

بررسی نقش گردش ناهنجار وردسپهری-پوشن سپهری در رخداد یخبندان های فراگیر ایران

تهمینه چهره آرا ضیابری^۱، حسن حاجی محمدی^{۲*}

^۱ استادیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، ایران
^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

چکیده

دماهای فرین سرد (یخبندان) یکی از پدیده های اقلیمی است که قابلیت فراوانی در ایجاد خسارت در بخش های مختلف دارد. بنابراین شناخت این پدیده و درک سازوکار آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا به منظور بررسی ابعاد مختلف نقش گردش وردسپهری و پوشن سپهری یخبندان های فراگیر ایران، از آمار دمای کمینه ۱۳۰ ایستگاه همدیدی در دوره سرد سال (آبان تا اسفند)، طی دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) استفاده شد. همچنین برای مطالعه شرایط جو از داده های مرکز ملی پیش بینی محیطی / مرکز ملی پژوهش های جوی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی ۲،۵×۲،۵ درجه و داده های مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جوی (ECMWF) بخش ERA5 Land با تفکیک ۰،۱۲۵×۰،۱۲۵ درجه جغرافیایی استفاده گردید. در نهایت برای شناخت منشأ توده هوای وارد شده به منطقه در زمان رخداد یخبندان های فراگیر از مدل لاگرانژی (HYSPLIT) به روش پسگرد از سه روز قبل دوره یخبندان استفاده شد. نتایج نشان داد ۴ الگوی غالب به شرح زیر در رخداد یخبندان های فراگیر منطقه نقش بازی می کنند. الگوی اول: پشته دریای مدیترانه و سیاه، الگوی دوم: پشته شرق اروپا- ناوه دره گنگ، الگوی سوم: بندال اروپای شرقی، الگوی چهارم: کم فشار قطبی می باشند. عمده مسیر طی شده هوای سرد و انتقال آن به داخل ایران در ترازهای ۵۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال می باشد. گردش جو نشان داد که وقوع این پدیده در ایران حاصل برهمکنش بین وردسپهر فوقانی و پوشن سپهر زیرین بوده و فرارفت قائم سرد، گسترش پایین سو هوای سرد از پوشن سپهر زیرین به داخل وردسپهر، وقوع ناهنجاری در تاوه قطبی، تشکیل بندال معکوس و گرمایش در پوشن سپهر زیرین از سازوکار اصلی در شکل گیری الگوهای گردشی جو در زمان رخداد یخبندان های شدید در ایران می باشد.

کلمات کلیدی: یخبندان، ناهنجاری های هواشناختی، وردسپهر، پوشن سپهر، ایران

الگوهای گردش جوی شرایط آب و هوایی خاصی را برای مناطق تحت نفوذ ایجاد می کنند که گاهی این شرایط آب و هوایی از حالت نرمال خارج شده و خسارت هایی را از قبیل طوفان، تکرگ، یخبندان، سیل، برف سنگین و غیره به بار می آورند (پروین و عطایی، ۱۳۹۲، ۲۱۶). در این بین، پدیده یخبندان از جمله پدیده های جوی است که به دلیل زیان های شدید و گاهی وسیع در زمینه های عمرانی، ترابری، کشاورزی و خدمات شهری توجه زیادی را به خود معطوف داشته است (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۸۸؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ علیجانی و هژبرپور، ۱۳۸۶؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰). از دیدگاه هواشناسی هنگامی که دمای کمینه به زیر صفر درجه سلسیوس برسد، یخبندان رخ می دهد. در یک طبقه بندی کلی یخبندان ها به دو گروه تقسیم می شوند که عبارتند از: الف) یخبندان های تابشی، ب) یخبندان های فرارفتی. در یخبندان های تابشی، در فاصله ی زمانی غروب و طلوع خورشید، تابش موج بلند شبانه از سطح زمین منجر به کاهش دمای سطحی و هوای بلافصل آن می شود (اک، ۱۹۸۷؛ لیناکره و گیرتس، ۱۹۹۷). این نوع از یخبندان ها طی شب های آرام و صاف رخ می دهند و همراه با وارونگی دمایی هستند. اما یخبندان های فرارفتی هنگامی رخ می دهند که یک توده هوای خشک بسیار سرد و وسیع از منطقه عبور کند و همراه با جریان سردی که اغلب دما به زیر صفر درجه افت می کند و ممکن است طی روز نیز اتفاق بیفتد (اسچولیفیلد، ۱۹۹۴؛ داویدسون، ۱۹۹۷). تاکنون مطالعات فراوانی در خصوص تعیین الگوهای به وجود آورنده رخداد های فرین دمایی در سطح جهان انجام و ایران گرفته است (در جهان: اسکویار و بیسچوف، ۱۹۹۹؛ اسکوبار و همکاران، ۲۰۰۴؛ پیزا و امبریزی، ۲۰۰۵؛ روستی کوچی و وارگاس، ۱۹۹۵؛ وان دن باسler و همکاران، ۲۰۰۹؛ در ایران: لشکری، ۱۳۸۷؛ لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۹؛ علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۷ و عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸). اما مطالعاتی که اختصاصا الگوهای گردش مرتب با یخبندان ها را مورد توجه قرار داده باشند چندان زیاد نیستند. پری و همکاران (۱۹۹۲) با تفکیک یخبندان ها

به دو دسته یخبندان های تابشی و فرارفتی، منشاء همدیدی آنها را در لاسوگاس در وارکروز مکزیک مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند که منشاء یخبندان های فرارفتی، بادهای شمالی و یخبندان های تابشی عموماً بعد از بادهای شمالی در شرایط آسمان های صاف رخ می دهند. کاسوموس و همکاران (۱۹۹۷) در یک مطالعه موردی شرایط همدیدی بوجود آورنده یخبندان های اواخر ماه مارس ۱۹۹۴ را در مقدونیه مرکزی یونان با استفاده از یک مدل عددی شبیه سازی نمودند. شرایط همدیدی اواخر این ماه نشان می دهد که یک جریان ضعیف باد، ناشی از یک گردش واپرخندی و وجود یک گرادبان فشار در منطقه باعث بوجود آمدن رخداد یخبندان در منطقه شده است. مولر و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش می دهند یخبندان ها در ناحیه وت پامپاس آرژانتین دارای تغییرات سال به سال زیادی هستند که بخشی از این تغییرات را می توان توسط تغییرات گردش جوی در طول زمان رخداد ال نینو - نوسان جنوبی توجیه کرد. همچنین رابطه بین تشدید رودبادهای جنب حاره ای با افزایش فراوانی روزهای همراه با یخبندانهای فراگیر در جنوب مرکز آمریکای جنوبی موضوعی است که توسط مولر و همکاران (۲۰۰۵) تایید شده است.

تحقیقات اخیر نشان داده که سازوکار وقوع یخبندان های شدید و فراگیر دارای برهمکنشی وردسپهری-پوشن سپهری می باشد. کوهن و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی گردش وردسپهری-پوشن سپهری تاوه قطبی در دوره زمستانه در نیمکره شمالی به این نتیجه رسیدند که بررسی تاوه قطبی در گام نخست یکی از کاربردی ترین روش ها برای بررسی برهمکنش بین وردسپهر و پوشن سپهر بوده و از طرفی گرمایش ناگهانی پوشن سپهر و تغییر در الگوی جریان تاوه قطبی سبب گسترش جنوب سوی هوای سرد قطبی می شود. بررسی ها حاکی از آن بود که گسترش قائم امواج در طول زمستان های سرد سبب اختلال در گردش تاوه قطبی پوشن سپهری شده و تا مرحله شکستگی امواج در پوشن سپهر پیش می رود. امواج برگشتی نیز در محدوده آلاسکا بلوکه شده و به سمت پایین گسترش می یابند. کلستاد و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی ناهنجاری های دمایی نیمکره شمالی در ارتباط

با نوسان گردش پوشش سپهری نشان دادند که در محدوده اورآسیا سرماهای شدید با تضعیف تاوه قطبی پوشش سپهری همراه بوده و نکته مهمتر اینکه وقوع این ناهنجاری های وسیع در دما در محدوده کوچک و فقط با بررسی وردسپهر امکان پذیر نمی باشد. در پژوهشی دیگر ژنگ و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثرات بزرگ مقیاس گرمایش ناگهانی پوشش سپهر در ارتباط با امواج سرما در شرق آسیا پرداختند. نتایج نشان داد گرمایش ناگهانی پوشش سپهر با واداشت های پایین سو همراه بوده و گسترش موج را به وردسپهر به همراه دارد. این وضعیت سبب تقویت پرفشار سیبری شده و سبب شده تاوه قطبی دارای جابجایی به سمت عرض های پایین گردد که در نهایت به کاهش شدید دما و امواج سرما در منطقه منتهی شده است. این جابجایی جنوب سوی تاوه قطبی سبب شکل گیری یک الگوی گردشی امگا شکل معکوس (IOCP¹) در بخش شرق آسیا- اقیانوس آرام شمالی شده که تاثیرگذارترین سامانه در انتقال سرمای قطبی به عرض های پایین تر می باشد.

اما در ایران براتی (۱۳۷۵) نشان داد که جابجایی سیستم های فشار از عرض های جغرافیایی بالاتر و خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت به یخبندان های شدید و فراگیر، و جابجایی از عرض های پایین تر و در جهت عقربه های ساعت به یخبندان های ضعیف و نیمه فراگیر منتهی می شود، 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. فتاحی و صالحی (۱۳۸۸) نیز با انجام تحلیل عاملی و تحلیل خوشه ای بر روی داده های روزانه، فشار سطح زمین و تراز ارتفاعی ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوهای همدیدی یخبندان های زمستانه ایران را شناسایی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تیپ های هوایی پرفشار اروپای شمالی، پرفشار سیبری و پرفشار اروپای شرقی بیشترین تاثیر را در رخداد یخبندان های فراگیر ایران داشته اند به طوری که این تیپ های هوا جریانات سرد قطبی را از عرض های جغرافیایی بالا به سوی عرض های پایین منتقل کرده و به دنبال آن یخبندان های شدید و فراگیر را به وجود می آورند. محمودی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیق با عنوان بررسی همدید وسیع

ترین و مستمرترین یخبندان ایران نشان دادند که یک سیستم پرارتفاع که در واقع یک سیستم بندالی امگایی شکل بوده، مهمترین نقش را در وقوع یخبندان های فراگیر ایران داشته و سبب ریزش هوای سرد از قطب به سمت ایران می شود. پرویز و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی مخاطرات دما در استان کرمانشاه با تأکید بر یخبندان و امواج سرمای پرداختند. نتایج نشان داد توزیع یخبندان ها و روند آنها در شرق استان نسبت به غرب آن دارای روندی افزایشی است. زینالی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی همدید وسیع ترین و مستمرترین یخبندان های شمال غرب ایران پرداختند. نتایج گویای توسعه جنوب سوی تاوه قطبی بوده که از عوامل اصلی در رخداد دوره های یخبندان در منطقه می باشد.

