

الگوهای همدیدی منجر به ناهنجاری‌های دمایی سه دهه اخیر در غرب و شمال غرب ایران

آزاده اربابی سبزواری^{۱*}، آنوش کرمی میرعزیزی^۲، قاسم عزیزی^۳

۱- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران، ایران

۲- دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران،

ایران

۳- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

در این مقاله ناهنجاری‌های دمایی و الگوهای همدیدی مرتبط با آن مورد واکاوی قرار گرفته است. برای این منظور داده‌های دمای روزانه ۳۱ ایستگاه همدید برای بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ مرتب‌شده‌اند و با استفاده از شاخص نمره استاندارد Z ناهنجاری‌های دمایی مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد در بیش از ۵۰ درصد موارد دمای کمینه ماه‌های سرد در شرایط ناهنجار قرار دارد. فراوانی ناهنجاری‌های منفی و مثبت به هم نزدیک است و با اختلاف جزئی دوره‌های گرم بیشتر تکرار شده‌اند. همچنین از نظر شدت غالب ناهنجاری‌ها از نوع ضعیف و متوسط هستند و رخدادهای شدید و بسیار شدید به ندرت اتفاق افتاده‌اند. نتایج همدید نشان داد که شارش نصف‌النهاری جریان‌ات عرض‌های میانه علت اصلی ناهنجاری‌های دمایی این منطقه از کشور هستند. در الگوهای غالب منجر به این شرایط، قرارگیری منطقه مورد مطالعه در ناحیه همگرایی بالایی پشته حاکم بر روی اروپا سبب فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا و قرارگیری آن در ناحیه واگرایی بالایی ناوه بادهای غربی موجب فرارفت هوای گرم عرض‌های پایین شده است.

کلید واژه‌ها: غرب و شمال غرب، ناهنجاری دمایی، تحلیل خوشه‌ای، الگوهای همدیدی.

مقدمه

هرگونه تغییر در موازنه انرژی بین اجزا تشکیل دهنده سامانه اقلیم، منجر به واکنش سامانه شده و تغییراتی را در جهت رسیدن به یک نقطه توازن دیگر ادامه خواهد داد (عزیزی، ۱۳۸۳). در طی چند دهه گذشته، گرم شدن کره زمین در سراسر جهان مشاهده شده است که علت اصلی آن به فعالیت‌های انسانی، به ویژه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است، که عمدتاً نتیجه رشد اقتصادی و جمعیتی است که از دوران پیش از تولید صنعتی آغاز شده است (استرن و کافمن، ۲۰۱۴؛ پانل بین المللی تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). از آنجا که درجه حرارت در سیستم جهانی آب و هوا و چرخه انرژی نقش مهمی ایفا می‌کند، وقایع مکرر دمای حداقل و دمای حداکثر احتمالاً تأثیر بسزایی بر هیدرولوژی، کشاورزی، اکوسیستم‌ها و جنبه‌های مختلف زندگی انسان مانند مرگ و میر، عوارض جانبی، سلامتی و آسایش خواهد گذاشت (ترنبرت، ۲۰۱۱؛ وانگ، ۲۰۱۳؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ لینگو همکاران، ۲۰۱۵؛ نگو و هورتن، ۲۰۱۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۷). تغییرات آب و هوا باعث تغییر سیستم‌های طبیعی و انسانی در تمام قاره‌ها و اقیانوس‌ها شده است. احتمال زیاد وجود دارد که تغییرات آب و هوا قبلاً باعث شده تا گونه‌های زمینی، آب شیرین و دریایی گونه‌ها و رفتارهای جغرافیایی خود را تغییر دهند. همچنین شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد بازده محصول در طیف وسیعی از مناطق تأثیر منفی داشته و تغییرات آب و هوایی بر سیستم‌های هیدرولوژیکی و منابع آب تأثیر گذاشته است. (پانل بین المللی تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). پیش‌بینی افزایش دما ۲-۶ درجه سانتی‌گراد، علاوه بر گازهای گلخانه‌ای، که می‌تواند صدها سال در جو بماند، زندگی انسان، حیوان و گیاه را بر روی زمین دگرگون می‌کند (اوری، ۲۰۱۵). آژانس ملی هوانوردی و فضایی (ناسا) با اندازه‌گیری دمای سطح زمین ضمن اشاره به اینکه در بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ میانگین دمای کره زمین ۱۴.۷ تثبیت شده تأکید گردیده است، این ارقام از میانگین قرن بیستم ۰.۸ درجه بیشتر است (ساسکیند و همکاران، ۲۰۱۹). باگذشت زمان، الگوهای آب و هوایی غیرثابت است و اغلب در دوره‌های نسبتاً کوتاه تغییرات ناگهانی را نشان می‌دهد. شناسایی این تغییرات ناگهانی، که به‌عنوان نقاط تغییر شناخته می‌شوند، مهم است زیرا به تمایز

