

نابهنجاری‌های همدیدی منجر به یخبندان‌های فراگیر ایران

پیمان محمودی^۱ - دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

دکتر محمود خسروی - دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

دکتر سید ابوالفضل مسعودیان - استاد اقلیم شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران

دکتر بهلول علیجانی - استاد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۵/۱۰

چکیده

این مطالعه نابهنجاری‌های همدیدی منجر به یخبندان‌های فراگیر ایران را با هدف بهبود قابلیت‌های پیش‌بینی این پدیده حدی مورد توجه قرار داده است. برای رسیدن به این هدف یخبندان‌های ایران براساس یک اصل مکانی، به سه دسته یخبندان‌های فراگیر، نیمه فراگیر و جزئی تقسیم بندی شدند. در ادامه سال‌های دارای حداکثر و حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر را که یک انحراف استاندارد بالاتر و پایین تر از میانگین بلند مدت بودند برای یک دوره ۴۳ ساله از ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۴ مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های مرکب حداکثری یخبندان‌های فراگیر، یک نابهنجاری فشاری دو قطبی با یک مقدار مثبت در شمال شرق و یک مقدار منفی ضعیف در شمال غرب ایران بر روی کشور ترکیه را نشان می‌دهد. چنین ساختاری باعث تقویت پرفشار سبیری و گسترش زبانه غربی آن تا غرب دریای مدیترانه می‌گردد و شرایط برای استقرار یک سامانه پرفشار بر روی این دریا فراهم می‌شود که نتیجه آن، عقب راندن زبانه سامانه کم فشار موسمی سودان به عرض‌های جغرافیایی پایین تر و همچنین مهیا شدن شرایط همدیدی برای ریزش هوای سرد از عرض‌های جغرافیایی بالاتر بر روی ایران است. برای شرایط حداقلی نیز مشاهده می‌شود که کل منطقه مورد مطالعه تحت سیطره یک نابهنجاری منفی است که کانون مرکزی شدت آن بر روی ترکیه قرار گرفته است. لذا پیکربندی الگوهای فضایی این گروه نشان از تضعیف پرفشار سبیری و متعاقب آن عدم گسترش زبانه غربی آن تا دریای مدیترانه دارد که شرایط برای استقرار یک کم فشار با گردش چرخندی بر روی دریای مدیترانه فراهم می‌شود لذا تحت این شرایط و با گسترش زبانه کم فشار موسمی سودان و تزریق رطوبت از واچرخند اقیانوس هند (دریای عرب) جو ایران شرایط مرطوب تر و گرمتری را تجربه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: یخبندان، ایران، نابهنجاری همدیدی، پرفشار سبیری، الگوهای همدیدی.

مقدمه

اگرچه دماهای صفر و زیر صفر درجه سلسیوس در فصل سرد سال و در عرض‌های جغرافیایی میانه لزوماً یک پدیده حدی به شمار نمی‌آیند، اما ماندگاری طولانی مدت آنها در یک ناحیه وسیع و یا وقوع ناگهانی آنها در ابتدا و انتهای فصل سرما می‌تواند این دماها را به یک پدیده حدی تبدیل کنند. پدیده‌های حدی حاصل اندرکنش بین گردش‌های جوی بزرگ مقیاس و ویژگی‌های محلی مکان مورد مطالعه (ناهمواری، ارتفاع از سطح دریا و...) هستند (مسعودیان و همکار، ۱۳۹۰: ۱۸۵-۱۶۵). با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران و ارتفاع نسبتاً بالای بیشتر مناطق آن از سطح دریا و همچنین ورود توده هوای متفاوت به این سرزمین، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیشتر نقاط کشور و در بعضی سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی کشور را در بر می‌گیرد و خسارات زیادی را به بار می‌آورد. بنابراین شناسایی الگوهای گردشی به وجود آورنده این پدیده حدی که هدف اصلی این مقاله است می‌تواند در پیش‌بینی‌های دقیق‌تر و همچنین مدیریت کاهش خسارات ناشی از آن بسیار کمک رسان باشد.

مطالعات فراوانی در خصوص تعیین الگوهای گردشی به وجود آورنده رخداد‌های فرین دمایی در سطح جهان (اسکوبار و همکار^۱، ۱۹۹۹: ۲۶۰-۲۵۳؛ اسکوبار و همکاران، ۲۰۰۴: ۸۹-۶۹؛ پیترزا و همکار^۲، ۲۰۰۵: ۲۴۱-۲۱۵؛ روستی کوچی و همکار^۳، ۱۹۹۵: ۳۰۰-۲۹۱؛ وان دن باسلر^۴ و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۳۹-۴۳۱) و ایران (لشکری، ۱۳۸۷: ۱-۱۸؛ لشکری و همکار، ۱۳۸۹: ۱۷۷-۱۵۱؛ علیجانی و همکار، ۱۳۸۷: ۱۶-۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹-۱) انجام گرفته است. اما مطالعاتی که اختصاصاً الگوهای گردشی مرتبط با یخبندان‌ها را مورد توجه قرار داده باشند، بسیار اندک هستند. پری‌یرا^۵ و همکاران (۱۹۹۲: ۱۱۸-۱۰۹) با تفکیک یخبندان‌ها به دو دسته یخبندان‌های تابشی و فرارفتی، منشاء همدیدی آنها را در لاس‌ویگاس^۶ در ویراکروز^۷ مکزیک مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند که منشاء یخبندان‌های فرارفتی، بادهای شمالی و یخبندان‌های تابشی عموماً بعد از بادهای شمالی و در شرایط آسمان‌های صاف رخ می‌دهند.

کاسومنوس^۸ و همکاران (۱۹۹۷: ۲۵۶-۲۴۹) در یک مطالعه موردی شرایط همدیدی به وجود آورنده یخبندان‌های اواخر ماه مارس ۱۹۹۴ را در مقدونیه مرکزی یونان با استفاده از یک مدل عددی شبیه‌سازی نمودند. شرایط همدیدی اواخر این ماه نشان می‌دهد یک جریان ضعیف باد، ناشی از یک گردش و اچرخندی و وجود یک گرادیان ضعیف فشار در منطقه

1 Escobar and Bischoff

2 Pezza and Ambrizzi

3 Rusticucci and Vargas

4 Van den Besselaar

5 Pereyra

6 Las Vigas

7 Veracruz

8 Kassomenos

باعث به وجود آمدن رخداد یخبندان در این منطقه شده است. مولر^۱ و همکاران (۲۰۰۰: ۱۶۳۷-۱۶۱۹) نیز گزارش می‌دهند یخبندان‌ها در ناحیه وت پامپاس آرژانتین دارای تغییرات سال به سال زیادی هستند که بخشی از این تغییرات را می‌توان توسط تغییرات گردش جوی در طول زمان وقوع رخداد ال نینو - نوسان جنوبی توجیه کرد. همچنین رابطه بین تشدید رودبادهای جنب حاره‌ایی با افزایش فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر در جنوب مرکز آمریکای جنوبی موضوعی است که توسط مولر و همکاران (۲۰۰۵: ۱۱۲-۹۵) تایید شده است. آنها تشدید این رودباد را مرتبط به تقویت یک گرادبان فشار در منطقه به سبب افزایش در فعالیت امواج روزبای می‌دانند.

در جنوب آمریکای جنوبی برای سال‌های با حداکثر فراوانی یخبندان‌ها نیز مشخص شده است که همواره یک آنومالی فشاری دو قطبی، که مرکز آنتی سیکلونی آن در شمال و مرکز سیکلونی آن در جنوب بر روی اقیانوس آرام قرار دارد، مشاهده می‌شود. این الگو شرایط را برای ورود آنتی سیکلون‌ها به درون قاره فراهم می‌کند. اما برای سال‌هایی که دارای حداقل فراوانی یخبندان‌ها بوده اند، یک آنومالی مثبت در فشار سطح دریا در شرق قاره مشاهده می‌شود که این الگو باعث ورود هوای گرم‌تر و مرطوب‌تر به درون ناحیه وت پامپاس و متعاقب آن کاهش فراوانی یخبندان‌ها می‌شود (مولر، ۲۰۰۷: ۱۳۸۷-۱۳۷۳).

بر مبنای مطالعات انجام شده در گذشته در خصوص الگوهای گردشی مسبب یخبندان‌های فراگیر در جنوب مرکز آمریکای جنوبی، این سوال در ذهن مولر و امبریزی (۲۰۰۷: ۶۴۵-۶۳۳) به وجود آمد که آیا الگوهای بزرگ مقیاس خاصی از طریق گسترش امواج رزبای بر وقوع فراوانی حداکثر این رخدادها اثر گذار هستند یا نه؟ آنها برای جواب دادن به این سوال ابتدا محدوده گسترش امواج رزبای را از طریق تعیین دامنه حداکثر و حداقل گسترش آنها تعیین نمودند. سپس مشخص کردند که در زمان وقوع یخبندان‌های فراگیر، موج بره‌ای قطبی و جنب حاره‌ای قبل از ورود به قاره آمریکای جنوبی با همدیگر ترکیب می‌شوند و این ترکیب، باعث افزایش ورود پی در پی امواج سرد به منطقه مورد مطالعه می‌شوند.