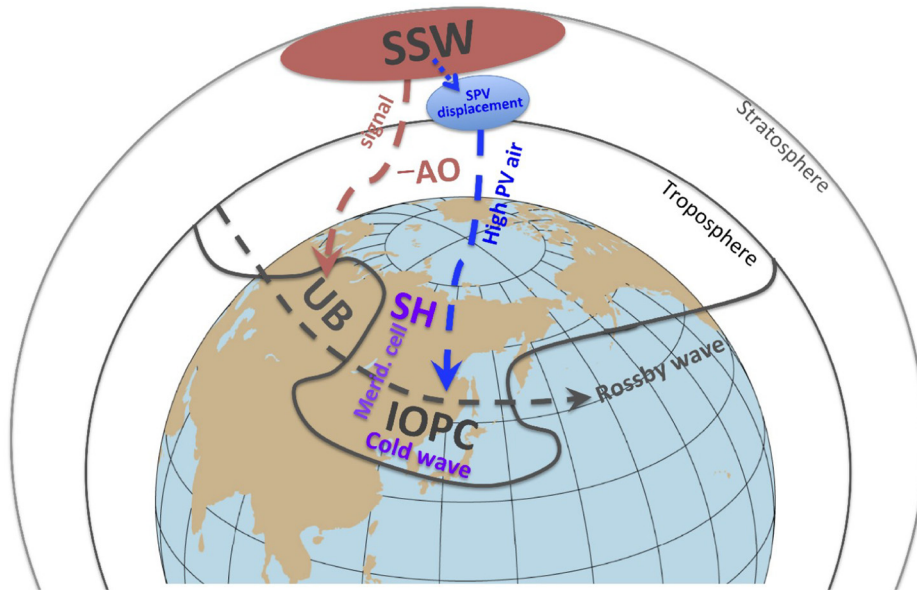
همانطور که مشاهده شد در ایران تحقیقات اندکی بر روی علت یابی وقوع یخبندان های شدید و فراگیر و آن هم با تبیین نقش گردش پوشش سپهری در وقوع این پدیده به عمل آمده است. بر این اساس سعی شد تا در تحقیق حاضر جوانب مختلف این پدیده مورد بررسی قرار گیرد. در شکل ۱ نمای کلی از سازوکار انتقالی گردش پوشش سپهری و اجزای مختلف سامانه های تاثیرگذار در امواج فراگیر سرما در شرق آسیا به نمایش درآمده است. همانطور که مشاهده می گردد گرمایش ناگهانی و بزرگ در پوشش سپهر سبب تغییرات مکانی در تاوه قطبی پوشش سپهری شده است. طی این وضعیت نوسان شمالگان در فاز منفی قرار گرفته و با تشکیل سامانه بندالی در محدوده اورال، الگوی گردشی امگا شکل معکوس سبب شارش نصف النهاری هوای سرد از بیشینه مقدار تاوایی پتانسیل که در پوشش سپهر بوده به وردسپهر شده و طی آن سبب گسترش جنوب سوی پرفشار سیبری در منطقه شده است.

هدف اصلی از این پژوهش بررسی نقش گردش نابهنجار وردسپهری-پوشش سپهری در رخداد یخبندان های فراگیر ایران بوده که به علت یابی وقوع این پدیده و برهمکنش آن بین وردسپهر و پوشش سپهر و نقش واداشت های این دو لایه جو در زمان رخداد یخبندان های فراگیر ایران شناسایی شود.

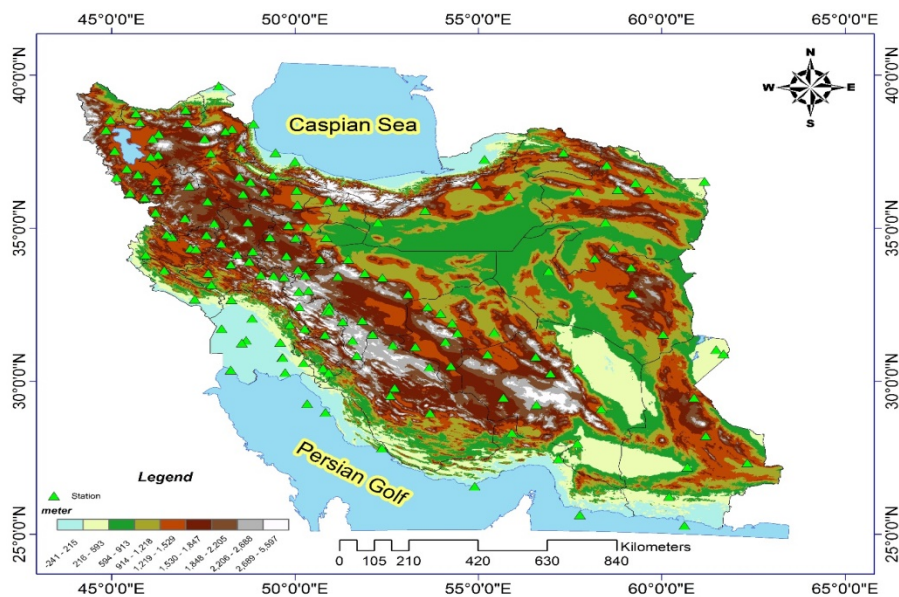
منطقه مورد مطالعه

در شکل ۲ نحوه پراکنش ایستگاه های همدیدی در منطقه

1. Inverted Omega-shaped Circulation Pattern



شکل ۱. طرحواره ای از اثر گرمایش ناگهانی پوشن سپهری موثر بر انتقال موج سرما به عرض های پایین تر (منبع: زنگ و همکاران، ۲۰۲۲)



شکل ۲. موقعیت ایستگاه های همدید واقع در منطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی جنبه های هواشناختی یخبندان های فراگیر ایران، از آمار دمای کمینه ۱۳۰ ایستگاه همدیدی در دوره سرد سال (آبان تا اسفند)، طی دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) استفاده شد. در ادامه روزهایی که دمای

قابل مشاهده می باشد. با توجه به این شکل تمرکز بیشینه ایستگاه های هواشناسی منطبق بر نیمه غربی و ارتفاعات زاگرس می باشد. اما در مناطق ایران مرکزی و نیمه شرقی شرایط به گونه ای دیگری است. در برخی مناطق به مانند ایران مرکزی اصلا ایستگاهی وجود ندارد.

به ردیابی ذرات بسته هوا شد. این ردیابی بدین صورت بود که سه ایستگاه نماینده برای نیمه شمالی و سه ایستگاه دیگر برای نیمه جنوبی برای هر الگو بصورت تفکیک شده انتخاب گردید. در نهایت به منظور درک سازوکار انتقالی گردش جو از پوشن سپهر به وردسپهر اقدام به تهیه خروجی های ترکیبی ناهنجاری دما و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در ۱۰ هکتوپاسکال شد. علت انتخاب این تراز بررسی پوشن سپهر زیرین بود که پاسخی به این سوال باشد که آیا وقوع این پدیده در وردسپهر همراستا با تغییرات گردش جو در پوشن سپهر می باشد یاخیر؟ بنابراین سعی شد تا ضمن بررسی پوشن سپهر زیرین وضعیت تاوه قطبی پوشن سپهری نیز مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج و بحث

بر اساس آنچه که در قسمت روش کار عنوان شد، پس از استخراج دوره های همراه با یخبندان های فراگیر در ایران، متوسط الگوی فشار در دوره های یاد شده دسته بندی شد. به دلیل قلیل بودن این نوع از یخبندان ها متوسط هر الگوی همدیدی که بر اساس موقعیت سامانه های فشاری بدست آمده بودند، نقشه های ترکیبی متوسط گیری شده تولید شد.

نتایج نشان داد ۴ الگوی غالب به شرح زیر در بروز یخبندان های فراگیر منطقه نقش بازی می کنند. در ادامه به تجزیه و تحلیل مولفه های مختلف به منظور تبیین ساختاری جوی الگوهای گردش موثر در پدیده مذکور پرداخته شده است. الگوی اول: پشته دریای مدیترانه و سیاه، الگوی دوم: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، الگوی سوم: بندال اروپای شرقی، الگوی چهارم: کمفشار قطبی.

-وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در همین راستا به بررسی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در شکل ۳ برای ۴ الگو به پرداخته شده است. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز میانی در الگوی پشته دریای مدیترانه و سیاه نشان دهنده پشته ای با محور شمال شرق-جنوب غرب مابین طول های ۱۰ تا ۳۵ درجه شرقی

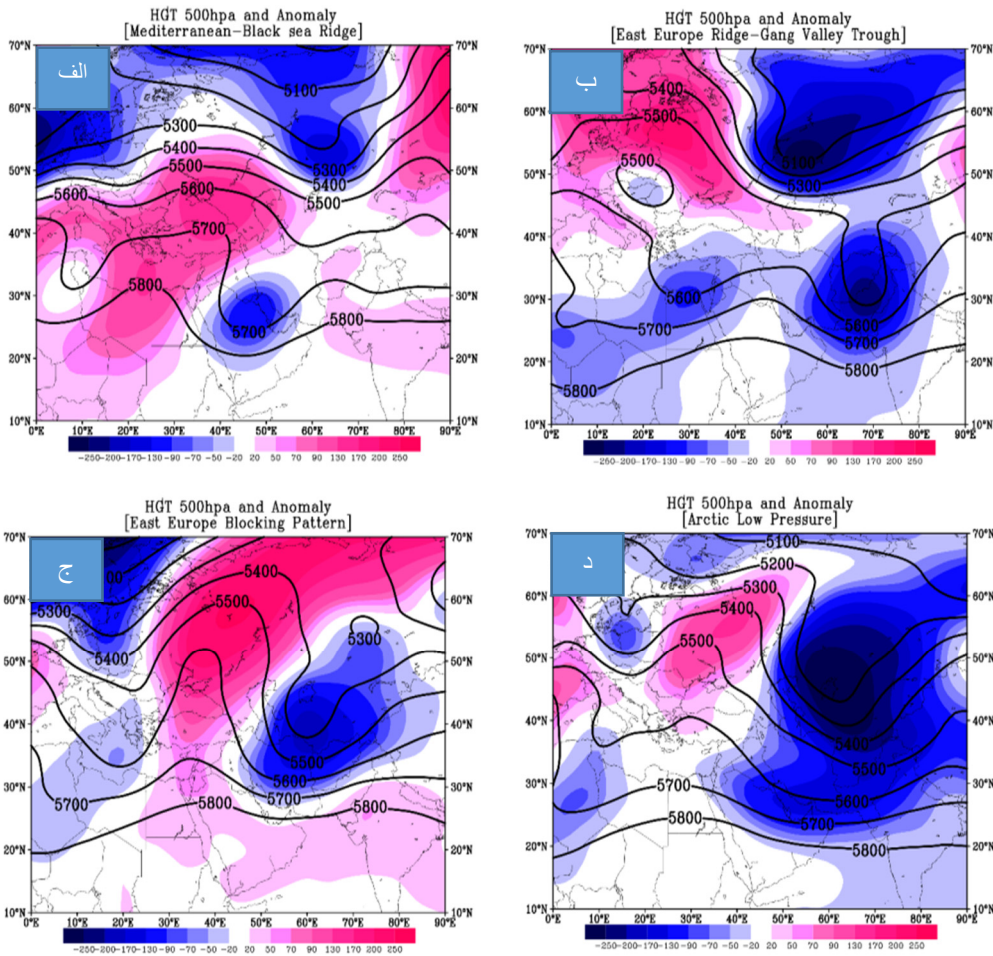
مساوی یا کمتر از صفر درجه سلسیوس بود استخراج و به سه گروه تقسیم گردید. گروه اول: یخبندان های جزئی: یخبندان هایی هستند که درصد مساحت همراه با یخبندان برابر یا کمتر از ۲۵ درصد کل مساحت ایران باشند. گروه دوم: یخبندان های نیمه فراگیر: یخبندان هایی هستند که میزان مساحت دارای یخبندان ۲۵ تا ۶۵ درصد کل مساحت ایران را شامل شوند. گروه سوم: یخبندان های فراگیر: یخبندان هایی هستند که حدود ۶۵ درصد و بیشتر مساحت در ایران یخبندان را تجربه کرده باشند. از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق شناسایی یخبندان های فراگیر بود، روزهای قرار گرفته در گروه سوم مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به توضیح است که یخبندان های با تداوم بیش از سه روزه در این قسمت تفکیک و بصورت دوره های سه روزه و یا بیشتر طبقه بندی شدند. در ادامه به بررسی شرایط هواشناختی دوره ها پرداخته شد. بدین منظور از یک روش تحلیل همدید ترکیبی استفاده شد. با توجه به دوره های یخبندان های فراگیر از روش دستی جهت پردازش و تحلیل وضعیت جوی حاکم استفاده نمود. بدین صورت که پس استخراج دوره های یخبندان فراگیر در ایران متوسط الگوی نقشه های فشار مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که فراوانی وقوع این نوع یخبندان ها که از استمرار چندین روزه برخوردار بودند، طی بازه زمانی بسیار اندک بود، سعی شد تا به دسته بندی الگوهای جوی بر اساس موقعیت سامانه های فشار اقدام گردد.

