با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری شده است. (شکل ۴). مولفه‌ی پنجم تقریباً ۶ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه حاکمیت پر ارتفاعی را نشان می‌دهد که از باختر دریای مدیترانه تا دریاچه‌ی آرال گسترش دارد و کانون مرکزی آن در شمال دریای سیاه مستقر است و سرزمین پژوهش در حاکمیت آن قرار دارد. مولفه‌ی ششم ۵ درصد تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه حاکمیت پر ارتفاعی با کانون مرکزی مستقر در شمال دریاچه‌ی بایکال را نشان می‌دهد که به طور کامل سرزمین پژوهش را می‌پوشاند و در باختر آن کانون کم ارتفاع عمیقی در خاور اروپا واقع است (شکل ۵).



شکل ۳. مولفه‌ی اول سمت راست و مولفه‌ی دوم سمت چپ



شکل ۴. مولفه سوم سمت راست و مولفه‌ی چهارم سمت چپ

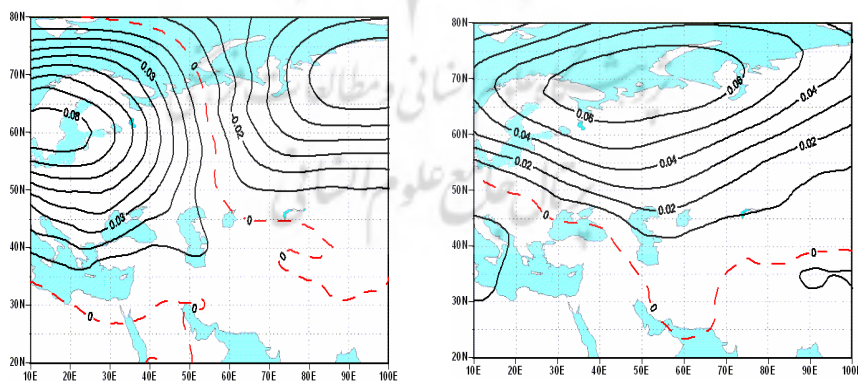


شکل ۵. مولفه‌ی پنجم سمت راست و مولفه‌ی ششم سمت چپ

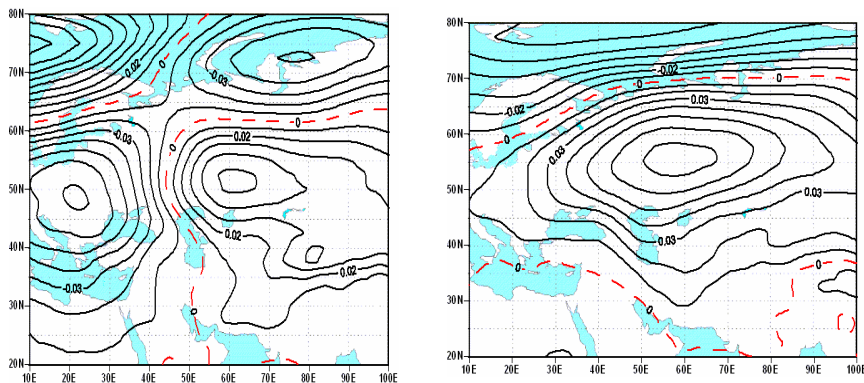
### واکاوی مؤلفه‌های اصلی فشار تراز دریا

مؤلفه‌ی اول تقریباً بیش از ۳۶ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه حاکمیت پر فشار در شمال دریای مازندران را نشان می‌دهد که کانون آن در شمال روسیه است که در روی سرزمین پژوهش نیز تأثیر دارد و در باختر منطقه این مؤلفه غیر فعال است. حاکمیت پرفشار در این مؤلفه تک کانونی است. مؤلفه‌ی دوم در حدود ۱۸ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که سامانه پرفشاری با کانون شمال باختری اروپا (پرفشار اسکاندیناوی یا