اما در ایران جابجایی سیستم‌های فشار از عرض‌های جغرافیایی بالاتر و بر خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های شدید و فراگیر و جابجایی از عرض‌های پایین‌تر و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های ضعیف و نیمه فراگیر منتهی می‌شود، ضمن اینکه استقرار محور فرود در ساحل شرقی مدیترانه غالباً نشانه ورود موج یخبندان در همان روز به ایران و تداوم به طور متوسط ۷ روزه آن است (براتی، ۱۳۷۵: چکیده). بهیار (۱۳۸۲: ۱۲۰-۱۰۷) وجود یک سامانه پرفشار بر روی سطح زمین و یک افزایش ناگهانی ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را عامل ایجاد یخبندان شدید ۲۶ آوریل ۲۰۰۰ شهرستان شهرکرد می‌داند. همچنین ایشان میزان گرمایی را که در زمان وقوع این یخبندان از محیط گرفته شده است ۷۱ برابر میانگین دوره پنج روزه محاسبه نموده است یعنی به طور میانگین ۷۱ ساعت طول می‌کشد تا به طور طبیعی این میزان گرما جبران و دوباره به محیط وارد شود. در یک ارزیابی همدیدی از یخبندان‌های فراگیر در نیمه غربی ایران مشاهده می‌شود که در تمام روزهایی که پدیده یخبندان رخ داده است، یک سیستم کم ارتفاع در

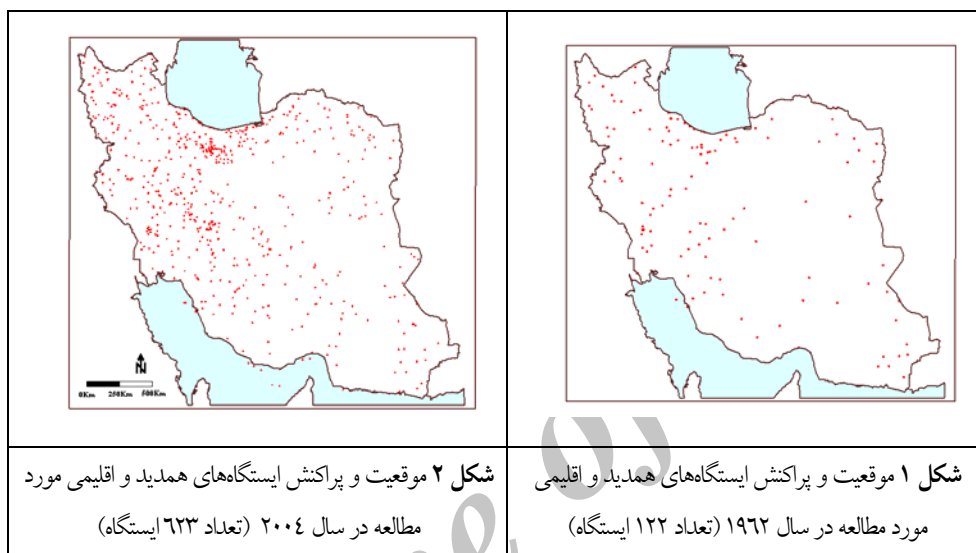
تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر مشاهده می‌شود، که این سیستم معمولاً با یک سیستم کم ارتفاع نسبتاً قوی در غرب خود و بر روی دریای مدیترانه همراه است. همچنین در روزهای یخبندان خطوط همدمای ۱۵- تا ۳۰- درجه سلسیوس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از روی ایران عبور می‌کند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۱۶-۹۹). فتاحی و همکار (۱۳۸۸: ۱۳۶-۱۲۷) نیز با انجام تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های روزانه، فشار سطح زمین و تراز ارتفاعی ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران را شناسایی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تیپ‌های هوای پرفشار اروپای شمالی، پرفشار سبیری و پرفشار اروپای شرقی بیشترین تاثیر را در رخداد یخبندان‌های شدید و فراگیر ایران داشته‌اند؛ به طوری که این تیپ‌های هوا جریانات سرد قطبی را از عرض‌های جغرافیایی بالا به سوی عرض‌های پایین منتقل کرده و به دنبال آن یخبندان‌های شدید و فراگیر را به وجود می‌آورند.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی، می‌توانیم یخبندان‌ها را به سه گروه دسته بندی کنیم: ۱- یخبندان‌های فراگیر؛ ۲- دوم یخبندان‌های نیمه فراگیر؛ ۳- یخبندان‌های جزئی. هدف این تحقیق، بررسی مشخصات و ویژگی‌های میانگین سالانه، فصلی و ماهانه الگوهای گردش جوی مرتبط با وقوع حداقل و حداکثر فراوانی یخبندان‌های فراگیر ایران است. این تجزیه و تحلیل‌ها در جهت شناخت مکانیسم‌های فیزیکی به وجود آورنده یخبندان‌های گروه اول، یعنی یخبندان‌های فراگیر، بسیار می‌تواند کمک رسان باشد. در نهایت نتایج به دست آمده از هر دو گروه (یعنی حداقل و حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر) با یکدیگر مقایسه می‌شوند. از این راه الگوهای مختلف گردش اتمسفری که باعث ایجاد یخبندان‌های فراگیر می‌شوند شناسایی می‌گردند. نتایج حاصل از این مطالعه این امکان را جهت تشخیص انواع مختلف یخبندان‌ها در ایران را فراهم می‌کند. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه کمک شایانی در بهبود پیش بینی‌های این رخداد و کاهش اثرات منفی آن خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت شناسایی ناهنجاری‌های همدمی مرتبط با یخبندان‌های فراگیر ایران به دو پایگاه داده نیاز است: یکی پایگاه داده‌های جوی، که چگونگی جریان‌های جوی را مشخص می‌کند و دیگری پایگاه داده‌های رویداد سطحی. داده‌های سطحی مورد بررسی در این پژوهش شامل تمامی اندازه‌گیری‌های دمای حداقل روزانه ۶۶۳ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم شناسی کشور با دوره آماری ۴۳ ساله (۲۰۰۴-۱۹۶۲) برای ماه‌های اکتبر تا آوریل است که از سازمان هواشناسی ایران اخذ شد. داده‌های جوی لازم برای این پژوهش نیز از پایگاه داده‌های مرکز ملی پیش بینی محیطی-مرکز ملی پژوهش‌های جوی^۱ NCEP/NCAR برداشت شد. این داده‌ها در تارنمای (www.cdc.noaa.gov) در دسترس هستند.

پس از آماده کردن پایگاه داده ای دمای حداقل کشور، نقشه‌های همدمای کشور از ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ به مدت ۹۱۱۶ روز به روش کریجینگ میانجیابی شد. لازم به اشاره است که تعداد ایستگاه‌ها در هر کدام از سال‌های مورد مطالعه متفاوت بوده است؛ به طوری که تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی در سال ۱۹۶۲، ۱۲۲ ایستگاه (شکل ۱) و در سال ۲۰۰۴، ۶۶۳ ایستگاه (شکل ۲) بوده است.



در ادامه یخبندان‌ها (یعنی آن روزهایی که درجه حرارت مساوی یا کمتر از صفر درجه سلسیوس است) به سه گروه تقسیم می‌شوند: یخبندان‌های جزئی، یخبندان‌های نیمه فراگیر و یخبندان‌های فراگیر. بر اساس معیارهای تعریف شده زیر، هر روز در یکی از گروه‌های سه گانه بالا به شرح ذیل طبقه بندی شدند:

- یخبندان‌های جزئی: یخبندان هائی هستند که درصد مساحت همراه با یخبندان برابر یا کمتر از ۲۵ درصد کل مساحت ایران باشند.
- یخبندان‌های نیمه فراگیر: یخبندان‌هایی هستند که میزان مساحت دارای یخبندان ۲۵ تا ۶۵ درصد کل مساحت ایران را شامل شوند.
- یخبندان‌های فراگیر: یخبندان‌هایی هستند که حدود ۶۵ درصد و بیشتر مساحت در ایران یخبندان را تجربه کرده باشند.

در ادامه، فرین‌های فراوانی روزهای وقوع یخبندان‌ها به طور جداگانه برای گروه یخبندان‌های فراگیر که یک واحد انحراف معیارپائین تر ($-\sigma$) و یا بالاتر ($+\sigma$) از میانگین بلندمدت دوره ۱۹۶۲-۲۰۰۴ هستند، انتخاب می‌گردند. جدول شماره ۱ سال‌هایی را که با حداکثر ($+\sigma$) و حداقل ($-\sigma$) وقوع روزهای یخبندان در دوره‌های مختلف انتخاب شده مطابقت دارند، نشان می‌دهد. مشخصات دوره‌های مستقل انتخاب شده به شرح زیر هستند:

- سالانه (از اکتبر تا آوریل)
- فصلی (پاییز [اکتبر و نوامبر]، زمستان [دسامبر، ژانویه و فوریه] و بهار [مارس و آوریل])
- و ماهانه.