بین تغییرات قابل تشخیص در روند آب و هوایی و محیط زیست و تغییرات تصادفی کوتاه مدت ذاتی در سیستم‌های طبیعی کمک می‌کند. آگاهی از نقاط تغییر آب و هوایی به تعیین و درک تغییرات عمده در سیستم‌های اقلیمی کمک خواهد کرد و برای مدیریت و برنامه‌ریزی در برابر سوانح بالقوه متمر ثمر خواهد بود (فیشر و همکاران، ۲۰۱۲). روند افزایش دما با افزایش حداکثر دما و حداقل دما در سراسر جهان همراه است (کروگر و سیکلر، ۲۰۱۳؛ فونسکا و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش ناهنجاری‌های دمایی تأثیر قابل توجهی در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مصرف برق و آب و ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تلفات محصول و هزینه‌های مربوط به گرما را به همراه دارد (الور و همکاران، ۲۰۰۱؛ پنگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ کومو و رحمستورف، ۲۰۱۲؛ ژانو و همکاران، ۲۰۱۶). زمستان‌های گرم در اروپا در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۶ به عنوان ناهنجاری‌های دمایی توسط گوستافستون در ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت و به‌عنوان یک مخاطره طبیعی خسارات زیادی به اقتصاد کشورهای اروپایی وارد کرده است (گوستافستون، ۲۰۱۶). از دیگر تحقیقات در زمینه ناهنجاری‌های دمایی می‌توان به مطالعه (یو و همکاران، ۲۰۱۹) اشاره کرد آن‌ها در مطالعه خود به بررسی تغییرات دمایی جهان پرداختند و نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در اقیانوس‌ها ناهنجاری‌ها دمایی بیشتری نسبت به زمین وجود دارد، و همچنین ناهنجاری‌ها در عرض‌های جنوبی بیشتر از عرض‌های شمالی است. پانل بین دول تغییر اقلیم (IPCC) در سال ۱۹۸۸ میلادی توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO) و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP) تأسیس شد. مأموریت اصلی پانل بین دول تغییر اقلیم، ارزیابی ریسک تغییرات آب و هوایی بوده است. IPCC به تهیه گزارش‌هایی بر مبنای سایر منابع مطالعاتی و تحقیقاتی می‌پردازد که بتواند راهگشای سیاست‌گذاری کلان در سطح بین‌المللی در زمینه کاهش مخاطرات محتمل تغییر اقلیم شود. تغییر اقلیم به‌آرامی در حال گسترش به سراسر کره زمین است و تأثیر آن بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ ۱۳۳۶). عزیزی و همکاران نیز با داده‌های ماهانه ۱۶ متغیر اقلیمی، در دو گروه متغیرهای دما و رطوبت طی دوره ۵۰ ساله مبتنی بر تحلیل آماری چند متغیره و مدل‌های پیش‌بینی باکس

۱ مشخصات ایستگاههای انتخابی را نشان می‌دهد. برای ایجاد یک پایگاه داده با پایه آماری یکسان داده‌ها برای دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ مرتب‌شده‌اند. پس از جمع‌آوری داده‌های دمای حداکثر و حداقل‌های روزانه، به بازسازی داده‌های ناقص پرداخته شد. با توجه به توصیه‌های سازمان جهانی هواشناسی (گزارش ۱۱۸۶، ۲۰۰۳) مبنی بر عدم بازسازی بیش‌ازحد داده‌ها (بیش از ۱۰٪)، ضمن توجه به این مهم، بررسی داده‌های خلأ نشان داد که در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه، تنها متغیر دمای حداکثر تعداد محدودی از ایستگاه‌ها، از مقدار مجاز تحدی نموده و در سایر ایستگاه‌ها این میزان بسیار کم بود. در ادامه، با استفاده از میانگین بلندمدت روزانه هر یک از ایستگاه‌ها اقدام به بازسازی داده‌های خلأ گردید. سپس به بررسی نرمال و همگن بودن داده‌ها پرداخته شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، از آزمون اندرسون دارلینگ در محیط نرم‌افزار Minitab استفاده گردید. هدف مطالعه حاضر بررسی الگوهای غالب در ناهنجاری‌های دمایی دوره سرد سال است.