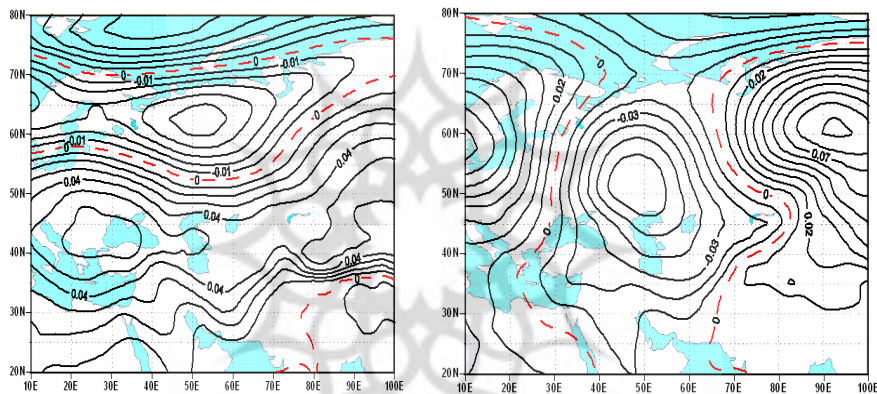
پرفشار مهاجر) تا شمال باختر سرزمین پژوهش گسترش دارد و زبانه آن سرزمین پژوهش را در بر می‌گیرد (شکل ۶). مؤلفه‌ی سوم در حدود ۱۴ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که زبانه‌ی پر فشار با کانون مستقر در شمال دریاچه‌ی آرال و دریای مازندران بر روی سرزمین پژوهش حاکمیت دارد که از سیبری تا شمال دریای مدیترانه گسترش یافته است. مؤلفه‌ی چهارم بیش از ۶ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که زبانه‌ی پر فشار با کانون مستقر در شمال دریاچه‌ی آرال بر روی سرزمین پژوهش گسترش دارد و یک کم فشار با کانون شمال دریای مدیترانه تا باختر ایران حاکمیت دارد (شکل ۷). مؤلفه‌ی پنجم بیش از ۴ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که زبانه‌ی کم فشار با کانون شمال دریای مازندران در روی ایران گسترش یافته است و در دو سوی آن وضعیت پر فشار حاکمیت دارد. مؤلفه‌ی ششم در حدود ۴ درصد تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی مکانی این مؤلفه نشان می‌دهد که در روی سرزمین پژوهش پر فشار غلبه دارد و در خاور آن کانون سیبری و در باختر آن کانون دریای سیاه شکل گرفته است و در شمال روسیه و اروپا کانون کم فشار در بالای مدار ۶۰ درجه‌ی شمال قرار دارد (شکل ۸).



شکل ۶. مؤلفه‌ی اول سمت راست و مؤلفه‌ی دوم سمت چپ.



شکل ۷. مولفه سوم سمت راست و مولفه‌ی چهارم سمت چپ.



شکل ۸. مولفه‌ی پنجم سمت راست و مولفه‌ی ششم سمت چپ.

### واکاوی خوشه‌ای

برای دستیابی به الگوهای گردشی جریانات جوی در دو تراز یاد شده با انجام واکاوی خوشه‌ای بر روی نمرات مولفه‌های (الگوهای زمانی) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به ۵ خوشه طبقه‌بندی گردید و در هر خوشه یک روز بعنوان روز الگو انتخاب شد (جدول ۲) و الگوهای گردشی تراز دریا نیز بر اساس این روزهای نماینده ارزیابی شد تا الگوهای گردشی در ترازها با یکدیگر مطابق باشد.

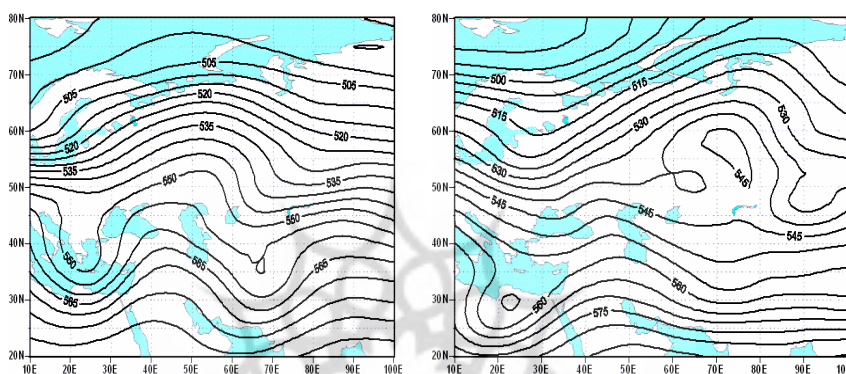
جدول ۲. روزهای الگوی استخراج شده از واکاوی همبستگی هر خوشه