جدول ۱ سال‌های با فراوانی وقوع پدیده حدی یخبندان‌های فراگیر برای دوره‌های مورد مطالعه

	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	بهار	زمستان	پاییز	سالانه
(+)	۱۹۳۷-۱۹۶۵	۱۹۳۷-۱۹۶۷	۱۹۷۴-۱۹۷۲		۱۹۶۵-۱۹۶۴	۱۹۶۹-۱۹۶۲	۱۹۸۴	۱۹۷۶-۱۹۶۷	(۷۴-۷۴)	۱۹۶۹-۱۹۶۲	(۶۴-۶۵)
	۱۹۹۷-۱۹۸۱	۱۹۸۳-۱۹۸۲	۱۹۸۲-۱۹۷۷		۱۹۷۳-۱۹۷۲	۱۹۷۵-۱۹۷۳		۱۹۸۳-۱۹۸۲	(۷۶-۷۷)	۱۹۷۵-۱۹۷۳	(۶۶-۶۷)
		۱۹۶۶-۱۹۸۵	۱۹۸۹-۱۹۸۴		۱۹۷۵-۱۹۷۴	۱۹۷۸-۱۹۶۶		۱۹۸۶-۱۹۸۵	(۸۰-۸۰)	۱۹۷۸-۱۹۶۶	(۷۴-۷۴)
		۱۹۹۲-۱۹۹۰			۱۹۸۴-۱۹۸۲	۱۹۸۲-۱۹۷۹		۱۹۹۲-۱۹۹۰	(۸۱-۸۲)	۱۹۸۲-۱۹۷۹	(۷۶-۷۵)
		۲۰۰۰-۱۹۹۷				۱۹۸۸		۲۰۰۰-۱۹۹۷	(۸۳-۸۳)	۱۹۸۸	(۷۹-۸۰)
											(۸۴-۸۳)
(-)	۱۹۶۹-۱۹۶۴	۱۹۶۹-۱۹۶۸	۱۹۶۳-۱۹۶۲	۱۹۶۶-۱۹۶۳	۱۹۷۸-۱۹۶۸	۱۹۷۰-۱۹۶۸		۱۹۶۹-۱۹۶۴	(۶۳-۶۳)	۱۹۷۰-۱۹۶۸	(۶۵-۶۶)
	۱۹۷۸-۱۹۷۷	۱۹۸۰-۱۹۷۷	۱۹۷۰-۱۹۶۶	۱۹۸۵-۱۹۶۶	۱۹۸۸-۱۹۹۱	۱۹۸۰-۱۹۷۱		۱۹۷۸-۱۹۷۷	(۶۵-۶۶)	۱۹۸۰-۱۹۷۱	(۹۸-۹۹)
	۱۹۹۴-۱۹۸۴	۱۹۹۴-۱۹۸۴	۲۰۰۳-۱۹۹۹	۱۹۹۹-۱۹۹۴	۲۰۰۱-۲۰۰۰	۱۹۸۴-۱۹۸۳		۱۹۹۴-۱۹۸۴	(۷۸-۷۹)	۱۹۸۵-۱۹۸۳	(۲۰۰-۲۰۰۱)
	۱۹۹۶	۱۹۹۶	۲۰۰۴	۲۰۰۴-۲۰۰۲	۱۹۹۴-۱۹۸۵	۱۹۹۴-۱۹۸۵		۱۹۹۶	(۹۸-۹۹)	۱۹۹۸-۱۹۹۴	(۲۰۰۱-۲۰۰۲)
					۱۹۹۸	۱۹۹۸			(۲۰۰۱-۲۰۰۲)		(۲۰۰۳-۲۰۰۴)

با مشخص شدن دو گروه از یخبندان‌های دارای حداکثر و حداقل فراوانی، نقشه‌های مرکبی از متغیرهای گوناگون هواشناسی، که با شرایط تعریف شده برای هر گروه مطابقت داشت، فراهم گردید. متغیرهای مورد استفاده جهت تشریح ناپهنجاری‌های استخراج شده عبارتند از: فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح بالا و پایین، دمای سطح زمین، رطوبت در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، بردار باد در سطح ۸۵۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال، به انضمام باد مداری و نصف النهاری در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال. ناپهنجاری‌ها - همان گونه که گفته شد - با توجه به دوره اقلیم شناسی (۱۹۶۲-۲۰۰۴) برای هر سه زیر دوره سالانه، فصلی و ماهانه استخراج گردیدند. داده‌های مورد استفاده در این قسمت، داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز پیش بینی زیست محیطی (NCEP) با قدرت تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه است.