برای مطالعه شرایط جو از داده های بازتحلیل مرکز ملی پیش بینی محیطی / مرکز ملی پژوهش های جوی (NCEP/NCAR²) با تفکیک افقی ۲،۵×۲،۵ درجه و داده های مربوط به مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جو (ECMWF³) بخش ERA5 Land با تفکیک ۰،۱۲۵×۰،۱۲۵ درجه جغرافیایی استفاده شد. در ادامه برای شناخت منشأ توده‌های وارد شده به منطقه در زمان رخداد یخبندان های فراگیر از مدل لاگرانژی (HYSPLIT⁴) به روش پسگرد از سه روز قبل دوره یخبندان با استفاده از داده های FNL در ترازهای مختلف فشاری اقدام

2. National centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research

3. European Center for Medium – Range Weather Forecasts

4. HYbrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)



شکل ۳. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل با کاهشی بین ۷۰- تا ۹۰- به همراه داشته است. از شرایط غالب در این الگو استقرار ناوه ای بسیار عمیق بر جانب غرب دره گنگ بوده که متاثر از کم ارتفاع تشکیل شده در محدوده جنب قطبی می باشد. همانطور که مشاهده می شود به دلیل ریزش هوای بسیار سرد مناطق قطبی بر روی منطقه مقادیر ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل به کمتر از ۲۰۰- رسیده که به شدت منطقه را با افت ژئوپتانسیل همراه کرده است.

همانطور که از اسم گذاری الگوی سوم بر می آید، مشاهده می شود که به دلیل بندالی که در شرق اروپا تشکیل و تا شمال روسیه کشیده شده، شرایط دمایی متفاوتی را برای محدوده تحت استیلای خود به همراه آورده است. با تشکیل این سامانه

گسترده شده که در راستای آن با افزایش ناهنجاری بیش از ۹۰ ژئوپتانسیل متری در بر داشته است. از طرفی مشاهده می شود که ناوه ای از سوی مناطق قطبی تا شمال شرق دریای خزر کشیده شده که در قسمت های شمال شرقی کشور از شدت آن کاسته شده ولی در محدوده شمال عربستان و جنوب غرب ایران ناوه عمیق تر شده و ناهنجاری نزدیک به ۱۳۰- ژئوپتانسیل متر را بوجود آورده است. در الگوی پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ بین عرض های ۴۰ تا ۷۰ درجه شمالی و طول های ۰ تا ۴۰ درجه شرقی پشته ای تشکیل شده که در ضلع جنوبی آن ناوه نسبتا ضعیفی منطبق بر دریای مدیترانه مستقر گشته که این وضعیت تا شمال آفریقا ادامه دارد. از طرفی طی استقرار این سامانه در غرب خاورمیانه ناهنجاری

مقادیر ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در شمال شرق اروپا به بیش از ۲۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است. از طرفی ضمن تشکیل ناهه های عمیق در شرق و غرب این سامانه به ترتیب ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل به ۲۰۰- و ۲۵۰- ژئوپتانسیل متر بر محور ناهه منطبق شده است. الگوی چهارم تاثیر پذیرفته از کمفشار قطبی در تراز میانی جو است که با نام کمفشار قطبی شناخته می شود. به گونه ای که با کشیده شدن پربند ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر تا جنوب دریاچه آرال و ضمن آن نفوذ هوای سرد به داخل این سامانه، کاهش شدیدی در مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و دمای مناطق ایجاد شده است. همانطور که در نقشه همدیدی تهیه شده مشاهده می شود این سامانه به قدری قوی بوده که محدوده بسیار گسترده ای را با ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل همراه ساخته است (شکل ۳).

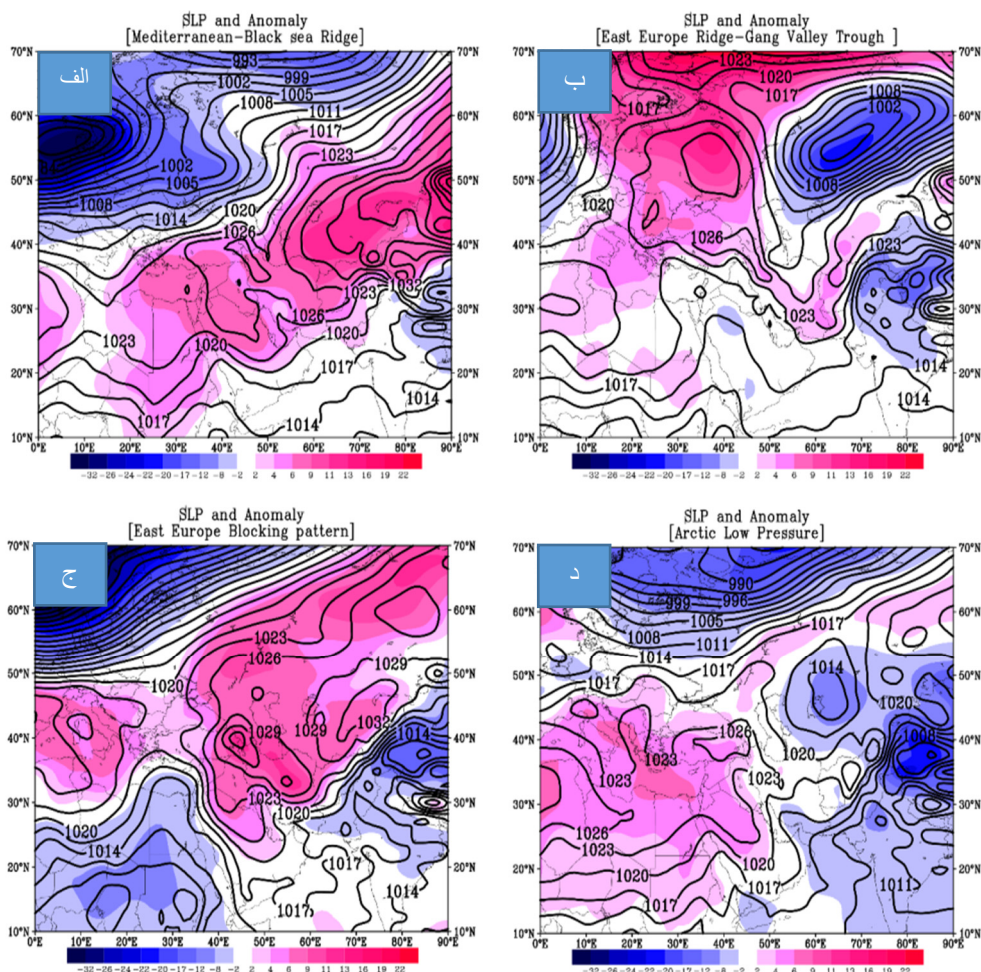
-وضعیت فشار تراز دریا و ناهنجاری آن

در بررسی وضعیت فشار تراز دریا در الگوی اول مشاهده شد که ضمن وارد شدن سامانه پرفشاری از جانب شمال شرق به داخل ایران، متوسط فشار به بیش از ۴ الی ۶ هکتوپاسکال نسبت به میانگین بلندمدت خود رسیده است. ضمن آنکه پربندهای پرفشار سیبری با حرکت غرب سوی خود وارد کشور شده و با ادغام آن در مناطق شمال غربی کشور سلول پرفشار مستقلی ایجاد شده که فشار مرکزی آن به بیش از ۱۰۳۰ هکتوپاسکال می رسد. در الگوی دوم چرخند قوی در شمال روسیه تشکیل شده که فشار در هسته آن نزدیک به ۱۰۰۰ هکتوپاسکال می باشد. از طرفی در قسمت غربی این پادساعتگرد، ساعتگرد نسبتاً قوی ایجاد شده که هسته آن بیش از ۱۰۳۰ هکتوپاسکال فشار می باشد. همانطور که مشهود است، پربند ۱۰۲۳ و ۱۰۲۶ هکتوپاسکال پرفشار مذکور تا جنوب ایران کشیده شده و با پربندی که از سوی مناطق شمالی تبت وارد کشور شده، ادغام گشته اند. با توجه به مقادیر ناهنجاری فشار تراز دریا مشاهده می شود که ضمن مسیری که پربندهای ذکر شده در قسمت قبل طی کرده و وارد کشور شده اند، ناهنجاری مثبت فشاری به بیش از ۴ هکتوپاسکال رسیده است. در الگوی سوم فشار منطقه بصورت قابل توجهی بالا رفته، بطوریکه نسبت به میانگین بلندمدت خود بیش از

۱۱ هکتوپاسکال را تجربه می نماید. این در حالی است که پدیده غالب در منطقه حضور سه سلول پرفشار در قسمت های شمال غرب ایران که تا جنوب شرق آن کشیده شده، دیگری در شمال غرب تبت و سومی نیز در شمال روسیه مستقر شده است. طی این افزایش فشار سرمای شدیدی منطقه را احاطه کرده است. در الگوی چهارم بالعکس سه الگوی قبلی سلول نسبتاً کم فشاری در قسمت شمال شرق دریاچه آرال مشاهده می شود که ناهنجاری فشار در قلب این سامانه به کمتر از ۸- هکتوپاسکال رسیده است. از علل اصلی تشکیل این سامانه می توان به ریزش هوای سرد و ردسپهر فوقانی به داخل ناهه عمیقی که بر روی منطقه در تراز میانی ایجاد شده، اشاره نمود. از طرفی در قسمت های شمالی مدیترانه و آفریقا پرفشاری با فشار ۱۰۲۶ هکتوپاسکال دیده می شود که تا قسمت های غربی ایران نفوذ کرده است (شکل ۴).