روز میلادی	ماه میلاد ی	سال میلادی	روز شمسی	ماه شمس ی	سال شمسی	روز شمسی	ماه شمسی	همبستگی درون گروهی	همبستگی روز الگو	روز میلادی
۱۷	۲	۱۹۸۹	۲۸	۱۱	۱۳۶۷	۷۱	۰/۸۹	۰/۹۳	اول	
۲۷	۱۲	۱۹۹۴	۶	۱۰	۱۳۷۳	۴۴	۰/۹۴	۰/۹۵	دوم	
۸	۱۲	۱۹۹۴	۱۷	۹	۱۳۷۳	۶۱	۰/۸۴	۰/۸۹	سوم	
۷	۲	۱۹۹۷	۱۹	۱۱	۱۳۷۵	۹۷	۰/۹	۰/۹۳	چهارم	
۸	۲	۲۰۰۸	۱۹	۱۱	۱۳۸۶	۳۹	۰/۸۲	۰/۸۷	پنجم	

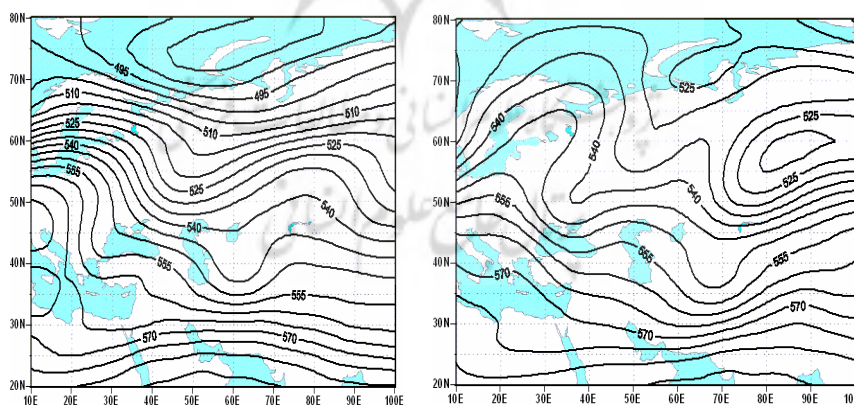
## تفسیر نقشه‌های روز نماینده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰

الگوی جریانات جوی روز نماینده خوشه‌ی اول نشان می‌دهد که سرزمین پژوهش در خاور فراز با محوریت باختر دریای مازندران و خلیج فارس مستقر است که محور فرود آن از دریای سیاه تا جنوب دریای مدیترانه کشیده شده است. الگوی جریانات جوی روز نماینده خوشه‌ی دوم نشان می‌دهد که فرود (تراف) مستقر در مرکز دریای مدیترانه باعث قرار گیری سرزمین پژوهش در خاور فراز نصف‌النهار ۴۴ درجه‌ی خاوری شده است (شکل ۹). الگوی جریانات جوی روز نماینده خوشه‌ی سوم نشان می‌دهد که پشته‌ی مستقر در خاور اروپا و سرد چال‌های جوی باعث تغییر در مسیر جریانات جوی شده است و فرودهای متعددی شکل گرفته است و سرزمین پژوهش در خاور پشته با محوریت دریای مازندران قرار گرفته است. الگوی جریانات جوی روز نماینده خوشه‌ی چهارم نشان می‌دهد که فرودی عمیق بر روی دریای مدیترانه - دریای سیاه شکل گرفته است و به دلیل اینکه این فرود در عرض‌های بالاتر قرار دارد باعث شده که جریانات مداری بر روی سرزمین پژوهش عبور نمایند (شکل ۱۰). الگوی جریانات جوی روز