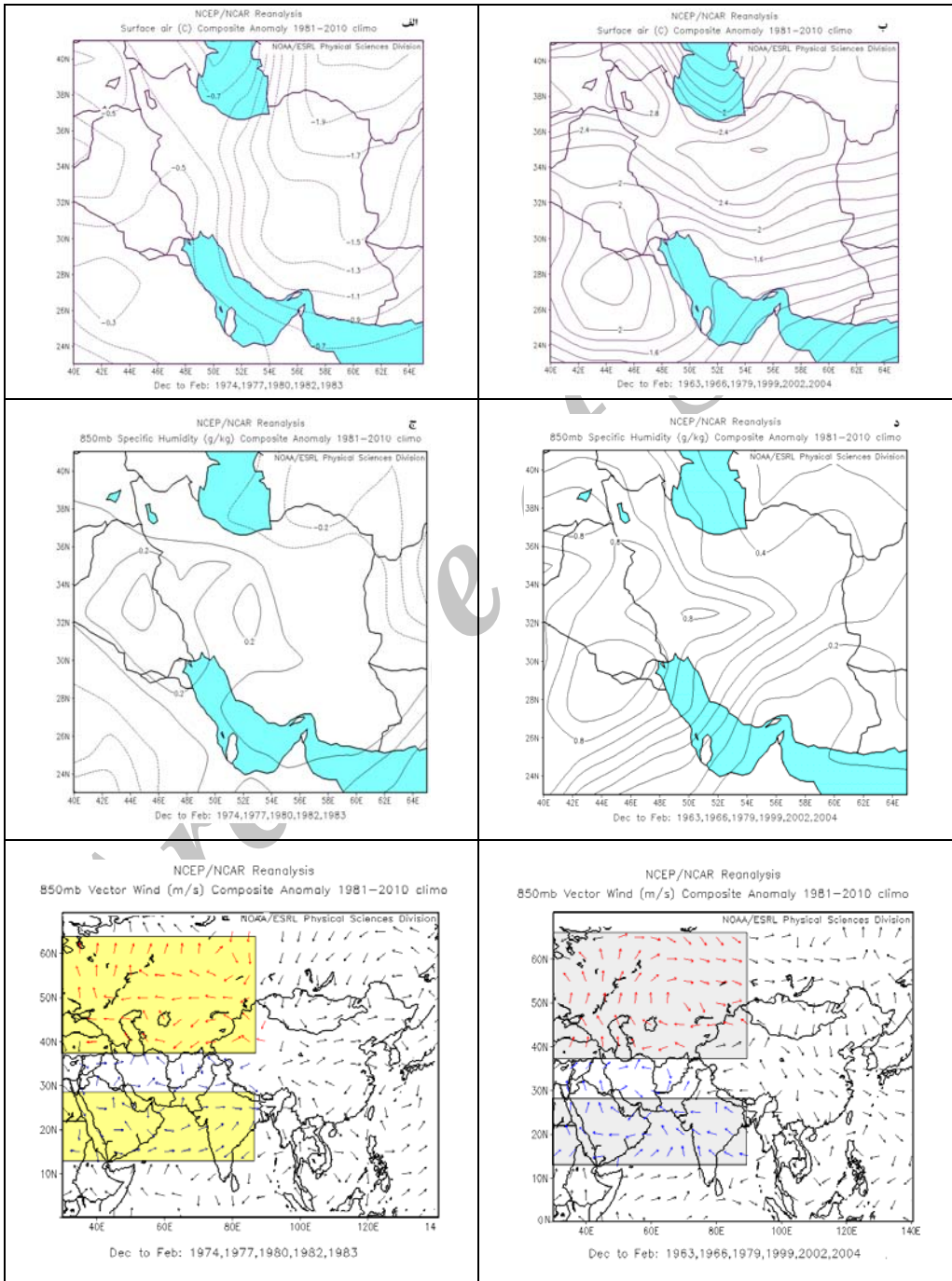
بحث و نتایج

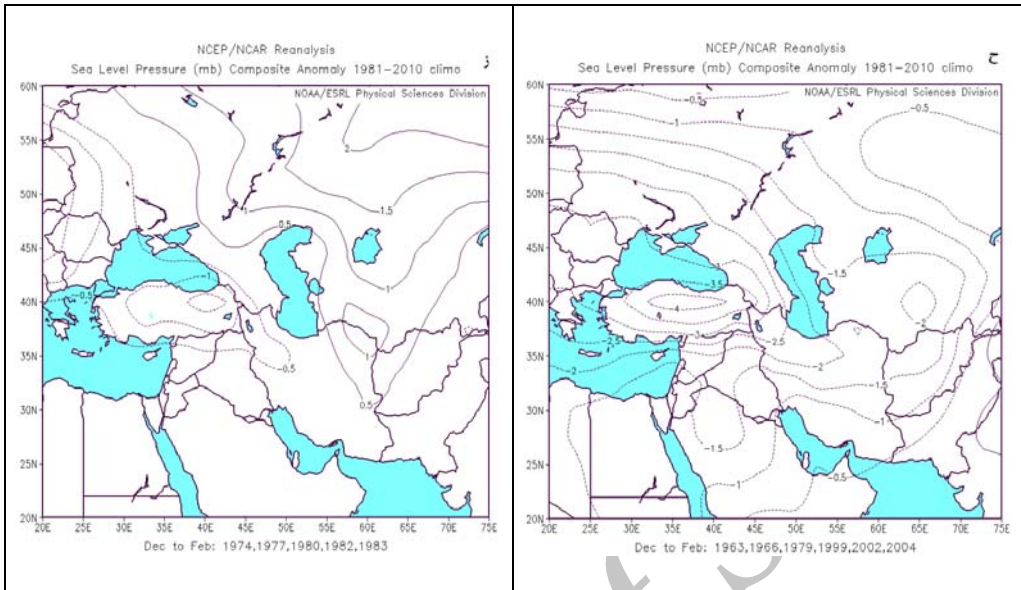
زمانی که نقشه‌های مرکب هر کدام از سال‌های دارای حداقل ($-\sigma$) و حداکثر ($+\sigma$) فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر تهیه شد (جدول ۱) مشاهده گردید رفتارهای متضادی در رفتار متغیرهای مورد مطالعه در هر کدام از فرین‌های حداقل و حداکثر در بسیاری از دوره‌های تحلیل شده وجود دارد. در این مورد، نقشه‌های مرکب ناپهنجاری‌های دمایی سطح زمین در زمان وقوع یخبندان‌های فرین فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) در شکل ۳ (الف) و (ب) با مقادیر منفی برای حداکثر فراوانی روزهای دارای یخبندان ($+\sigma$) و مقادیر مثبت برای حداقل فراوانی روزهای دارای یخبندان ($-\sigma$) نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رفت در مقایسه نقشه‌های مرکب فصل زمستان با نقشه‌های

به دست آمده برای فصل پاییز، فصل بهار و سالانه مشاهده شد که مشابهت‌های زیادی بین آنها وجود دارد. همچنین یک رابطه مشابه برای نابهنجاری‌های رطوبتی، همان‌طور که در شکل شماره ۳ (ج) و (د) نشان داده شده است، وجود دارد. همچنین با ملاحظه نقشه‌های مرکب نابهنجاری باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در طول زمستان‌های دارای حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر (شکل ۳ (ه)) مشاهده شد که یک نابهنجاری در الگوهای گردشی روی اقیانوس هند (دریای عرب) و همچنین یک نابهنجاری در الگوهای گردشی واقع بر روی دریای مدیترانه قابل مشاهده است. همین نابهنجاری‌ها برای زمستان‌های دارای حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر نیز قابل مشاهده است، اما تقریباً با وضعیتی بر عکس وضعیت مشاهده شده برای الگوهای با حداکثر یخبندان‌های فراگیر (شکل ۳ (و)). دوره‌های سالانه و دو فصل بهار و پاییز نیز ویژگی‌های بسیار مشابهی با فصل زمستان نشان دادند که علت آن را می‌توان در مشابه بودن سال‌های انتخاب شده جستجو نمود (جدول ۱). به همین علت از آوردن نقشه‌های مرکب سالانه و دو فصل بهار و پاییز خودداری شده است.

فشار اتمسفری سطح دریا نیز در سال‌های با حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر ($+ \sigma$) با یک الگوی دو قطبی، با حداکثر نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۵۵ درجه شمالی و یک حداقل نابهنجاری منفی در شمال غرب ایران در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۴۰ درجه شمالی مشخص می‌شود (شکل ۳ (ز)). مقایسه نقشه‌های مرکب الگوهای سالانه و فصلی (پاییز و بهار) با الگوهای فصل زمستان حاکی از وجود همان الگوها، اما با فراوانی و گسترش مکانی کمتری نسبت به الگوهای فشار فصل زمستان است. از طرف دیگر، برای سال‌هایی با حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر ($- \sigma$) (شکل ۳ (ح))، شاهد یک نابهنجاری منفی بسیار قوی در شمال غرب ایران با مرکزیت آن بر روی ترکیه هستیم، که تمام ایران را حتی تا جنوب شرق آن در بر گرفته است. این الگوها، تفاوت بین فرین‌های حداقل و حداکثر روزهای یخبندان فراگیر در ایران را از لحاظ هم‌دیدي تشریح می‌کند، بنابراین، اگر سامانه پرفشاری که در شمال شرق ایران مستقر شده است، تقویت شود به دلیل فراهم شدن شرایط ورود این سیستم‌ها به داخل ایران، شاهد افزایش تعداد روزهای یخبندان‌های فراگیر در ایران هستیم. الگوی هم‌دیدي به دست آمده با موقعیت آنتی سیکلون‌های به وجود آورنده سرماهای فرین ایران مطابقت دارد. این الگوها توسط مسعودیان و دارند (۱۳۹۰: ۱۸۵-۱۶۵) که با استفاده از یک طبقه بندی اقلیمی سینوپتیکی، الگوهای گردش اتمسفری سرماهای فرین ایران را (که روزهای با شرایط یخبندان‌های گروه فراگیر را نیز شامل می‌شد) استخراج نموده بودند، مطابقت دارد. از این گذشته، فرین‌های حداقل، زمانی رخ می‌دهند که یک نابهنجاری منفی قوی بر روی ترکیه در شمال غرب ایران و یک نابهنجاری منفی ضعیف در شمال شرق ایران مستقر گردد. در این شرایط، شاهد کاهش شدت کانون مرکزی پرفشار سیبری در شمال شرق ایران و در نتیجه، کاهش گستردگی نفوذ زیانه‌های این پرفشار به داخل ایران هستیم. در شمال غرب نیز شاهد کاهش فشار سیستم‌های پرفشار هستیم. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات براتی (۱۳۷۵: ۲۱۳-۱) جابجایی سیستم‌ها از عرض‌های

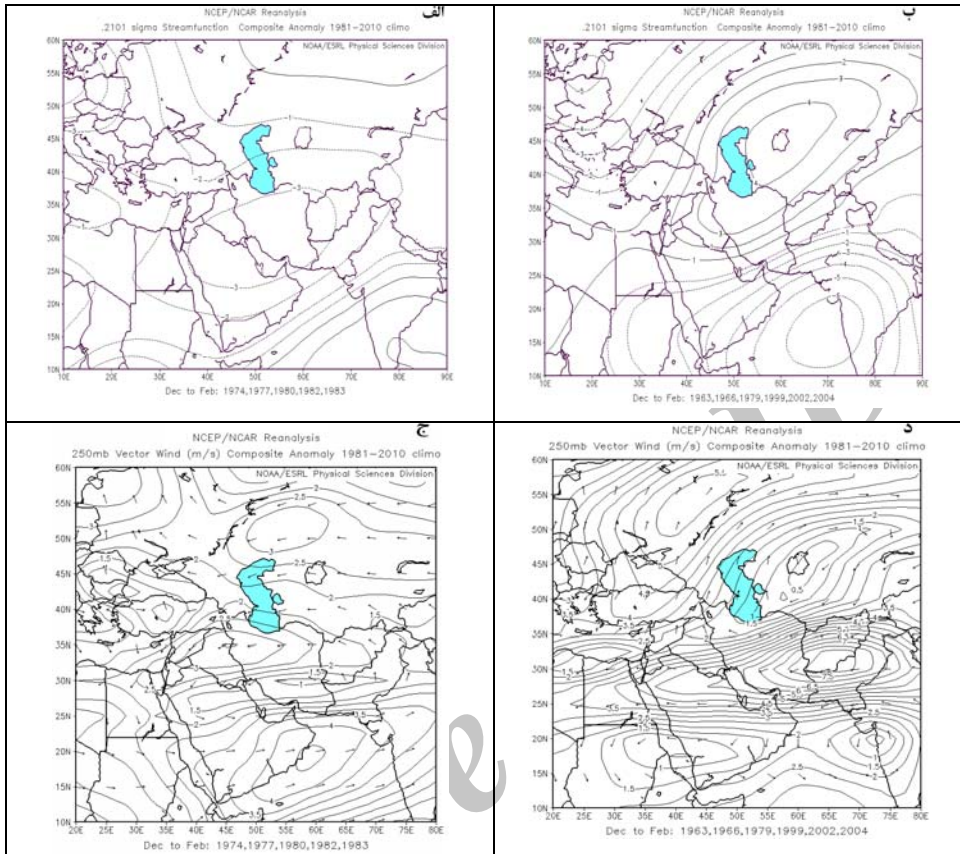
جغرافیایی پایین تر و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های ضعیف و نیمه فراگیر منتهی می‌شود. این سیستم‌ها دارای برودت کمتر و در نتیجه مانع افزایش یخبندان‌های فراگیر گسترده بر روی کشور می‌شوند.