-وضعیت دمای سطح زمین

در تحلیل الگوی فضایی یخبندان های فراگیر، از دمای سطح زمین استفاده شد. بدین منظور در نقشه های همدید تهیه شده سایه روشن ها دمای سطح و مقادیر صفر و کمتر از آن با پربندهای سفید نشان داده شده است. در الگوی اول یخبندان با سه کانون در غرب خاورمیانه و ایران مشخص است. بدین صورت که کانون اصلی بر روی ترکیه و زاگرس مستقر بوده که این وضعیت تا عراق و شمال عربستان کشیده شده است. هجوم هوای سرد از سوی شمال با نزدیک شدن به دریای خزر جدا شده و شاخه شرقی آن از شمال شرق وارد کشور شده و در ایران مرکزی با سلول سرد زاگرس ادغام شده است. الگوی دوم به جز ناحیه خزری و جلگه جنوب غرب و سواحل خلیج فارس تمامی مناطق ایران تحت سلطه هوای بسیار سرد وارد شده به کشور هستند. این در حالی است که دما در شمال غرب ایران به کمتر از ۲۰- درجه سانتی گراد می رسد. در الگوی سوم کمترین دماها منطبق بر ارتفاعات غرب، ایران مرکزی و شمال غرب کشور است. الگوی چهارم نشان می دهد جز استان مازندران و شرق استان گیلان و سواحل خلیج فارس و دریای عمان مابقی مناطق کشور دمایی پایین تر از ۱۰- درجه سلسیوس را تجربه می نماید. آنچه در الگوی چهارم



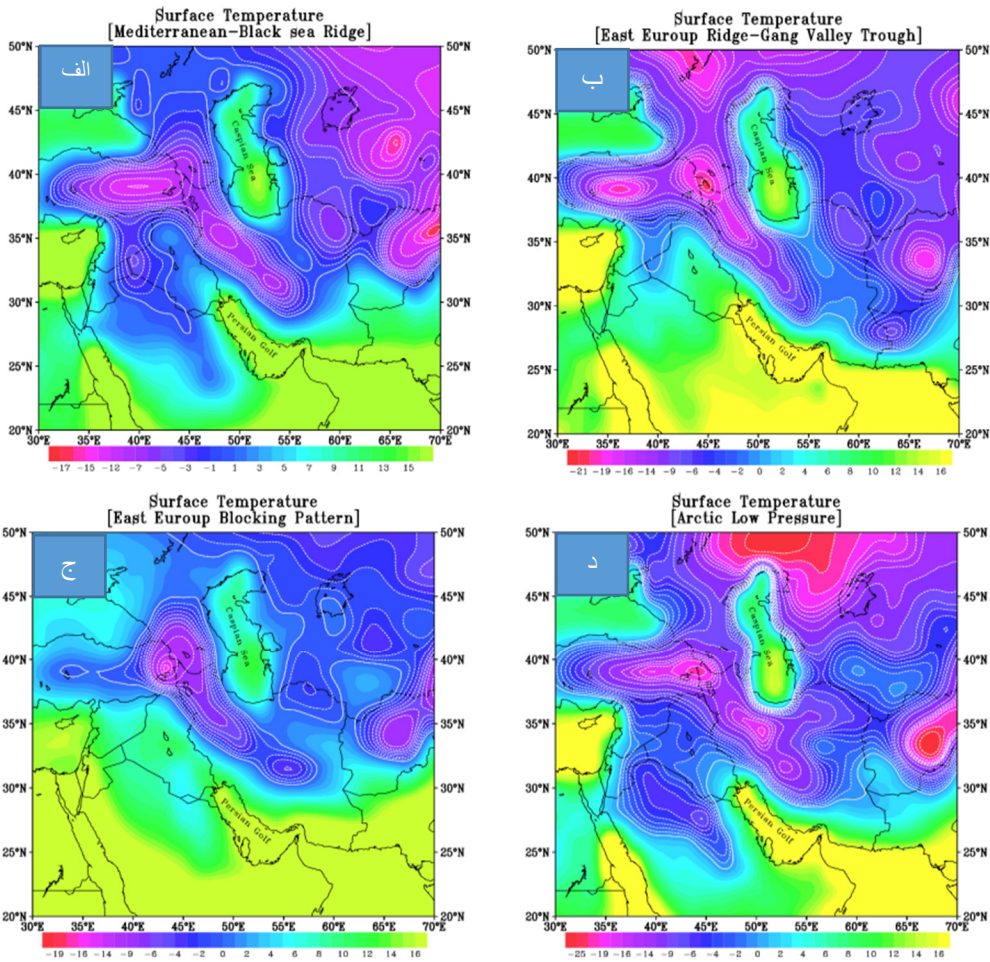
شکل ۴. وضعیت فشار تراز دریا و ناهنجاری آن برای ۴ الگوی گردش(الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بنادال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

جنب قطبی تا خاورمیانه و شرق هند گسترش یافته که دارای چند هسته ناهنجاری منفی قوی می باشد. قوی ترین هسته منطبق بر جنوب شرق ایران، غرب پاکستان قابل مشاهده می باشد که به کمتر از ۱۴- درجه سلسیوس می رسد. هسته دیگر منطبق بر غرب و شمال غرب ایران با ۱۲- درجه سلسیوس است. در الگوی بنادال شرق اروپا، مناطق شمالی اروپا تحت تاثیر این پدیده با گرمایشی بیش از ۶ الی ۱۰ درجه ای همراه بودند. از طرفی به دلیل قرارگیری ایران در شرق این سامانه با ریزش هوای سرد و سرمایشی با کمتر از ۱۴- درجه ای همراه شده که کانون اصلی آن مناطق ایران مرکزی می باشد. بیشینه تاثیر الگوی کمفشار قطبی یکی بر جانب شمالی دریای خزر و دیگری در شمال شبه جزیره عربستان است که با افت دمایی

جالب به نظر می رسد تشکیل سلول بسیار سردی است که دمایی کمتر از ۲۵- درجه سلسیوس در منطقه را در پی داشته که با نزدیک شدن به دریای خزر و گرم بودن آب دریا در فصل سرد مانع از گسترش جنوب سوی آن شده است(شکل ۵).

-وضعیت ناهنجاری دمای سطح زمین

با بررسی وضعیت ناهنجاری دمای سطح زمین مشخص شد که در الگوی اول جز در مناطق جنوب شرق ایران سایر مناطق دارای ناهنجاری بین ۴- تا ۶- سلسیوس می باشند که بیشینه آن در غرب و مرکز کشور بصورت لکه های ریز قابل تشخیص هستند. در الگوی دوم یک جریان منفی ناهنجاری دما از عرض های



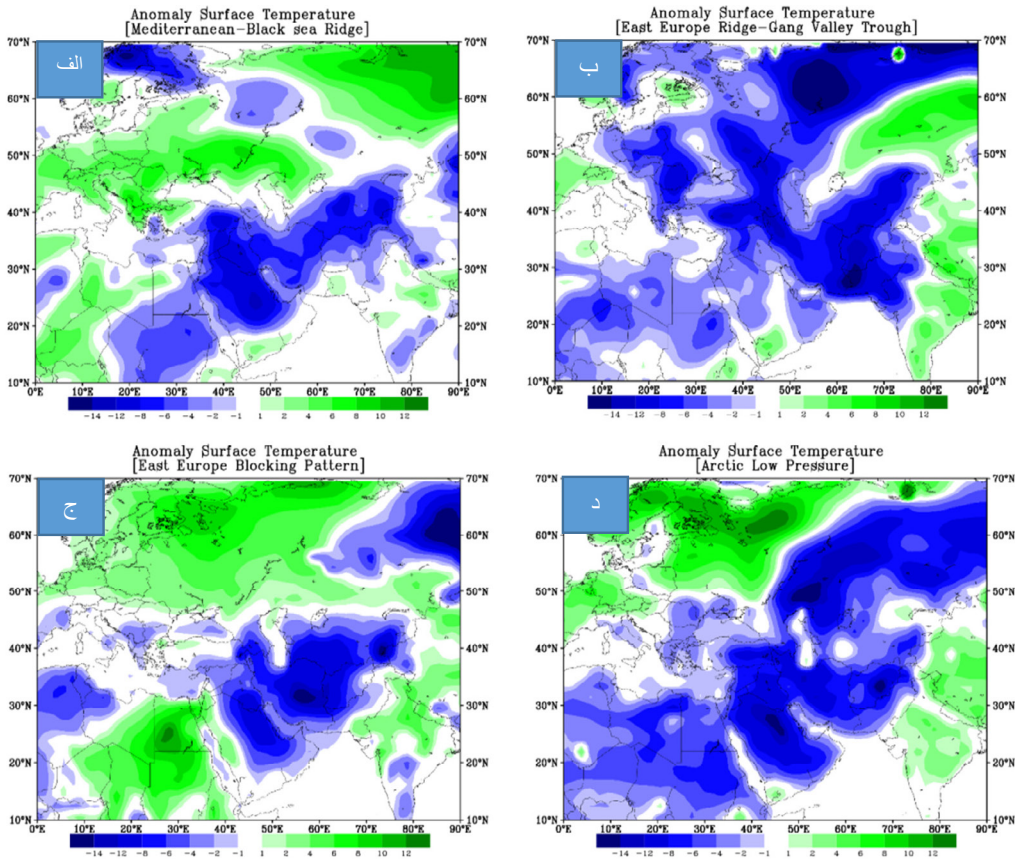
شکل ۵. وضعیت دمای سطح زمین برای ۴ الگوی گردشی (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

همدان، تهران، مشهد و ایستگاه‌های جنوبی، اصفهان، شیراز و زاهدان می‌باشد. لازم به توضیح است که برای ردیابی، از روش سطوح همدرگاشت استفاده شد. به گونه‌ای که بر روی ترازهای فشاری بسته‌های هوا مورد بررسی و ردیابی قرار گرفتند. در الگوی اول مشاهده می‌شود که در نیمه شمالی جریانات وارد شده به منطقه در ترازهای زیرین جو از مناطق شرق دریای خزر بوده اما جریانات سطوح فوقانی جو از شرق و شمال اروپا به کشور نفوذ کرده‌اند. در نیمه جنوبی نیز جریانات از غرب کشور و مدیترانه وارد شده‌اند. اما جریانات سطوح میانی جو منشأ آفریقایی دارند (شکل ۷).