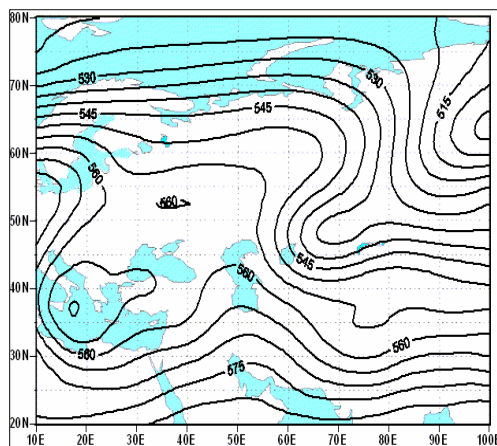
نمایندگی خوشه‌ی پنجم نشان می‌دهد که در این تراز سرد چال‌های جوی در روی دریای مدیترانه و شمال دریای سیاه منجر به تغییرات مسیر جریانات جوی شده است که این وضعیت باعث قرار گیری منطقه در خاور فراز با محوریت دریای مازندران- خلیج فارس شده است (شکل ۱۱).



شکل ۹. روز نماینده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال خوشه اول سمت راست و خوشه‌ی دوم سمت چپ



شکل ۱۰. روز نماینده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال خوشه سوم سمت راست و خوشه‌ی چهارم سمت چپ



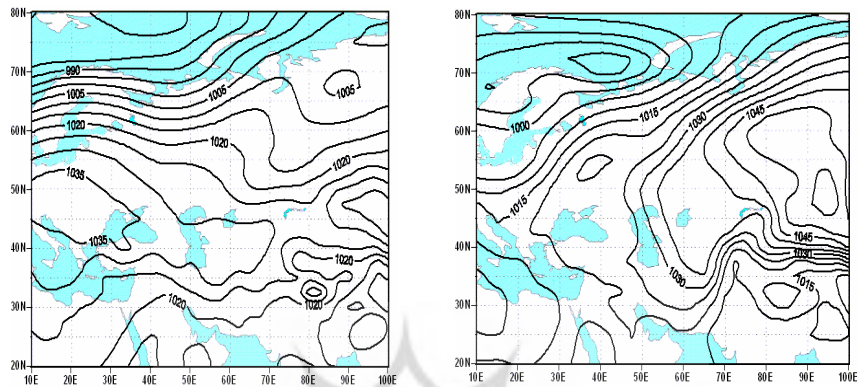
شکل ۱۱. روز نماینده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال خوشه‌بندی