برای رسیدن به اهداف تحقیق ترکیبی از روش‌های آمار و همدمیدی استفاده شده است. در قسمت آماری ابتدا ناهنجاری‌های دمایی با استفاده از شاخص Z توسط رابطه ۱ استخراج گردید (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴) و (حیدری و خوش اخلاق، ۱۳۹۶):

$$Z = \frac{(x - \bar{x})}{s} \quad (1)$$

Z مقدار استاندارد شده دما، \bar{X} و X به ترتیب متوسط دمای همراه و دمای هرروز موردنظر در طول دوره آماری و S مقادیر انحراف معیار ماه مذکور است. سپس برای طبقه بندی نمرات شاخص Z و تعیین شدت‌های مختلف ناهنجاری دمایی ماه‌های سرد سال، به بررسی پژوهش‌های مرتبط پرداخته شد. پرزیبالک و همکاران ۲۰۰۵ در هلند و گسایت و همکاران ۲۰۱۶ در ناحیه بالتیک از طبقه‌بندی ارائه شده توسط ماهراس و همکاران (۱۹۹۹) در ناحیه مدیترانه استفاده کرده‌اند. با توجه به دامنه زیاد حد نرمال (۰.۷ تا -۰.۷) در طبقه بندی ارائه شده توسط آنها و براساس شرایط دمایی منطقه مورد مطالعه، از طبقه‌بندی رحیمی قویدل و همکاران (۱۳۹۵) که به منظور شناسایی امواج سرمای شمالغرب کشور ارائه شده است، مطابق جدول شماره ۲ استفاده گردید.

جنکینز، به بررسی تغییر اقلیم پرداختند. با توجه به محاسبه‌های صورت گرفته بر روی داده‌ها، متغیرهای دمایی به‌ویژه میانگین حداقل دما، حداقل مطلق و دمای نقطه شبنم دارای روند تغییرات معنی‌دار ولی با جهت‌های متفاوت بودند. در حالی که داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نیستند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی چرخه اتمسفری می‌باشد که بر اثر ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند پارامترهای هواشناسی، از جمله بارندگی و دما حاصل می‌شود. دما یکی از مهم‌ترین متغیرهای آب‌وهوایی است که تغییر آن منشأ بسیاری از تغییرات زیست‌محیطی است. اثرات تغییرات دما در زندگی انسان‌ها و حتی موجودات دیگر، انسان را با دغدغه دیگری در این دنیای واقعی مواجه کرده است که سبب‌ساز شکل‌گیری تحقیقات زیادی در این رابطه شده است. به‌طوری‌که مطالعات صورت گرفته در رابطه با این عنصر حاکی از عدم تغییر یکسان دمایی در همه نقاط جهان است یعنی شدت و زمان افزایش دما در همه‌جا یکسان نیست (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴ در تحقیقی به شناسایی الگوهای همدمیدی مؤثر در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمایی ایران و اروپا پرداختند و نتایج کار ایشان نشان داد که چهار حالت مختلف دمایی (سرد، گرم هماهنگ و دوره‌های سرد و گرم مخالف) بین ایران و اروپا مشاهده می‌شود. همچنین از لحاظ همدمیدی در دوره سرد شکل‌گیری سامانه بندالی و پشته قوی روی اروپا و اطلس سبب وقوع دمای حداقل فرین در ایستگاه‌های ایران می‌شود و در دوره گرم تقویت و تغییر در موقعیت پرفشار جنب‌حاره‌ای عامل اصلی ثبت دماهای فرین حداکثر شده است. از دیگر تحقیقات در زمینه ناهنجاری‌های دمایی می‌توان به کارهای (علیچانی و قویدل، ۱۳۸۴؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴؛ جمالی زاده و همکاران، ۱۳۹۸ و کرمی میر عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹) اشاره کرد. هدف این تحقیق شناسایی ناهنجاری‌های دمایی و الگوهای غالب در شمال غرب و غرب کشور در دوره سرد سال می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های جوی ۳۱ ایستگاه از ایستگاه‌های سینوپتیک شمال غرب تا غرب ایران استفاده شده است جدول