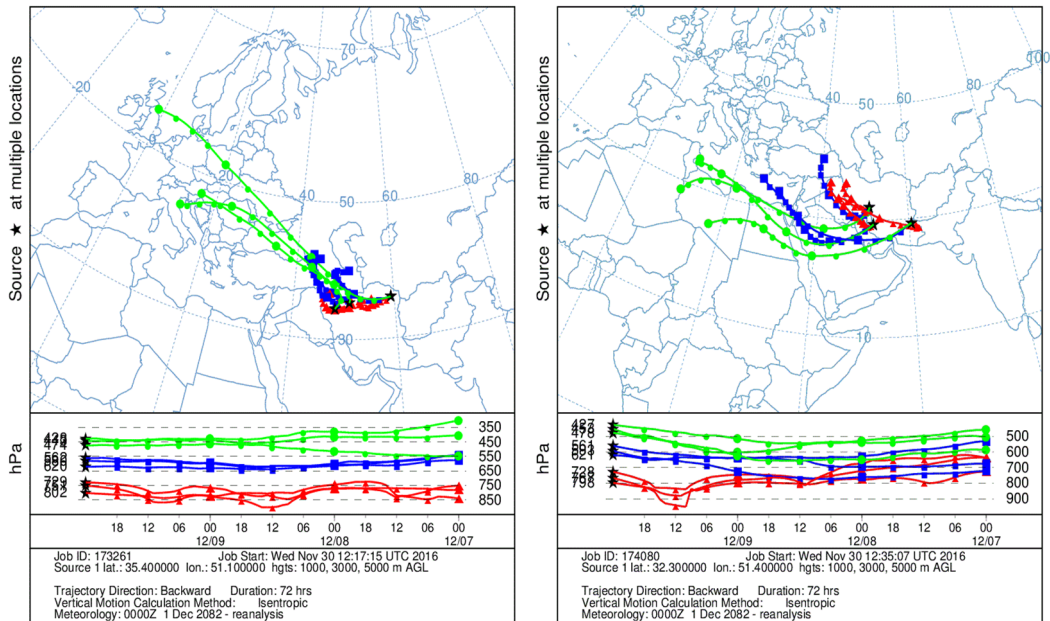
در الگوی دوم جز ایستگاه همدان و آن هم در تراز میانی، سایر ایستگاه‌های نیمه شمالی تحت تاثیر جریانات اروپایی و

کمتر از ۱۴- درجه سلسیوس همراه شده است. از طرفی این شرایط در مناطق شرقی افغانستان نیز به چشم می‌خورد. در کل کشور نیز شرایط ناهنجاری دما منفی بوده بطوریکه بین ۴- تا ۸- است (شکل ۶).

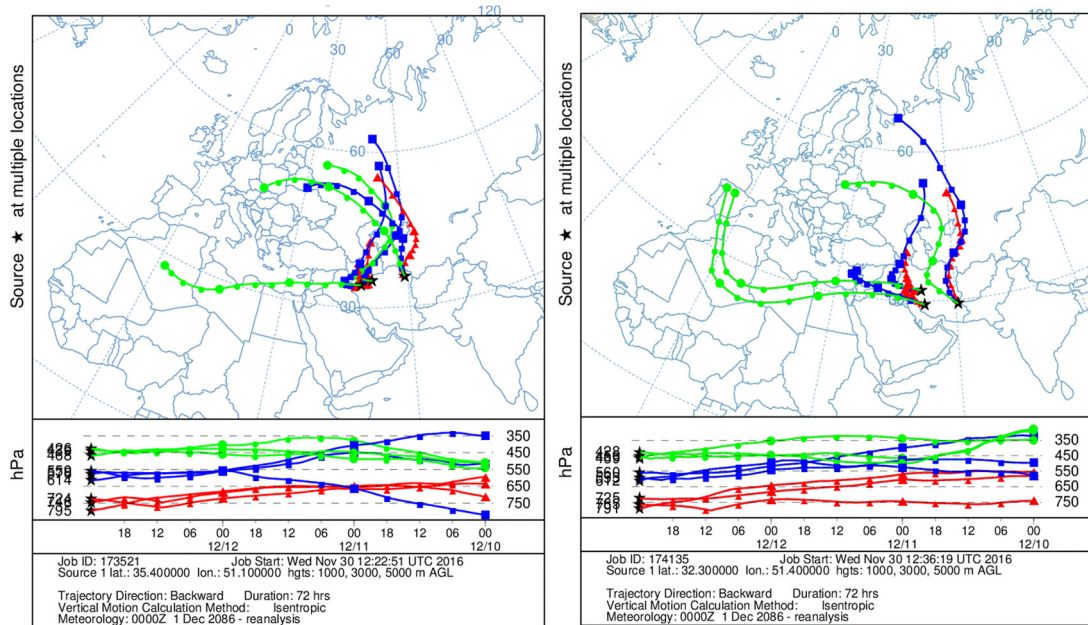
-ردیابی توده هوای موثر در زمان یخبندان‌های فراگیر ایران
برای ردیابی توده‌های هوای وارد شده به کشور در زمان رخداد یخبندان‌های شدید و فراگیر از ۶ ایستگاه هواشناسی در نیمه شمالی و جنوبی کشور استفاده شد. لازم به توضیح است که برای هر الگو از ۷۲ ساعت قبل از وقوع یخبندان فراگیر اقدام به مسیریابی توده هوا شد. این مسیریابی بصورت متوسط هر رخداد در هر الگو می‌باشد. ایستگاه‌های شمالی



شکل ۶. وضعیت نابهنجاری دمای سطح زمین برای ۴ الگوی گردش (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)



شکل ۷. مسیریابی توده هوای وارد شده به منطقه در الگوی اول (روز نماینده: ۱۰ دسامبر ۱۹۸۵)



شکل ۸. مسیریابی توده هوای وارد شده به منطقه در الگوی دوم (روز نماینده: ۱۳ دسامبر ۱۹۸۶)

جنوبی، متاثر از ناوه بسیار عمیقی است که با استقرار آن بر روی کشور هوای سرد و خشک و رددسپهر فوقانی که در ناحیه قطبی حبس شده بود، به منطقه شارش کرده و سبب شده تا ضمن وقوع یخبندان های سنگین و فراگیر در ایران، بسیاری از مناطق خاورمیانه از جمله عربستان نیز متاثر از شرایط مذکور باشد. ردیابی ها نشان داد جریانات قطبی که بالاتر از عرض ۶۰ درجه شمالی به منطقه وارد شده اند، عامل اصلی در بروز یخبندان شدید و فراگیر در منطقه می باشند. همانطور که مشاهده می شود این جریانات بیشتر از شرق ایسلند به ایران مهاجرت کرده اند (شکل ۱۰).

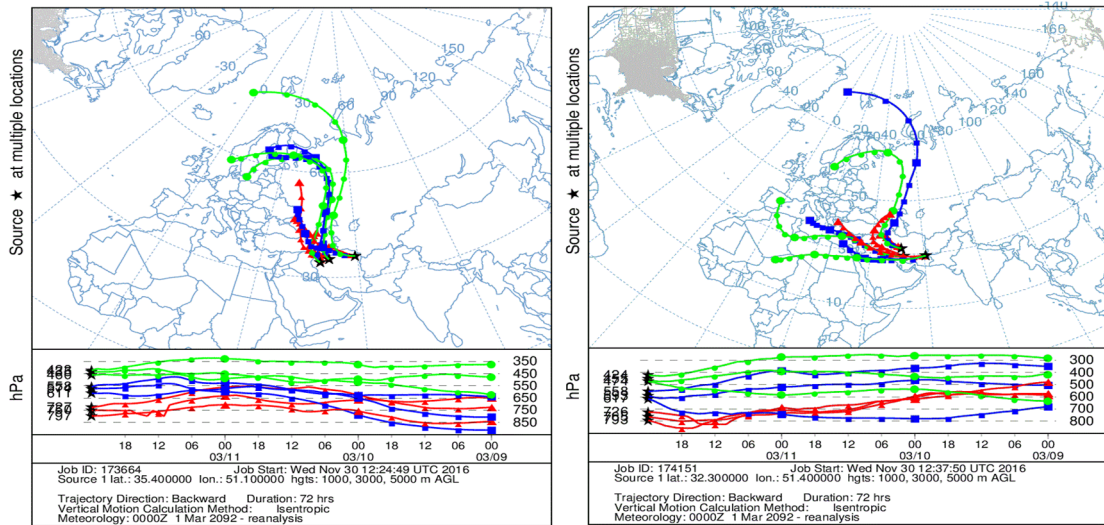
وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

با بررسی های انجام شده در بخش ردیابی توده هوا مشاهده شد که بیشترین جریانات وارد شده در دوره های یخبندان شدید در ایران از ترازهای فوقانی تر وردسپهر به داخل وردسپهر میانی و زیرین و بیشتر از عرض های بالاتر نشات گرفته و بر روی کشور شارش یافته است. در همین راستا برای الگوهای مستخرج در بخش پیشین، مقادیر

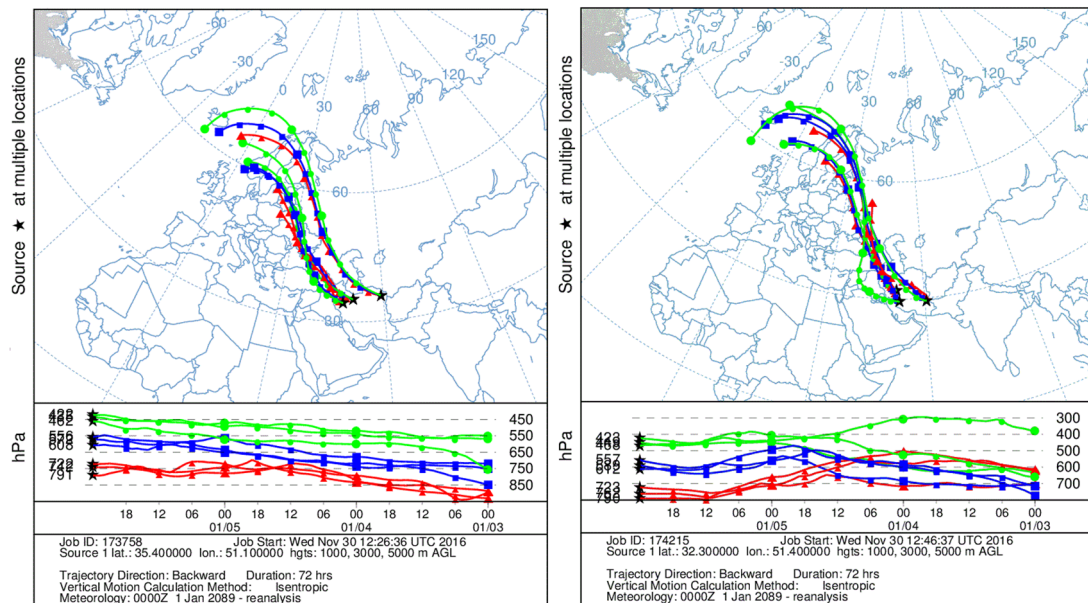
شمال روسیه قرار گرفته اند. در نیمه جنوب کشور نیز جریانات ایستگاه زاهدان از شمال روسیه به منطقه وارد شده است. دو ایستگاه شیراز و اصفهان نیز توده هوای تاثیر گذار از شمال غرب کشور وارد و منطقه را متاثر ساخته اند. اما جریانات سطوح فوقانی برای دو ایستگاه مذکور از غرب اروپا مسیری طولانی که با عبور از شمال آفریقا، را طی نموده اند (شکل ۸).