#### نقشه روز نماینده فشار تراز دریا

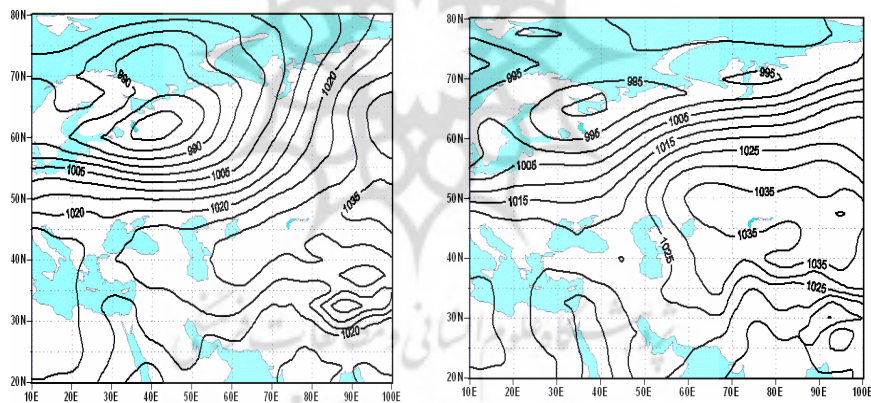
الگوی روز نماینده خوشه‌ی اول نشان می‌دهد که زبانه‌های پرفشار با مرکزیت سیبری بر روی سرزمین پژوهش گسترش یافته و پربند ۱۰۲۵ هکتوپاسکال از آن می‌گذرد. الگوی روز نماینده خوشه‌ی دوم نشان می‌دهد که کانون پرفشار مستقر در شمال دریای مدیترانه به سمت خاور گسترش یافته و زبانه‌های آن با منحنی ۱۰۲۵ هکتوپاسکال از منطقه می‌گذرد (شکل ۱۲). الگوی روز نماینده خوشه‌ی سوم نشان می‌دهد که کانون کم‌فشار جنب قطبی در بالای مدار ۶۰ درجه شمالی شکل گرفته است و در خاور دریاچه‌ی بایکال کانون پرفشار مستقر است که زبانه‌ی آن با پربند ۱۰۲۵ از شمال خاوری کشور به سمت سرزمین پژوهش کشیده شده است. الگوی روز نماینده خوشه‌ی چهارم نشان می‌دهد که کانون کم‌فشار در شمال اروپا با فشار مرکزی ۹۸۰ هکتوپاسکال مستقر است و بر روی سرزمین پژوهش زبانه‌های پرفشار با مرکزیت سیبری با منحنی ۱۰۲۵ هکتوپاسکال می‌گذرد (شکل ۱۳). الگوی روز نماینده خوشه‌ی پنجم با ادغام دو مرکز پرفشار قوی شمال دریای مازندران و دریای سیاه و سامانه پرفشار سیبری با فشار مرکزی ۱۰۴۵ هکتوپاسکال شکل گرفته است که زبانه‌های آن با پربند



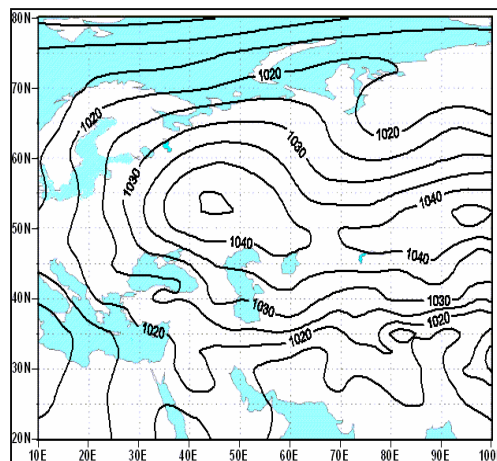
۱۰۲۰ هکتوپاسکال از طریق خاور دریای مدیترانه از سرزمین پژوهش عبور می‌کند (شکل ۱۴).



شکل ۱۲. نقشه روز نماینده خوشه‌ی اول سمت راست و خوشه‌ی دوم سمت چپ



شکل ۱۳. نقشه روز نماینده خوشه‌ی سوم سمت راست و خوشه‌ی چهارم سمت چپ



شکل ۱۴. نقشه روز نماینده خوشه‌ی پنجم

### نتیجه‌گیری

سرمازدگی و پدیده یخبندان یکی از مخاطرات اصلی آب و هوایی است که همواره باعث بروز خسارت‌های فراوان به ویژه در مناطق بیابانی و نیمه خشک شده است. در همین راستا در این پژوهش به شناسایی الگوهای گردشی موثر در تراز پانصد هکتوپاسکال و تراز دریا در رخداد پدیده یخبندان در بازه زمانی ۳۰ ساله پرداخته شده است. وجود سامانه‌های پر ارتفاع با آرایش و اچرخندی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۴۲ درصد و ۳۹ درصد سامانه‌های کم ارتفاع با آرایش چرخندی مؤلفه‌های اصلی پدیده یخبندان را تبیین می‌کند. سامانه‌های پرفشار تقریباً ۷۸ درصد مؤلفه‌ی های موثر در تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند، در مقابل تنها ۴ درصد سامانه‌های کم‌فشار تغییرات فشار تراز دریا را تبیین می‌کند. الگوی اصلی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با بیشترین درصد تبیین (۳۱٪) با استقرار پرارتفاع در شمال دریای مازندران و شمال خاوری اروپا (تاوه قطبی) و مسبب ریزش هوای سرد با گردش (واچرخندی) از سمت خاوری منطقه و به وجود آمدن پدیده یخبندان شده است. در عین حال الگوی مکانی با استقرار زبانه‌ی کم ارتفاع (با تبیین ۱۹٪) از سمت دریای مازندران با کانون شمال سیبری به درون ایران نفوذ کرده است که منجر به ریزش هوای سرد با گردش پاد ساعت‌گرد (چرخندی) از