شکل ۳ نابهنجاری‌های دمای سطحی ($^{\circ}\text{C}$) (الف)-(ب)، رطوبت ویژه (g Kg^{-1}) در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (ج)-(د)، باد برداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (ه)-(و)، فشار سطح دریا (hPa) (ز)-(ح)، برای نقشه‌های مرکب یخبندان‌های فراگیر برای دوره زمستان $+\sigma$ (سمت چپ) و زمستان $-\sigma$ (سمت راست). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

برای هر دوی حداکثر ($+\sigma$) و حداقل ($-\sigma$) فراوانی وقوع روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، نقشه‌های مرکب سطوح فوقانی منطبق بر دوره‌های سالانه و فصلی ترسیم گردیدند. این نقشه‌ها نیز همچون نقشه‌های مرکب تهیه شده در قبل، پیکربندی‌های مختلفی را برای فصل زمستان نشان می‌دهد. چنانکه در شکل شماره ۴ (الف) مشاهده می‌شود، یک نابهنجاری منفی از تابع جریان سرتاسر ایران را در سطوح فوقانی در بر گرفته است که این نابهنجاری باعث ایجاد گردش سیکلونی در سطوح فوقانی و متعاقب آن کاهش سرعت رودباد بر روی ایران می‌گردد. این نابهنجاری در کاهش سرعت رودباد و همچنین جهت وزش باد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال به طور مشخص در شکل شماره ۴ (ج) قابل مشاهده است. اما در زمستان‌های با حداقل فراوانی روزهای یخبندان ($-\sigma$)، یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان در نیمه شمالی ایران و یک نابهنجاری منفی در نیمه انتهایی جنوب ایران قابل مشاهده است (شکل ۴ (ب))؛ بنابراین، در نیمه شمالی ایران یک نابهنجاری آنتی سیکلونی و در نیمه جنوبی آن یک نابهنجاری سیکلونی حاکم است که نتیجه آن تقویت و تشدید رودباد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال بر روی ایران است (شکل ۴ (د)).

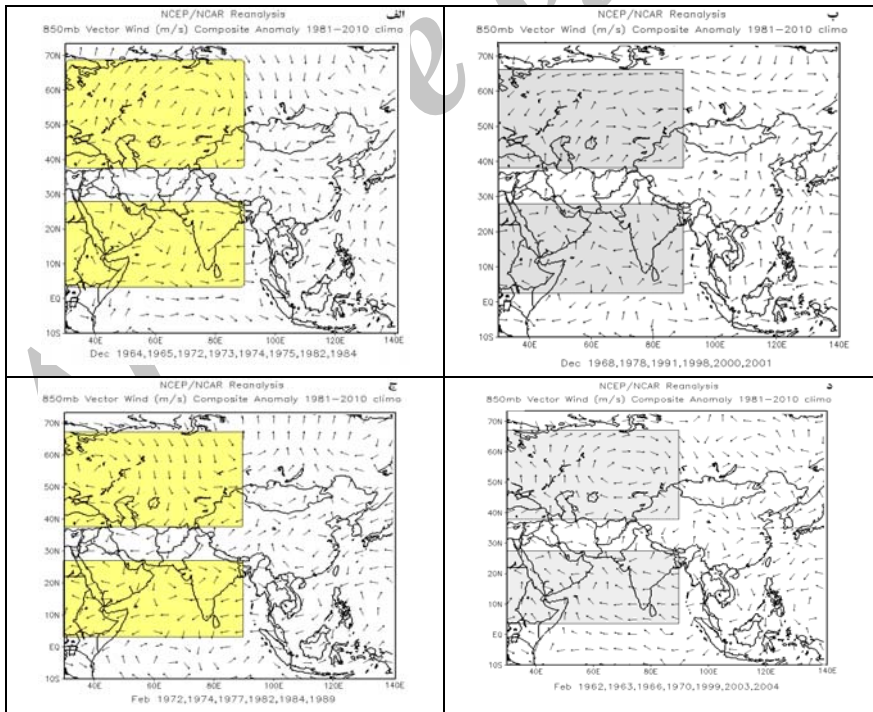


شکل ۴ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (الف)-(ب)، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (ج)-(د)، برای نقشه‌های مرکب گروه یخبندان‌های فراگیر برای فصل زمستان $\sigma +$ (سمت چپ) و فصل زمستان $\sigma -$ (سمت راست). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

در تحلیل‌های ماهانه میانگین گردش آتمسفری نیز ابتدا برای هر کدام از ماه‌های مورد مطالعه، دو پارامتر دمای هوا و رطوبت ویژه مورد بررسی قرار گرفتند. در مورد دمای هوا، الگوهای ماهانه از اکتبر تا آوریل حاکی از همسان بودن الگوهای نابهنجاری این ماه‌ها با الگوهای فصل زمستان هستند (شکل شماره ۳، الف و ب). در مورد رطوبت ویژه نیز تجزیه و تحلیل‌های ماه به ماه هیچ تغییری را با فصل زمستان نشان نمی‌دهد؛ یعنی کل ایران برای ماه‌های با حداقل روزهای یخبندان دارای نابهنجاری مثبت و برای حداکثر روزهای یخبندان دارای نابهنجاری منفی است؛ بنابراین، از آوردن نقشه‌های مرکب آنها اجتناب گردیده است (شکل ۳، ج و د).

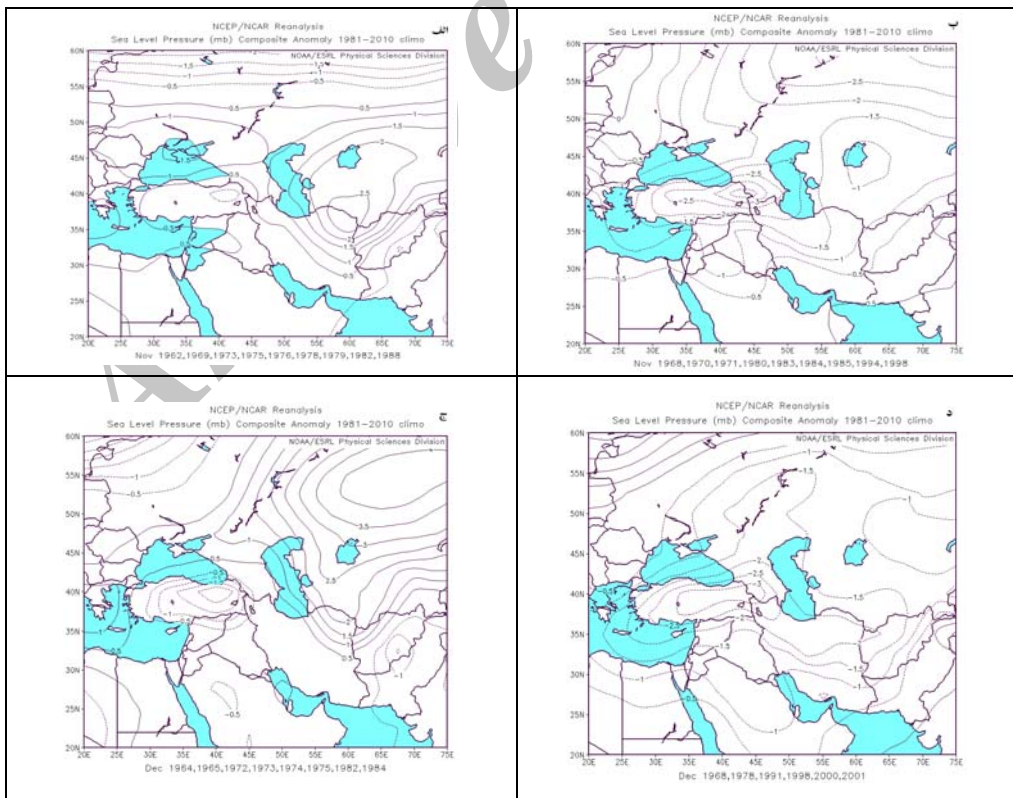
نقشه‌های مرکب ماهانه نابهنجاری‌های بردار باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای حداقل وقوع روزهای یخبندان $\sigma -$ (شکل ۵، قسمت راست پانل) نیز نشان می‌دهد در ماه دسامبر در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال ایران و تقریباً در حد