در الگوی سوم به دلیل تشکیل بندال شرق اروپا، جریاناتی که از حالت مداری خارج و نصف النهاری شده اند، با حرکت شمال سو به نواحی جنب قطبی رسیده و پس از دریافت خصوصیات آب و هوای قطبی، به منطقه وارد شده اند. با ردیابی توده هوا نیز مشخص شد که اکثر مناطق کشور از جریانات قطبی و جنب قطبی که حاصل از سرازیر شدن هوا در شرق بندال بوده اند، تاثیر پذیرفته که این امر در ترازهای مختلف جوی قابل مشاهده است. در ایستگاه های نیمه جنوبی نیز جز ایستگاه زاهدان که از جریانات مدیترانه ای و جنوب غرب اروپا و آفریقایی تاثیر پذیرفته، سایر ایستگاه ها ماهیتی شمالگانی دارند (شکل ۹).

آنچه از بررسی ردیابی توده هوا در الگوی چهارم بر می آید این است که ایستگاه های نماینده واقع در نیمه شمالی و نیمه



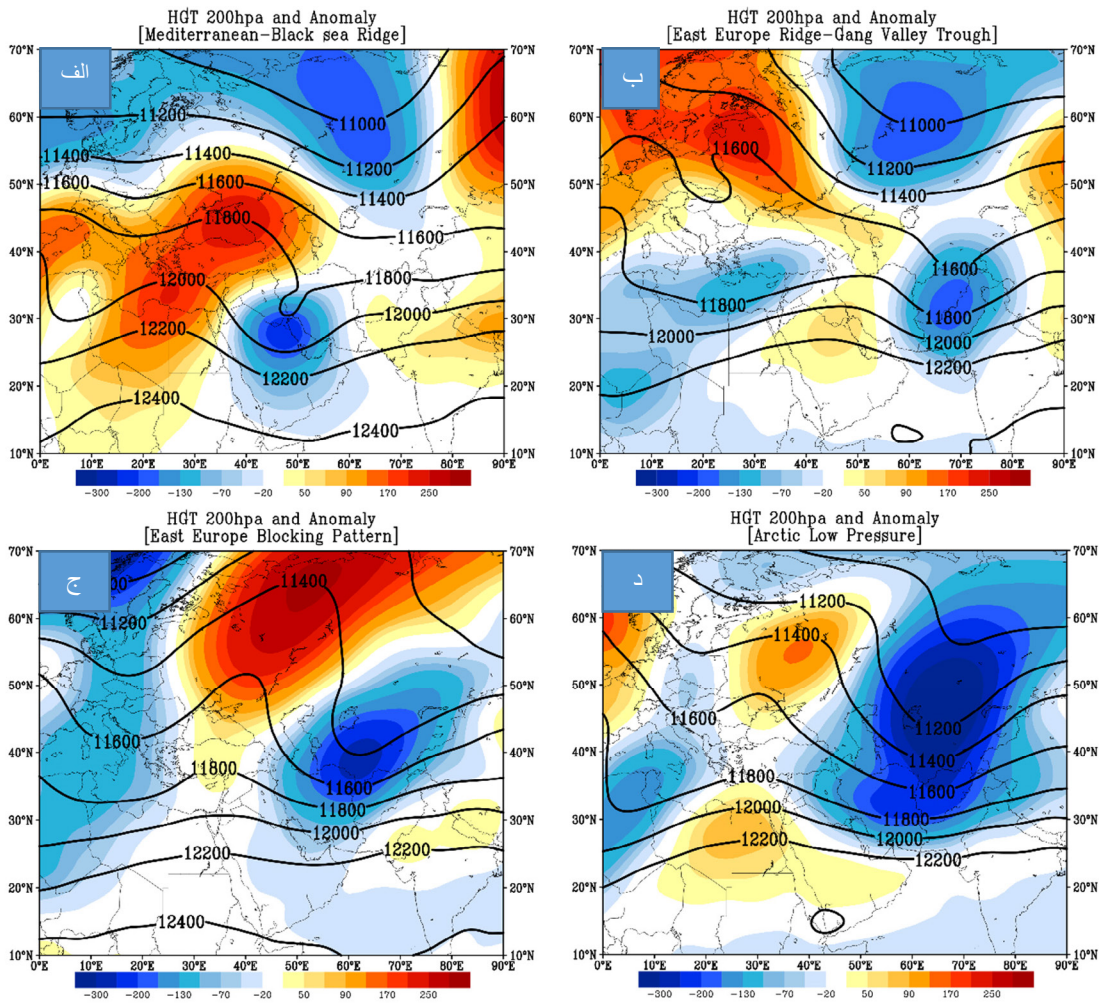
شکل ۹. مسیریابی توده هوای وارد شده به منطقه در الگوی سوم (روز نماینده: ۱۲ مارس ۱۹۹۲)



شکل ۱۰. مسیریابی توده هوای وارد شده به منطقه در الگوی چهارم (روز نماینده: ۶ ژانویه ۱۹۸۹)

شکل ۹ مشاهده می شود که قرارگیری ناهنجاری های منفی و مثبت سبب شده تا ترازهای زیرین نیز متاثر گردد و همین امر نشان از آن داشته که یخبندان های فراگیر ایران دارای فرارفتی قائم بوده و شارش توده هوا از ترازهای فوقانی تر و از طرفی با سرمنشایی قطبی و جنب قطبی اثرات گردش بزرگ مقیاس تاوه قطبی را نیز به خوبی نمایان می کند. تشکیل سامانه هایی

ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل برای تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال استخراج شد. نتایج حاکی از آن بود که در تمامی الگوهای جوی در گام نخست وضعیت قرارگیری سامانه ها در تراز ۲۰۰ به مانند تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده و از طرفی نقش اصلی در رخداد یخبندان های شدید حاصل واداشت های ترازهای فوقانی تر وردسپهر می باشد. بطوریکه در الگوهای مستخرج در



شکل ۱۱. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

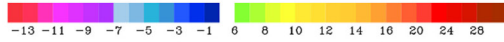
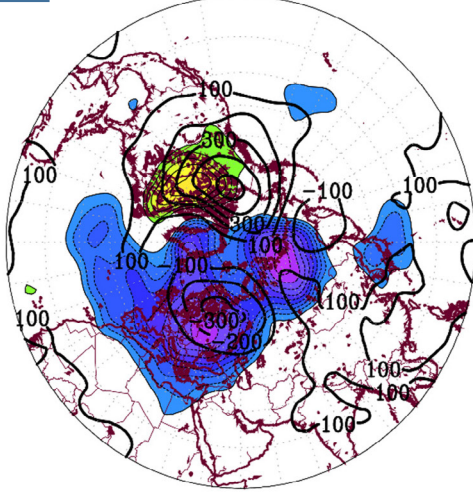
دهد. نتایج حاکی از آن بود که در الگوی پشته دریای سیاه و مدیترانه ناهنجاری منفی قوی در ارتفاع ژئوپتانسیل در قسمت های شمالی اوراسیا با کاهش بیش از ۳۰۰ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته که به موازات آن کاهش ۸- درجه سلسیوس در محدوده مورد نظر بوجود آمده است. در پوشش سپهر الگوی دیگر منفی وجود دارد که در محدوده قطبی تشکیل شده است. از طرفی افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل و افزایش دما در شمال آمریکا نیز بوجود آمده است. در الگوی پشته شرق اروپا- ناهوه دره گنگ مشاهده شد که افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل و افزایش دما پوشش سپهری در شرق اروپا بوقوع پیوسته است. شکل گیری این ناهنجاری مثبت سبب شده تا پشته بر روی

در مناطق مختلف و استمرار چند روزه آنها به مانند قرارگیری سامانه های پراتفاح سبب شده تا شارش پایین سوی هوای سرد از جانب تاوه قطبی وردسپهری به ترازهای زیرین صورت پذیرد. در ادامه سعی شد تا به بررسی وضعیت تاوه قطبی پوشش سپهری^۵ پرداخته شود (شکل ۱۱).

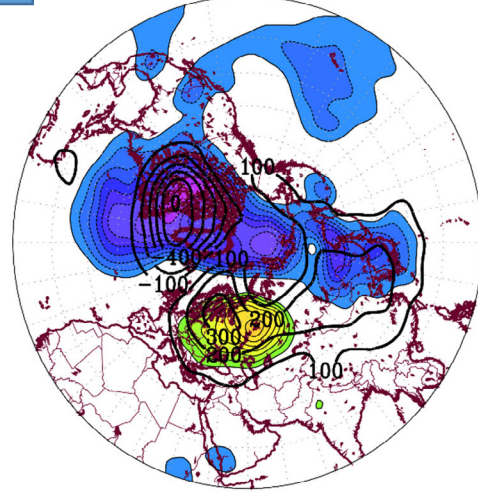
وضعیت گردش پوشش سپهری

به منظور بررسی اثرات پوشش سپهر بر روی وردسپهر تراز ۵۰ هکتوپاسکال انتخاب شد. این تراز تغییرات گردش پوشش سپهر زیرین و اثرات آن را بر روی وردسپهر فوقانی را نشان می

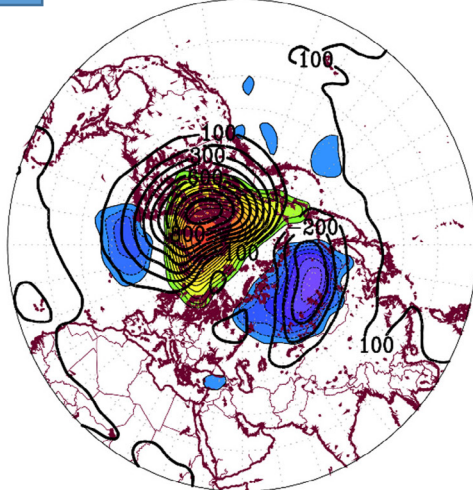
الف Anomaly HGT&Temperature 50hpa [Mediterranean-Black sea Ridge]



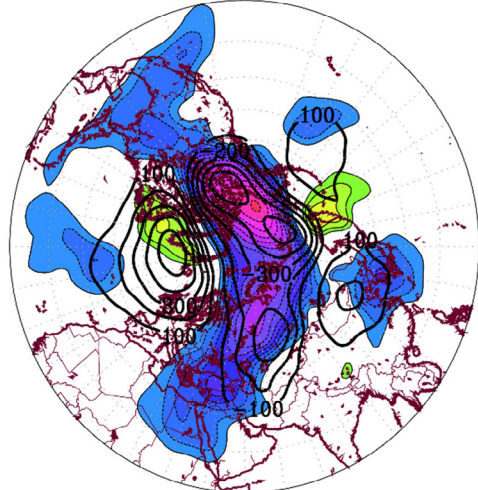
ب Anomaly HGT&Temperature 50hpa [East Europe Ridge-Gang Valley Trough]