سمت باختری منطقه شده است. مؤلفه‌های اصلی فشار تراز دریا با ۷۸ درصد مربوط به استقرار سامانه‌های پرفشار و نفوذ زیانه‌های آن به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مقابل تنها ۴ درصد الگوهای فشاری به سامانه‌های کم فشار تعلق دارد. الگوی فراز موج کوتاه در منطقه به همراهی ناوه مستقر در مرکز دریای مدیترانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و حاکمیت پرفشار سبیری با رخنه زیانه این پرفشار با پربند ۱۰۲۵ هکتوپاسکال در تراز دریا عامل اصلی بروز پدیده یخبندان در روزهای نماینده خوشه‌های استخراجی است. به طور کلی وجود سامانه‌های فشاری، پرفشار سبیری، پرفشار شمال مدیترانه و سامانه ادغامی دو مرکز پرفشار سبیری و شمال دریای مازندران سبب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا بروی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. وجود تاثیر مراکز پرارتفاع با حرکت و اچرخندی بر روی روسیه در ریزش هوای سرد و بروز رخداد یخبندان و موج‌های سرمایایی شدید در پژوهش امیدوار و ابراهیمی (۱۳۹۱) نیز مورد تایید قرار گرفته است و با نتایج این پژوهش هم مطابقت دارد. همچنین نتایج پژوهش پروین (۱۳۹۰) در استان کردستان و پروین و عطایی (۱۳۹۲) در استان کرمانشاه نیز نشان داد حرکات نزولی سمت عقب سامانه‌های هم‌دید باعث هدایت توده هواهای سرد و نسبتاً خشک عرض‌های جغرافیایی بالا از سمت شمال غربی ایران به سمت مناطق مورد مطالعه شده و در افت محیطی دما و بروز یخبندان موثر است.

### منابع

- ابراهیمی، عاطفه (۱۳۸۷)، پهنه‌بندی شدت یخبندان در استان یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- اصلانی، اقدس (۱۳۸۸)، تحلیل و بررسی یخبندان‌های شدید حوضه زاینده رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- امیدوار، کمال و ابراهیمی، عاطفه (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی شدت یخبندان در استان یزد، نشریه جغرافیا، سال هفتم، شماره ۲۰-۲۱.

امیدوار، کمال و اقدس اصلانی (۱۳۹۳)، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی - مکانی یخبندان در حوضه زاینده رود، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۳، صص ۱۴۷-۱۶۴.

امیدوار، کمال و عاطفه ابراهیمی (۱۳۹۱)، تحلیل همدیدی موج سرمای شدید ۱۶ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی (استان‌های اصفهان، کرمان و یزد)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۵، شماره ۱، صص ۸۱-۹۸.

امیدوار، کمال (۱۳۹۰)، مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد. چاپ اول، یزد، صص ۳۱۱.

انتظاری، علیرضا، حدادنیا، جواد، جعفرزاده، مرتضی و ابراهیم کوروندی (۱۳۹۰)، ارائه یک شبکه عصبی MLP به منظور پیش‌بینی یخبندان در استان کرمانشاه، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره سوم، صص ۵۹-۷۱.

براتی، غلامرضا (۱۳۷۸)، روابط سیستمی مهاجر و یخبندان‌های بهاره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴-۵۵، صص ۱۳۲-۱۵۰.

براتی، غلامرضا، احمدی، محمود، میرزایی، ابراهیم و محمد بیتار (۱۳۹۵)، ترازایی زبانه‌های پرفشار سیبری هنگام رخداد سرماهای بحرانی در ایران مرکزی، پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۶۲، صص ۱۱۷-۱۲۹.