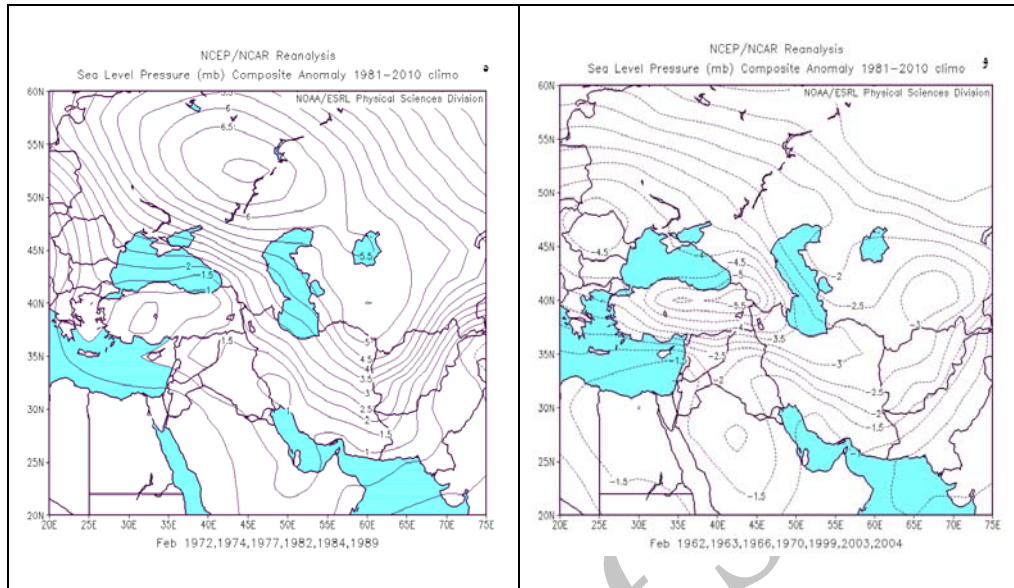
فاصل ۴۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی جریانات دارای یک گردش نامنظم شبه چرخندی و در جنوب ایران بر روی اقیانوس هند تقریباً در حد فاصل ۱۰ تا ۲۵ درجه عرض شمالی دارای یک گردش واپرخندی قوی هستند (شکل شماره ب - ۵) همچنین یک نابهنجاری چرخندی بر روی دریای مدیترانه نیز قابل مشاهده است این حاکی از نفوذ و استیلای بیشتر جریانات گرم و مرطوب جنوبی بر جریانات سرد و خشک شمالی بر روی ایران در این ماه است. در ماه فوریه نیز بردار باد با اندکی تغییرات همان جهت‌های ماه دسامبر را در قسمت شمالی و جنوبی ایران نشان می‌دهد؛ به طوری که در شمال ایران بردار باد دارای یک گردش واپرخندی مشخص است که هسته مرکزی این گردش در شمال شرقی ایران واقع شده است (شکل شماره د - ۵). در عوض، برای حداکثر وقوع روزهای یخبندان σ + (قسمت چپ پانل) یک وضعیت غیر معمول در نقشه‌های مرکب ماه دسامبر مشاهده می‌شود به طوری که جهت بردار باد در قسمت شمالی ایران دارای یک گردش واپرخندی است که این نوع گردش بر روی دریای مدیترانه نیز قابل مشاهده است. در جنوب ایران نیز یک گردش واپرخندی ضعیف و با گستردگی کم قابل مشاهده است (شکل الف - ۵) در ماه فوریه نیز این وضعیت غیر معمول، اما با مقداری تفاوت مشاهده می‌شود (شکل شماره ج - ۵). این تفاوت در جریان‌ها باعث می‌شود نابهنجاری‌های دمایی نیز محسوس‌تر گردد. در ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل نیز نقشه‌های مرکب با کمی تفاوت حاکی از شبیه بودن الگوهای این ماه با میانگین الگوهای فصلی زمستان می‌باشد.



شکل ۵ نابهنجاری باد برداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای نقشه‌های مرکب گره یخبندان‌های فراگیر σ + (سمت چپ) و σ - (سمت راست)، دسامبر (الف) - (ب) و فوریه (ج) - (د)

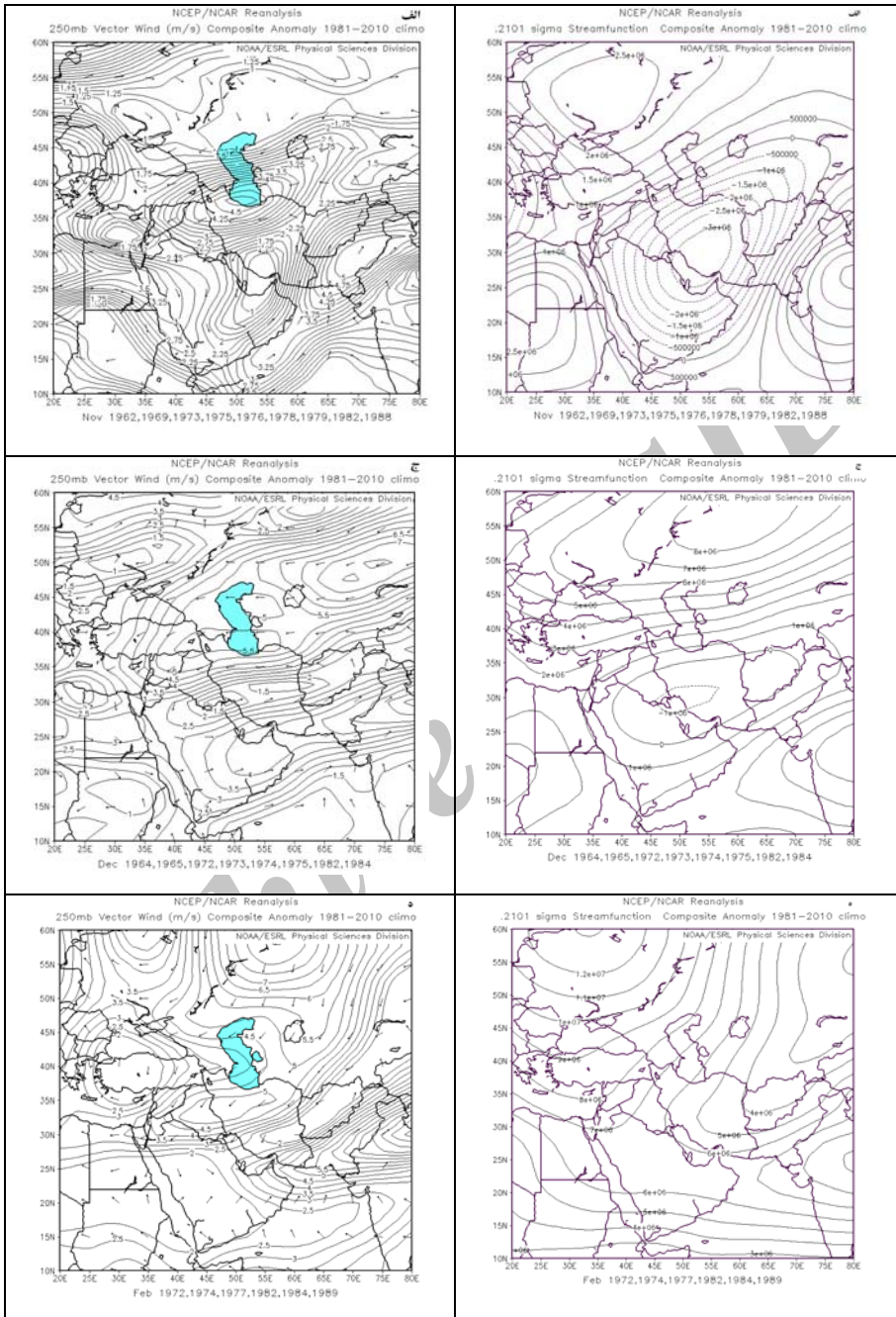
شکل ۶ نقشه‌های مرکب فشار سطح دریا را برای ماه‌های نوامبر، دسامبر و فوریه برای حداقل فراوانی روزهای یخبندان (قسمت راست پانل) نشان می‌دهند. هرچند این نقشه‌ها تفاوت هائی جزئی با یکدیگر دارند، اما در کل، در زمان وقوع حداقل فراوانی روزهای یخبندان‌های فراگیر، سرتاسر ایران شاهد یک نابهنجاری منفی در فشار سطح دریا است. هسته بیشترین نابهنجاری‌ها نیز در شمال غرب ایران است که با نابهنجاری‌هایی که در جهت باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال ایران مشاهده گردیده بودند و پیش‌تر نیز تشریح شده‌اند، تطابق دارند. برای حداکثر وقوع روزهای یخبندان $+5$ (قسمت چپ پانل) یک نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران در ماه آگوست مشاهده می‌شود که زبانه‌ای از آن سرتاسر مرکز ایران از شمال غرب تا جنوب شرق را در امتداد رشته کوه‌های زاگرس در بر گرفته است (شکل الف - ۶)، در ماه دسامبر نیز (شکل شماره ج - ۵) این نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران دوباره مشاهده می‌شود؛ با این تفاوت که در شمال غرب ایران و بر روی ترکیه یک نابهنجاری منفی از فشار سطح دریا که در ماه نوامبر به صورت یک هسته بسیار کوچک وجود داشت؛ در این ماه گسترش مکانی بیشتری پیدا کرده است. اما در ماه فوریه (شکل شماره ه - ۶) نابهنجاری‌های مثبت تقریباً سرتاسر ایران را پوشش داده‌اند. به طوری که در این ماه یک نابهنجاری آنتی سیکلونی گسترده به سمت ایران گسترش یافته است. این الگو که با نابهنجاری‌های باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه در ارتباط است (شکل ج - ۵)، حکایت از ریزش جریانات سرد شمالی در طول این ماه بر روی ایران دارند.