ج Anomaly HGT&Temperature 50hpa [East Europe Blocking Pattern]



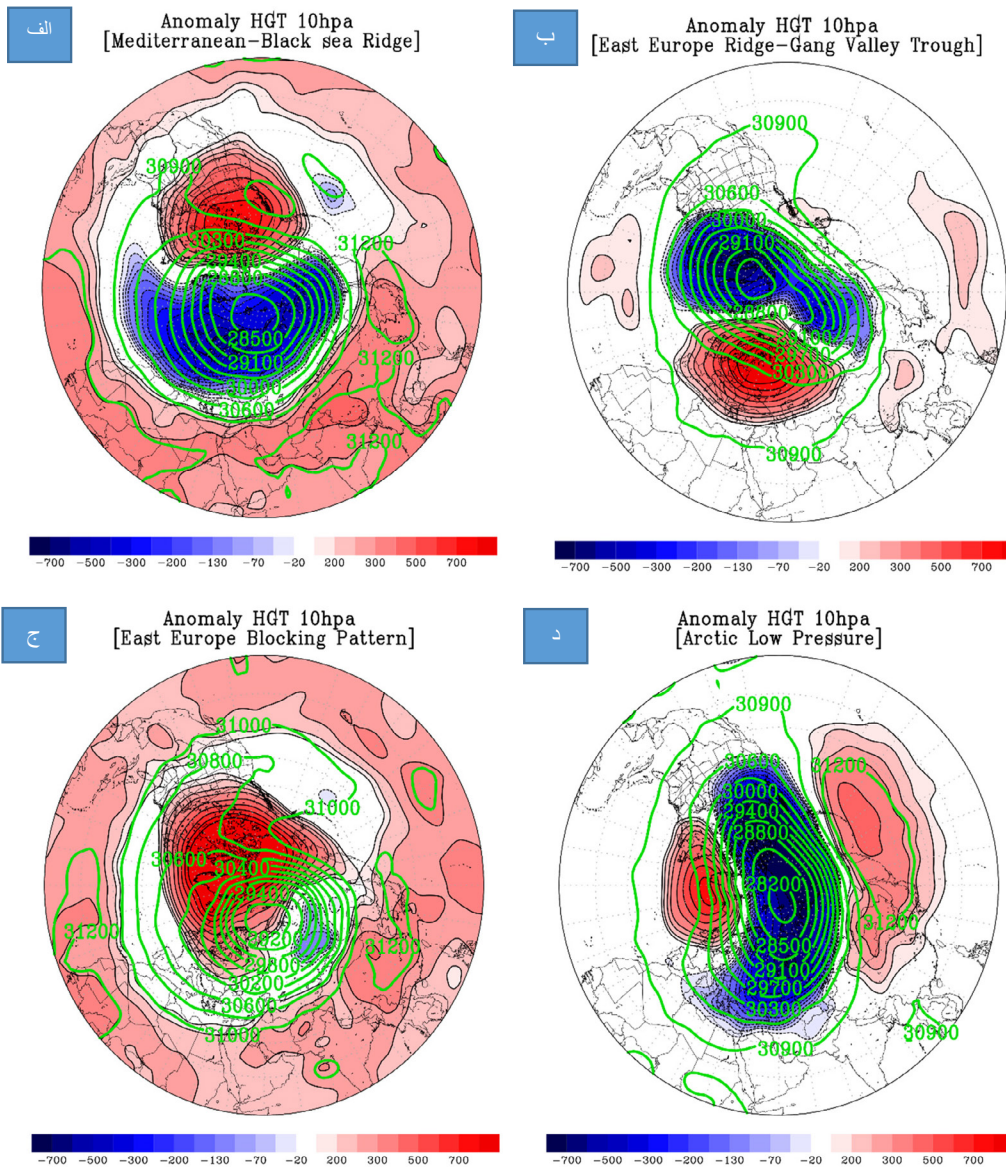
د Anomaly HGT&Temperature 50hpa [Arctic Low Pressure]



شکل ۱۲. وضعیت ناهنجاری ژئوپتانسیل و دمای هوا در تراز ۵۰ هکتوپاسکال (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-تاوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

قطبی نابهنجا شده و یک الگوی زوجی گرم بر روی شمال آمریکا و الگوی سرد بر روی شمال روسیه را رقم زده است. با شکافته شدن تاوه قطبی ناهنجاری قوی منفی در تاوه قطبی پوشن سپهری بر روی شمال روسیه بوجود آمده و با انتقال پایین سوی آن و فرارفت قائم سرد، شرایط برای انتقال هوای سرد پوشن سپهر به وردسپهر نیز فراهم شده است. در الگوی

منطقه تقویت گردد و در شرق خود جریان شمالی را برای جنوب غرب آسیا در بر داشته باشد. از سوی در نیمکره غربی و بخصوص بر روی آمریکای شمالی ناهنجاری منفی دما و ارتفاع ژئوپتانسیل در پوشن سپهر بوجود آمده است. در این الگو سرمایش شدید در نیمکره غربی و گرمایش در نیمکره شرق حاکم می باشد. در الگوی سامانه بندالی شرق اروپا تاوه



شکل ۱۳. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۱۰ هکتوپاسکال (الف: پشته دریای مدیترانه و سیاه، ب: پشته شرق اروپا-ناوه دره گنگ، ج: بندال اروپای شرقی، د: کمفشار قطبی)

تا الگویی منحنی وار از آمریکای شمالی تا جنوب غرب آسیا با ناهنجاری های قوی در پوشش سپهر همراه گردد (شکل ۱۲). در شکل ۱۳ و با توجه به الگوی نخست مشاهده می شود که در نیمکره شرقی و بر روی شمال شرق اروپا مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل به کمتر از ۲۸۵۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده و طی جایجایی هسته کمینه تاوه قطبی پوشش سپهری و عمیق تر شدن آن بر روی منطقه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل به کمتر

کمفشار قطبی مشاهده شد که در محدوده بسیار وسیع از آمریکای شمالی تا شمال آفریقا ناهنجاری منفی دما بوقوع پیوسته و طی این وضعیت کاهش شدید ارتفاع ژئوپتانسیل از نیمکره غربی تا شرقی در محدوده قطب تشکیل شده است. وقوع این پدیده با سه هسته ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی شمال اقیانوس اطلس، شمال اقیانوس آرام و شمال شرق روسیه همراه می باشد. این وضعیت سبب شده

از ۵۰۰- ژئوپتانسیل متر رسیده است. این جابجایی نابهنگام ارتباط مستقیمی با بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی شمال آمریکای شمالی همراه بوده و یک الگوی زوجی را بر روی منطقه تشکیل داده است. از طرفی در این الگو پوشن سپهری عرض های جنب حاره نیز از ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل برخوردار هستند. در الگوی دوم که با نام بندال شرق اروپا/ناوه دره گنگ شناخته شده است، مشاهده می شود که بر روی قطب شمال تاوه قطبی یک الگوی بیضوی به خود گرفته است. طی این وضعیت با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی شمال اروپا همراه شده و در نیمکره غربی و بر روی شمال شرق قاره آمریکای شمالی یک هسته کمینه ناهنجاری مشاهده می شود. این هسته کمینه با هسته متمرکزتر واقع بر روی شمال شرق روسیه ادغام شده و با یک بندال معکوس با ارتفاع ۳۰۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی ایران کشیده شده است. در الگوی سوم نقش واداشت های سطوح فوقانی تر پوشن سپهری کاملاً مشهود است. بطوریکه ضمن جابجایی هسته تاوه قطبی پوشن سپهری به نیمکره شرقی طی افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل بسیار بالا بر روی مناطق قطبی و جنب قطبی نیمکره غربی، در شمال شرق روسیه هسته ضعیفی از ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل شکل گرفته که در بررسی ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی تراز ۵۰ هکتوپاسکال این هسته به شدت تقویت شده است. با گسترش جنوب سوی لبه بیرونی تاوه قطبی پوشن سپهری بر روی ایران و خاورمیانه نحوه انتقال سرما و شارش تاوایی پتانسیل بصورت مورب از روی مناطق شمال شرقی روسیه به داخل ایران صورت گرفته است. همانطور که مشاهده می شود ناهنجاری مثبت و قوی در نیمکره غربی سبب انتقال هسته تاوه قطبی به نیمکره شرقی شده است. در الگوی چهارم که با نام کمفشار قطبی شناخته می شود، تاوه قطبی شکافته شده و طی آن به حالت بیضوی تغییر شکل داده است. هسته بیشینه در این الگو بر روی دریای برینگ و جزایر التوشین قرار گرفته و ارتفاع ژئوپتانسیل بیش از ۳۱۲۰۰ را تجربه می نماید. در سمت مقابل و بر روی شمال اقیانوس اطلس نیز هسته بیشینه ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تشکیل شده که طی این شرایط به فشردگی بیش از حد کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی کلاهدک قطبی منجر شده است. با کاهش

ارتفاع ژئوپتانسیل، هسته منفی ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی قطب بصورت تقریباً هلالی درآمده که قسمتی از آن بر روی شمال غرب آمریکا کشیده شده و در ضلع مقابل نیز تا قسمت های عمده اروپا و برخی مناطق خاورمیانه دارای توسعه ای جنوب سو بوده است. همانطور که مشاهده می شود ناهنجاری منفی در مرکز تاوه قطبی پوشن سپهری به کمتر از ۷۰۰- ژئوپتانسیل متر رسیده است (شکل ۱۳).