پروین، نادر (۱۳۹۰)، الگوهای گردش موثر بر وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کردستان طی ۱۳۸۴-۱۳۴۴، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره ۲، پیاپی ۱۰۱، صص ۲۱۹-۲۳۸.

پروین، نادر و هوشمند عطایی (۱۳۹۲)، الگوهای همدید تراز میانی جو هنگام وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره استان کرمانشاه، جغرافیا، سال ۱۱، شماره ۳۶، صص ۲۱۵-۲۲۹.

جهانبخش، سعید، رضایی، سمیه، قاسمی، احمدرضا و معصومه تدینی (۱۳۹۰)، تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره ۳، پیاپی ۱۰۲، صص ۱-۲۴.

خوشحال دستجردی، جواد، یزدانپناه، حجت اله و خداکرم حاتمی بهمن بیگلو (۱۳۸۸)، شناسایی الگوهای گردشی پدیده یخبندان با کاربرد تحلیل مؤلفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی: استان فارس)، جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، صص ۳۳-۴۵.

شیرانی، فرزانه، مزیدی، احمد و خداقلی مرتضی (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی اقلیمی استان یزد با روش های آماری چند متغیره، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۷، شماره ۱۳، صص ۱۵۷-۱۳۹.

عزیزی، قاسم (۱۳۸۳)، ارزیابی سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر بهاری در نیمه باختر ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۹۸-۱۱۵.

عزیزی، قاسم و مائده خلیلی (۱۳۹۰)، نقش بلاکینگ در رخداد سرماهای فرین ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۷، صص ۳۹-۵۵.

عزیزی، قاسم، اکبری، طیبه، داودی، محمود و مهری اکبری (۱۳۸۸)، تحلیل همدیدی موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، صص ۱-۱۹.

عزیزی، قاسم، حنفی، علی، سلطانی، محسن و موسی آقاجانی (۱۳۹۰)، تحلیل سینوپتیک یخبندان شدید، دیرنگام و فراگیر فروردین ماه ۱۳۸۸، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، پیاپی ۴۱، شماره ۱، صص ۱-۱۴.

علیجانی، بهلول و غلامرضا براتی (۱۳۷۵)، تحلیل سینوپتیک یخبندان فروردین ۱۳۶۶، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۰، صص ۱۲۱-۱۳۵.

علیجانی، بهلول و هوشیار، محمود (۱۳۸۷)، شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال باختر ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱-۱۶.

علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان و دوست محمد کلیم (۱۳۹۵)، اقلیم‌شناسی روزهای ذوب-یخبندان ایران، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۵۶، صص ۱۹-۳۲.

علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، ریگی، اله بخشی و خسروی، پرویز (۱۳۸۹)، بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۱-۲۰.

فتاحی، ابراهیم و صالحی‌پاک، تهمینه (۱۳۸۸)، تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۲۷-۱۳۶.

فرج‌زاده، منوچهر و امیر حسینی (۱۳۸۹)، تحلیل و پهنه‌بندی زمانی - مکانی یخبندان در ایران، جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۱۵، صص ۶۵-۹۰.

گندم‌کار، امیر (۱۳۸۷)، تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره نجف آباد، فضای جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۲۳، صص ۱۴۷-۱۶۵.

لشکری، حسن (۱۳۸۷)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۱۳۸۲ در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۱-۱۸.

لشکری، حسن و فاطمه ربانی (۱۳۸۳)، طبقه‌بندی همدیدی فضایی توده‌های هوای موثر بر یخبندان‌های بهاره شمال خراسان، جغرافیا، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۹-۳۴.

لشکری، حسن و قاسم کیخسروی (۱۳۸۹)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸-۱۵ دی‌ماه ۱۳۸۵ در ایران، فصلنامه مدرس و علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱۵۱-۱۷۷.

محمودی، پیمان، خسرو، محمود، مسعودیان، ابوالفضل و بهلول علیجانی (۱۳۹۱)، نابهنجاری‌های همدیدی منجر به یخبندان‌های فراگیر ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، صص ۱۷-۳۴.