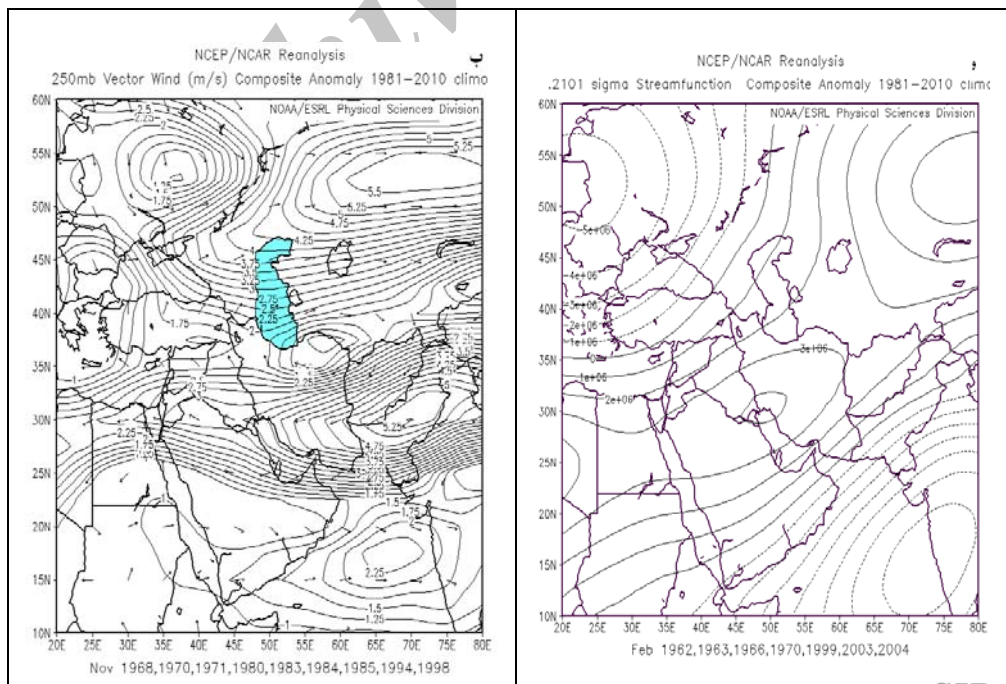
شکل ۶ نابهنجاری فشار سطح دریا (hPa) برای نقشه‌های مرکب گروه یخبندان‌های فراگیر σ + (سمت چپ) و σ - (سمت راست)،
 نوامبر (الف) - (ب) و دسامبر (ج) - (د)، فوریه (ه) - (و). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

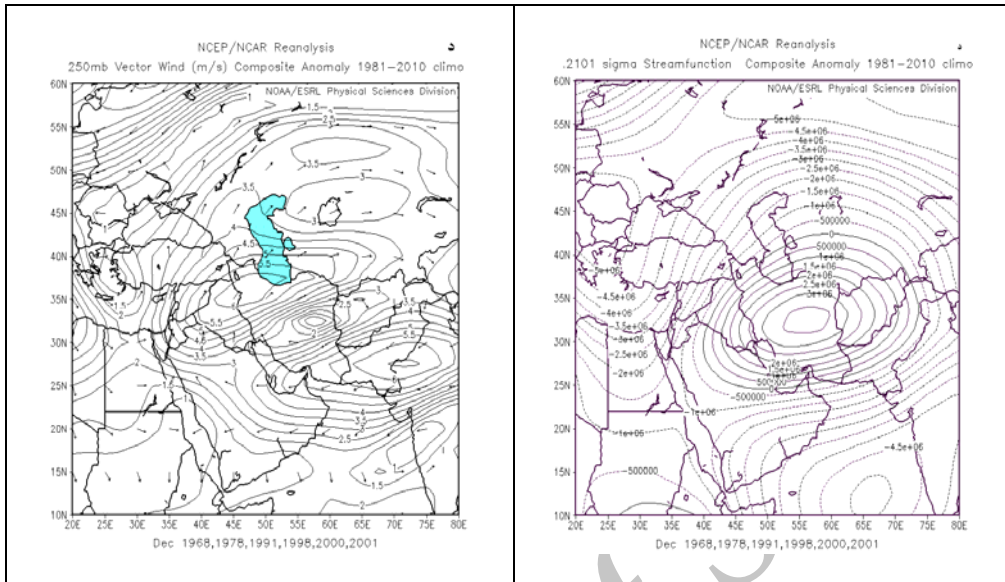
نقشه‌های مرکب نابهنجاری‌های ماهانه تابع جریان و ماهانه بردار باد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال برای سه ماه نوامبر، دسامبر و فوریه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. نقشه‌های مرکب تهیه شده برای ماه نوامبر با حداکثر فراوانی وقوع روزهای یخبندان فراگیر یک نابهنجاری منفی از تابع جریان را بر روی کل ایران نشان می‌دهد (شکل الف - ۷ سمت راست پانل) که حاکی از یک جریان چرخندی بر روی ایران دارد (شکل الف - ۷ سمت چپ پانل). اما در ماه دسامبر کل ایران تحت تأثیر یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان است (شکل ج - ۷ سمت راست پانل) که باعث ایجاد گردش و اچرخندی در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال بر روی ایران می‌گردد (شکل ج - ۷ سمت چپ پانل). در ماه فوریه نیز همان نابهنجاری مثبت از تابع جریان بر روی ایران مشاهده می‌شود (شکل ه - ۷ سمت چپ پانل) که باعث گردش و اچرخندی در سطوح فوقانی بر روی ایران می‌شود (شکل ه - ۷ سمت راست پانل). نقشه‌های مرکب تهیه شده برای دیگر سایر ماهها، گویای همان نابهنجاری‌های تک قطبی اما با شدت و ضعف‌های مختلف بر روی ایران بوده است. این نابهنجاری‌های تک قطبی از تابع جریان، باعث کاهش سرعت رودباد در سطوح فوقانی جو بر روی ایران می‌گردند. به عبارت دیگر برای ماه‌ها، فصول و سال‌های دارای حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، میانگین سرعت رودباد بر روی ایران کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (الف)-(ج) و (ه) سمت راست پانل، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (الف)-(ج) و (ه) سمت چپ پانل برای نقشه‌های مرکب گروه حداکثر یخبندان‌های فراگیر برای ماه‌های نوانبر، دسامبر و فوریه. خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

از طرف دیگر، نقشه‌های مرکب تهیه شده برای ماه‌های دارای حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر نشان می‌دهد که در ماه نوامبر دو نابهنجاری از تابع جریان یکی با علامت مثبت بر روی نیمه شمالی و دیگری با علامت منفی بر روی نیمه جنوبی ایران قابل مشاهده است (شکل ب - ۸) سمت چپ پانل). این نابهنجاری‌ها باعث ایجاد گردش و اچرخندی بر روی نیمه شمالی و گردش چرخندی بر روی نیمه جنوبی ایران می‌شود (شکل ب - ۸) سمت راست پانل). با توجه به شکل د - ۸) سمت چپ پانل مشاهده می‌شود در ماه دسامبر یک هسته نابهنجاری منفی از تابع جریان کل ایران را فراگرفته است که این هسته نابهنجار باعث ایجاد گردش و اچرخندی بر روی ایران می‌شود. همچنین در جنوب ایران و در فاصله‌ای دورتر و بر روی دریای عرب نیز یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان مشاهده می‌شود که این تابع جریان مثبت با یک گردش چرخندی ایجاد می‌کند (شکل د - ۸) سمت راست پانل). در ماه فوریه نیز همان شرایط ماه دسامبر، اما با اندکی تفاوت مشاهده می‌شود؛ یعنی یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان بر روی کل ایران و یک نابهنجاری منفی از تابع جریان در جنوب آن مشاهده می‌شود (شکل و - ۸) سمت چپ پانل) که بر اساس توضیحات ارائه شده در بالا این نابهنجاری‌ها باعث ایجاد یک گردش و اچرخندی بر روی ایران و یک گردش چرخندی در جنوب آن می‌گردد (شکل و - ۸) سمت راست پانل). در دیگر ماه‌های مورد مطالعه نیز همین نابهنجاری‌های دو قطبی مشاهده می‌شود که این نابهنجاری‌های دو قطبی باعث افزایش سرعت رودباد بر روی ایران می‌شوند.