جمع بندی

نتایج حاصل از بررسی برهمکنش جوی در منطقه نشان داد که در زمان رخداد یخبندان ۴ الگو در منطقه حاکمیت داشته اند. با بررسی نقشه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشخص گردید که در الگوی اول پشته ای با محور شمال شرق-جنوب غرب مابین طول های ۱۰ تا ۳۵ درجه شرقی گسترده شده که با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل بیش از ۹۰ ژئوپتانسیل متر نسبت به میانگین بلندمدت خود را در محدوده تحت استیلای آن را در بر داشته است. در الگوی دوم بین عرض های ۴۰ تا ۷۰ درجه شمالی و طول های ۰ تا ۴۰ درجه شرقی پشته ای تشکیل شده که در ضلع جنوبی آن ناهه نسبتاً ضعیفی منطبق بر دریای مدیترانه مستقر گشته که این وضعیت تا شمال آفریقا ادامه دارد. الگوی سوم به دلیل بندالی که در شرق اروپا تشکیل و تا شمال روسیه کشیده شده، شرایط دمایی متفاوتی را برای محدوده تحت استیلای خود به همراه آورده است. با تشکیل این سامانه مقادیر ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در شمال شرق اروپا به بیش از ۲۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است. الگوی چهارم تاثیر پذیرفته از کمفشار قطبی در تراز میانی جو است. به گونه ای که با کشیده شدن پربند ۵۲۰۰ ژئوپتانسیل متر تا جنوب دریاچه آرال و ضمن آن نفوذ هوای سرد به داخل این سامانه، کاهش شدیدی در مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و دمای مناطق ایجاد شده است. همچنین با استفاده از الگوریتم HYSPLIT مسیرهای حرکتی توده های هوایی در زمان وقوع یخبندان به روش پسگرد مشخص گردید. نتایج نشان داد که در الگوی اول در نیمه شمالی جریانات وارد شده به منطقه در ترازهای زیرین جو از مناطق شرق دریای خزر بوده اما جریانات سطوح فوقانی جو از شرق و شمال اروپا به کشور نفوذ کرده اند. در

نیمه جنوبی نیز جریانات از غرب کشور و مدیترانه وارد شده اند. اما جریان ها سطوح میانی جو منشا آفریقایی دارند. در الگوی دوم جز ایستگاه همدان و آن هم در تراز میانی، سایر ایستگاه های نیمه شمالی تحت تاثیر جریانات اروپایی و شمال روسیه قرار گرفته اند. در الگوی سوم به دلیل تشکیل بندال شرق اروپا، جریاناتی که از حالت مداری خارج و نصف النهاری شده اند، با حرکت شمال سو به نواحی جنب قطبی رسیده و پس از دریافت خصوصیات آب و هوای قطبی، به منطقه وارد شده اند. در الگوی چهارم ایستگاه های نماینده واقع در نیمه شمالی و نیمه جنوبی، متاثر از ناوه بسیار عمیقی است که با استقرار آن بر روی کشور هوای سرد و خشک و ردهسپهر فوقانی که در ناحیه قطبی حبس شده بود، به منطقه شارش کرده و سبب شده تا ضمن وقوع یخبندان های سنگین و فراگیر در ایران، بسیاری از مناطق خاورمیانه از جمله عربستان نیز متاثر از شرایط فوق باشد. بررسی ها نشان داد که برهمکنش بین و ردهسپهر و پوشن سپهر تبیین کننده سازوکار اصلی وقوع یخبندان های شدید و فراگیر در ایران می باشد. بطوریکه وقوع ناهنجاری های شدید در پوشن سپهر زیرین و نقش واداشت های آن به و ردهسپهر فوقانی سبب شکل گیری سامانه مقیاس همدید و جهانی شده و فرارفت های قائم و شارش شمالی جریانات سرد قطبی-پوشن سپهری سبب رخداد سرماهای فراگیر در ایران می گردد. وقوع ناهنجاری های بزرگ مقیاس در پوشن سپهر و تغییر در شکل تاوه قطبی و جابجایی مکانی آن در پوشن سپهر قطبی نشان از یک برهمکنش متقابل بین این دو لایه جو و در نهایت وقوع یخبندان های فراگیر و شدید در ایران است. نتایج این تحقیق همسو با تحقیقات ژنگ و همکاران (۲۰۲۲) و کلستاد و همکاران (۲۰۲۲) بوده که تبیین کننده سازوکار پوشن سپهری-وردهسپهری در وقوع سرماهای شدید در منطقه می باشد.

مراجع

- براتی، غلام رضا (۱۳۷۵)، طراحی و پیش بینی الگوهای سینوپتیک یخبندانهای بهاره ی ایران، رساله ی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- پروین، نادر؛ عطایی، هوشمند (۱۳۹۲)، الگوهای همدید تراز میانی جو هنگام وقوع یخبندانهای دیررس بهاره استان کرمانشاه، جغرافیا، سال یازدهم، شماره ۴، ۲۱۵-۲۲۹.
- پیمان محمودی؛ محمود خسروی؛ سید ابوالفضل مسعودیان؛ بهلول علیجانی (۱۳۹۱)، ناهنجاری های همدیدی منجر به یخبندان های فراگیر ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۱، شماره ۱، ۱۷-۳۴.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ پزدان پناه، حجت الله؛ حاتمی بهمن بیگلو، خداکرم (۱۳۸۸)، شناسایی الگوهای گردشی پدیده یخبندان با کاربرد تحلیل مولفه های مینا و تحلیل خوشه ای (مطالعه موردی استان فارس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، ۲۳-۴۵.
- عزیزی، قاسم؛ حنفی، علی؛ سلطانی، محسن؛ آقاجانی، موسی (۱۳۹۰)، تحلیل سینوپتیک یخبندان شدید، دیر هنگام و فراگیر فروردین ماه ۱۳۸۸، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۱، ۱-۱۴.
- عزیزی قاسم؛ اکبری طیبیه؛ داوودی محمود؛ اکبری مهری (۱۳۸۸)، تحلیل همدیدی موج سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ ایران، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، ۱-۱۹.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱)، بررسی سینوپتیکی الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰، نیوار، پیاپی ۴۵ و ۴۶، ۷-۲۹.
- علیجانی، بهلول؛ تقی لو، مهدی؛ افشارمنش، حمیده (۱۳۸۹)، تحلیل سینوپتیکی یخبندانهای شدید دسامبر ۲۰۰۶ و ژانویه ۲۰۰۷ در استان زنجان، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، سال سوم، شماره ۱۰، ۱۱۳-۱۲۷.
- علیجانی، بهلول؛ هوشیار، محمود (۱۳۸۷)، شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران، پژوهش های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵، ۱-۱۶.
- فتاحی، ابراهیم؛ صالحی پاک، تهمینه (۱۳۸۸)، تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندانهای زمستانه ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، ۱۲۷-۱۳۶.
- لشکری حسن (۱۳۸۷)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای فراگیر ۱۳۸۲ در ایران، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ۱-۱۸.
- لشکری حسن؛ کیخسروی قاسم (۱۳۸۹)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸-۱۵ دیماه ۱۳۸۵ در ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، شماره ۶۵، ۱۵۱-۱۷۷.
- هژیرپور، قاسم؛ علیجانب، بهلول (۱۳۸۶)، تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ۸۹-۱۰۶.
- محمودی، پیمان؛ خسروی، محمود؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ علیجانی، بهلول (۱۳۹۵)، بررسی همدید وسیع ترین و مستمرترین یخبندان ایران در دوره ۲۰۰۴-۱۹۶۳. نشریه پژوهشهای اقلیم شناسی | سال هفتم | شماره بیست و پنجم و بیست و ششم.
- پرویز، جمال؛ برنا، رضا؛ اسدیان، فریده (۱۴۰۰)، بررسی مخاطرات دما در استان کرمانشاه با تأکید بر یخبندان و امواج سرمای. نشریه پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۳، شماره ۲.
- زینالی، بتول؛ فروتن، مهدی؛ اخوت، سحر (۱۴۰۱)، بررسی همدید وسیعترین و مستمرترین یخبندانهای شمالغرب ایران. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی / سال یازدهم / شماره چهل و چهار.
- Davidson, D (1997), Frost and ways to minimise the risk, Australian Grapegrower and Winemaker, 403, 21-22.
- 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.
- Escobar, G. C. J., S. A. Bischoff., 1999. Meteorological

- types cold surges over tropical South America. *International Journal of Climatology* 25:215-241.
27. Rusticucci M, Vargas W. 1995. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. *Meteorological Applications* 2:291-300.
28. Scholefield, P (1994), Frost-is this the year?, *Australian Grapegrower and Winemaker*, 370, 31-64.
29. 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.
30. Cohen, J., Agel, L., Barlow, M., Furtado, J. C., Kretschmer, M., & Wendt, V. (2022). The "polar vortex" winter of 2013/2014. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(17), e2022JD036493.
31. Kolstad, E. W., Lee, S. H., Butler, A. H., Domeisen, D. I., & Wulf, C. O. (2022). Diverse surface signatures of stratospheric polar vortex anomalies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(20), e2022JD037422.
32. Zhang, Y., Si, D., Ding, Y., Jiang, D., Li, Q., & Wang, G. (2022). Influence of major stratospheric sudden warming on the unprecedented cold wave in East Asia in January 2021. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39(4), 576-590.
- 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.
20. 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.
21. Linacre, ET and Geerts, B, (1997), *Climates and Weather Explained*, Routledge, London.
22. Müller GV, Nuñez MN & Seluchi M (2000), Relationship between ENSO Cycles and Frost Events within the Pampa Humeda Region. *Int. Journal of Climatology*, 20, 1619-1637.
23. Müller, GV, Ambrizzi, T & Nuñez, MN (2005), Mean atmospheric circulation leading to generalized frosts in Central Southern South America, *Theor. Appl. Climat*, 82, 95-112.
24. Oke, T, (1987), *Boundary Layer Climates*, Routledge, London.
25. 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.
26. Pezza AB, Ambrizzi T. 2005. Dynamical conditions and synoptic tracks associated with different

Investigating the role of anomalous tropospheric-stratospheric circulation in the occurrence of widespread frosts in Iran

Tahmine chehreara ziabari¹, Hasan Haji mohammadi^{2*}

¹ Assistant Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, Payame Noor University, Iran

² PhD of Synoptic Climatology, Geography Department, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: Ha.hajimohammadi@stu.um.ac.ir

Received: 1 February 2022 , accepted: 05 May 2022

ABSTRACT

Freezing temperatures are one of the climatic phenomena that have the ability to cause damage in different parts. Therefore, it is very important to know this phenomenon and understand its mechanism. In this regard, in order to investigate the different tropospheric and stratospheric dimensions of Iran's pervasive ice, the minimum temperature statistics of 130 synoptic stations were used in the cold period of the year (November to March), during the statistical period of 35 years (1986-2020). Also, to study atmospheric conditions, data from the National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) with a horizontal resolution of 2.5 x 2.5 degrees and data from the European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF) ERA5 Land section with a resolution of 0.125 x 0.125 geographic degrees were used. Finally, in order to know the origin of the air mass that entered the region during the occurrence of widespread frosts, it was tracked from the Lagrangian model (HYSPLIT) in the retrograde method from three days before the cold period. The results showed that 4 dominant patterns play a role in the occurrence of widespread frosts in the region as follows. The first pattern: the Mediterranean and Black sea ridge, the second pattern: the eastern European ridge-Ganges valley, the third pattern: Eastern European blocking, the fourth pattern: polar low pressure, which is the main route of cold air and its transfer into Iran at 500 degrees up to 200 hectopascals. The abnormal circulation of the atmosphere showed that the occurrence of this phenomenon in Iran is the result of the interaction between the upper troposphere and the lower troposphere, and the cold vertical advection and the downward expansion of cold air from the lower stratosphere into the troposphere and the occurrence of anomalies in the polar region, the formation of reverse blocking and warming in The lower stratosphere is one of the main mechanisms in the formation of atmospheric circulation patterns during severe frosts in Iran.

Keywords: Frosts, Meteorological Anomalies, Troposphere, Stratosphere, Iran

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Chehreara ziabari, T.; Haji mohammadi, H. (2022). Investigating the role of anomalous tropospheric-stratospheric circulation in the occurrence of widespread frosts in Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 5(2): 114-131

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