محمودی، پیمان، خسرو، محمود، مسعودیان، ابوالفضل و بهلول علیجانی (۱۳۹۲)، اطلس اقلیم‌شناسی ویژگی‌های آماری یخبندان‌های ایران، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۴، صص ۵۵-۶۶.

- محمودی، پیمان، خسرو، محمود، مسعودیان، ابوالفضل و بهلول علیجانی (۱۳۹۴)، بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر و نیمه فراگیر ایران، جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۴، صص ۳۰۳-۳۲۷.
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۵)، زیج الگوی سی ساله الگوهای گردش تراز میانی جو ایران، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال چهارم، شماره ۷، صص ۳۳-۵۱.
- مسعودیان، ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۰)، تحلیل همدید سرماهای فرین ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص ۱۶۵-۱۸۵.
- مسعودیان، ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۱)، واکاوی ناهنجاری‌های فشار تراز دریا در روزهای همراه با رخداد سرماهای فرین در ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۵، شماره ۱، صص ۱-۱۸.
- مسعودیان، ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۲)، تحلیل همدید یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۰، شماره ۲، صص ۱۲۹-۱۴۰.
- مسعودیان، ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۴)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال سیزدهم، شماره ۳۹، صص ۴۹-۶۰.
- میر موسوی، حسین و مصطفی حسین بابایی (۱۳۹۰)، مطالعه توزیع زمانی - مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۸۴-۱۶۷.
- هژبرپور، قاسم، بهلول علیجانی (۱۳۸۶)، تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، صص ۱۰۶-۸۹.
- Bieniek, P. A., & Walsh, J. E. (2017). Atmospheric circulation patterns associated with monthly and daily temperature and precipitation extremes in Alaska. *International Journal of Climatology*. Int. J. Climatol. doi:10.1002/joc.4994.
- Boer, R., Campbell, L. C., & Fletcher, D. J. (1993). Characteristics of frost in a major wheat-growing region of Australia. *Crop and Pasture Science*, 44(8), 1731-1743.

- Chengelan, B. (1984), Synoptic Meteorology in China. Beijing: China Ocean Press.
- Ding, Y., & Krishnamurti, T. N. (1987). Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Monthly Weather Review*, 115(10), 2428-2449.
- García, I. P. (1996). Major cold air outbreaks affecting coffee and citrus plantations in the eastern and northeastern Mexico. *Atmósfera*, 9(1), 47-68.
- Kyselý, J. (2008). Influence of the persistence of circulation patterns on warm and cold temperature anomalies in Europe: analysis over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 62(1), 147-163.
- Marshal, J, MC Foreland, (2002), Useful relationships between 500mb features and major freeze event in the lower Rio Grande valley of Texas Environmental studies service center. Texas University Collage.
- Meehl, G. A., Tebaldi, C., & Nychka, D. (2004). Changes in frost days in simulations of twenty first century climate. *Climate Dynamics*, 23(5), 495-511.
- Peña-Angulo, D., Trigo, R. M., Cortesi, N., & González-Hidalgo, J. C. (2016). The influence of weather types on the monthly average maximum and minimum temperatures in the Iberian Peninsula. *Atmospheric Research*, 178, 217-230.
- Vavrus, S., Walsh, J. E., Chapman, W. L., & Portis, D. (2006). The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. *International Journal of Climatology*, 26(9), 1133-1147.
- Vithkevich, V. I. (1963), Agricultural Meteorology, Jerusalem; PP. 183-305.
- Walsh, J. E., Phillips, A. S., Portis, D. H., & Chapman, W. L. (2001). Extreme cold outbreaks in the United States and Europe, 1948–99. *Journal of Climate*, 14(12), 2642-2658.
- Watkins, C. (1991). The annual period of freezing temperatures in central England: 1850–1989. *International journal of climatology*, 11(8), 889-896.
- Waylen, P. R. (1988). Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. *Journal of climatology*, 8(6), 607-628.
- Whan, K., Zwiers, F., & Sillmann, J. (2016). The influence of atmospheric blocking on extreme winter minimum temperatures in North America. *Journal of Climate*, 29(12), 4361-4381.