شکل ۸ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (ب)-(د) و (و) سمت راست پانل، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (ب)-(د) و (و) سمت چپ پانل برای نقشه‌های مرکب گروه حداقل یخبندان‌های فراگیر برای ماه‌های نوامبر، دسامبر و فوریه. خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

بر اساس یک معیار مکانی، یخبندان‌ها در ایران به سه دسته: یخبندان‌های فراگیر، نیمه فراگیر و جزئی تقسیم بندی شدند و سپس نابهنجاری‌های میانگین گردش عمومی جو برای سال‌ها، فصل‌ها و ماه‌هایی که دارای حداکثر و حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر بودند، مورد بررسی قرار گرفت.

در سطوح پایینی اتمسفر برای حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، یک نابهنجاری فشاری دو قطبی با یک مقدار مثبت در شمال شرق و یک مقدار منفی ضعیف در شمال غرب ایران بر روی کشور ترکیه مشاهده می‌شود (این موقعیت اندکی در ماه‌های مختلف جابجا و تضعیف می‌شوند). بر اساس این نابهنجاری، پیکربندی الگوهای فضایی این گروه از یخبندان‌ها به گونه‌ای خواهد شد که شرایط برای ورود و اچرخندها هم از جانب شمال شرق و هم از جانب شمال غرب به ایران فراهم می‌شود؛ به عبارت دیگر، با تقویت پرفشار سیبری و گسترش زبانه غربی آن بر روی دریای مدیترانه شرایط برای استقرار یک سامانه پرفشار بر روی این دریا فراهم می‌شود که نتیجه این استقرار، عقب راندن زبانه سامانه کم فشار موسمی سودان به عرض‌های جغرافیایی پایین تر و

همچنین مهیا شدن شرایط همدیدی برای ریزش هوای سرد از عرض‌های جغرافیایی بالاتر به سمت نیمه غربی ایران است. همین شرایط، نابهنجاری‌های بردار باد در سطوح پایینی اتمسفر را که در نقشه‌های مرکب فصل زمستان قابل مشاهده است را نیز توجیه می‌کند؛ به طوری که جهت بردار باد در قسمت شمالی غربی ایران دارای یک گردش و اچرخندی است که این نوع گردش بر روی دریای مدیترانه نیز قابل مشاهده است. در جنوب ایران نیز یک گردش و اچرخندی ضعیف و با گستردگی کم بر روی اقیانوس هند قابل مشاهده است.

برای حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر نیز مشاهده می‌شود که کل منطقه مورد مطالعه (۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۲۰ تا ۷۵ درجه شرقی) تحت سیطره یک نابهنجاری منفی است که کانون مرکزی شدت آن بر روی ترکیه قرار گرفته است. از این رو پیکربندی الگوهای فضایی این گروه نشان از تضعیف پرفشار سبیری و متعاقب آن عدم گسترش زبانه غربی آن تا دریای مدیترانه دارد که شرایط برای استقرار یک کم فشار با گردش چرخندی بر روی دریای مدیترانه فراهم می‌شود. این الگو با نابهنجاری باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز هماهنگ است، بنابراین تحت این شرایط و با گسترش زبانه کم فشار موسمی سودان و تزریق رطوبت از و اچرخند اقیانوس هند (دریای عرب) جو ایران شرایط مرطوب تر و گرمتری را تجربه می‌کند که این امر، باعث کاهش فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر بر روی ایران می‌شود.

میدان باد در سطوح بالا برای نقشه‌های مرکب حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر یک نابهنجاری تک قطبی از تابع جریان را عموماً با علامت مثبت (به استثنای ماه نوامبر) بر روی ایران نشان می‌دهد که این نابهنجاری تک قطبی باعث ایجاد گردش و اچرخندی (با استثنای ماه نوامبر) بر روی ایران می‌شود. این نابهنجاری تضعیف رودباد جنب حاره ائی بر روی ایران نشان می‌دهد؛ یعنی رودباد روی ایران که ضعیف تر از نرمال است با فراوانی بیشتری از وقوع یخبندان‌های فراگیر در ایران همراه است. اما در دوره‌هایی که با حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر روبرو بوده است، مشاهده شد که همواره نابهنجاری‌های تابع جریان دو قطبی بوده است به این صورت که بر روی ایران گردش و اچرخندی و در جنوب آن گردش چرخندی حاکم بوده است که تحت این شرایط چرخند جنوبی هوای گرم را به عرض‌های بالاتر و و اچرخند شمالی هوای سرد را به سمت عرض‌های پایین تر انتقال می‌دادند که در محل تلاقی این دو گردش سرعت رودباد افزایش پیدا می‌کند. بنابراین برای دوره‌های دارای حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان فراگیر میانگین سرعت رودباد بر روی ایران بیشتر از دوره‌های با یخبندان‌های فراگیر حداکثر بوده است.

References

- Alijani, B., and Houshyar, M. 2008. Synoptic origin of cold temperatures over the northwest of Iran. *Phys. Geogr. Res. Quart.* 65: 1-16. (In Persian with English Abstract)
- Azizi, G.H. 2004. Synoptic assessment of spring widespread frost in the west of Iran. *Modares Human Sciences* 32: 99-116. (In Persian with English Abstract)
- Azizi, G.H., Akbari, T., Davudi, M., and Akbari, M. 2010. A synoptic Analysis of January 2008 severe cold in Iran. *Phys. Geogr. Res. Quart.* 70: 1-19. (In Persian with English Abstract)
- Barati, G. 1996. Designing and forecasting the patterns of spring frost days in Iran. Dissertation, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
- Behyar, M.B. 2003. Investigation reason synoptic and dynamic freezing and chilling in Charmahal & Bakhtiary Province. *Geogr. Res. Quart.* 69: 107-120. (In Persian with English Abstract)
- Escobar, G. C. J., S. A. Bischoff., 1999. Meteorological situations associated with significant temperature falls in Buenos Aires: an application to the daily consumption of residential natural gas. *Meteorological Applications*, Volume 6, Issue 3, 253-260.
- Escobar, G. C. J., R. H. Compagnucci, and S. A. Bischoff., 2004. Sequence patterns of 1000 hpa and 500 hpa geopotential height fields associated with cold surges in Buenos Aires. *Atmosfera*, Volume 017, Number 02, 69-89.
- Fatahi, E., and Salehi Pak, T. 2009. A synoptic patterns analysis of winter freezing in Iran. *Geography and Development* 13: 127-136. (In Persian with English Abstract)
- Guentchev, G. S., 2007. Changes in atmospheric circulation over Europe and the relationship to temperature extreme in Bulgaria. A dissertation submitted to Michigan State University for degree of doctor of philosophy, department of geography.
- Kassomenos, P., H. A. Flocas, S. Lykoudis, and M. Petrakis. 1997. A study of frost events in areas characterized by the absence of observations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 62, pages 249-256.
- Lashkari, H., 2009. Synoptical analysis of intervene coldness in Iran 2003. *Phys. Geogr. Res. Quart.* 66: 1-18. (In Persian with English Abstract)
- Lashkari, H., and Keykhosravi, G.H. 2010. Synoptic analysis of January 8th – 15th 2006 cold wave in Iran. *Spatial Planning (Modares Human Sciences* 65: 151-177. (In Persian with English Abstract)
- Massodiyan, S.A., and Darand, M. 2011. Synoptic analysis of extreme colds of Iran. *Geography and Development* 22: 165-185. (In Persian with English Abstract)
- Muller, G. V. 2007. Patterns leading to extreme events in Argentina: partial and generalized frosts. *International journal of climatology*, 27, Pages 1373-1387.
- Muller, G. V., and Ambrizzi, T. 2007. Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated to generalized frosts over southern South America. *Climate Dynamic*, 29, 633-645.
- Muller, G. V., T. Ambrizzi, and M. N. Nunez. 2005. Mean atmospheric circulation leading to generalized frosts in central southern South America. *Theoretical and Applied climatology*, 82, pages 95-112.
- Muller, G. V., M. N. Nunez., and M. E. Seluchi. 2000. Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Humeda region. *International journal of climatology*, 20, Pages 1619-1637.
- Pereyra D., B. Palma., I. Zitacuaro. 1992. Correlation between northern of Gulf of Mexico and frosts at Las Vigas, Veracruz, Mexico. *Atmosfera*, Volume 005, Number 002, 109-118.
- Pezza AB, Ambrizzi T. 2005. Dynamical conditions and synoptic tracks associated with different types cold surges over tropical South America. *International Journal of Climatology* 25:215-241.
- Rusticucci M, Vargas W. 1995. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. *Meteorological Applications* 2:291-300.
- Van den Besselaar, E. J. M., A. M. G. Klein Tank, G. van der Schrier, 2010. Influence of circulation types on temperature extremes in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 99, Numbers 3-4, 431-439.