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی در دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ شمال غرب و غرب ایران

ردیف	شهر	طول جغرافیایی		شهر	ردیف	عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا
		درجه	دقیقه			درجه	دقیقه		درجه	دقیقه	
۱	اراک	۷۸	۴۹	۷	۳۴	۱۷۰۲۸	۱۷	۱۳۴۹	۱۲	۳۴	۱۳۴۹
۲	اردبیل	۳۳	۴۸	۶۶	۳۷	۱۳۳۵.۲	۱۸	۱۱۴۸	۴۸	۳۳	۱۱۴۸
۳	خوی	۵۷	۴۴	۳۳	۳۸	۱۱۳۰	۱۹	۷۷.۸	۴۷	۶۱	۳۹
۴	ارومیه	۴	۴۵	۳۳	۳۷	۱۳۳۲	۲۰	۷۳۶.۲	۶۰	۹۳	۳۸
۵	اهر	۴	۴۷	۲۸	۳۸	۱۳۴۱	۲۱	۱۵۷۵	۲۱	۲۰	۳۶
۶	تبریز	۳۰	۴۶	۸	۳۸	۱۳۵۱	۲۲	۱۶۵۹	۵۲	۶۶	۳۶
۷	مراغه	۱۵	۴۶	۳۵	۳۷	۱۳۴۴	۲۳	۱۶۸۲	۵۳	۹۳	۳۷
۸	میانه	۷۰	۴۷	۴۵	۳۷	۱۱۰	۲۴	۵۴۵	۸۷	۴۵	۳۴
۹	پیرانشهر	۱۴	۴۵	۶۹	۳۶	۱۵۰۲	۲۵	۱۵۵۷	۴۹	۱۵	۳۶
۱۰	تکاب	۱۱	۴۷	۴۰	۳۶	۱۷۶۵	۲۶	۱۳۶۳	۱	۲۵	۳۵
۱۱	سقز	۲۷	۴۶	۲۴	۳۶	۱۴۷۶	۲۷	۱۴۱۱	۳۹	۳۸	۳۹
۱۲	بیجار	۵۲	۴۷	۸۷	۳۵	۱۹۴۰	۲۸	۱۶۸۰	۶۹	۴۸	۳۵
۱۳	ایلام	۲۶	۴۶	۳۸	۳۳	۱۴۲۷	۲۹	۱۷۹۷	۵۴	۶۱	۳۷
۱۴	الیگودرز	۶۷	۴۹	۳۷	۳۳	۲۰۲۲	۳۰	۱۲۷۹	۶	۵۰	۳۶
۱۵	همدان	۵۲	۴۸	۸۰	۳۴	۱۷۴۱	۳۱	۱۴۶۸	۹۸	۴۷	۳۴
۱۶	کرمانشاه	۶	۴۷	۳۱	۳۴	۱۴۰۰					

جدول ۲- طبقات ناهنجاری دمایی بر مبنای شاخص استاندارد شده دما (Z)

شدت ناهنجاری دمایی	مقدار شاخص Z	ردیف
گرم ضعیف	۰.۹۹ تا ۰.۵	۱
گرم متوسط	۱ تا ۱.۹۹	۲
بسیار گرم	۲ تا ۲.۹۹	۳
بی نهایت گرم	۳ و بیشتر	۴
نرمال	-۰.۵ تا ۰.۵	۵
سرد ضعیف	-۰.۹۹ تا -۰.۵	۶
سرد متوسط	-۱ تا -۱.۹۹	۷
بسیار سرد	-۲ تا -۲.۹۹	۸
بی نهایت سرد	-۳ و کمتر	۹

رویکرد هم‌مدیدی مطالعه حاضر محیطی به گردشی است. در همین راستا روزهایی انتخاب گردید که در ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقدار نمره Z حداقل دما +۱ و بزرگتر (برای ناهنجاری گرم) و -۱ و کوچکتر (برای ناهنجاری سرد) بوده است. بر اساس این شرط، ۳۷۸ روز دارای ناهنجاری منفی و ۲۹۱ دارای ناهنجاری مثبت استخراج گردید. با توجه به حجم زیاد داده‌ها برای تعیین الگوهای

هم‌مدیدی منجر به ناهنجاری دمایی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. بدین منظور داده‌های ارتفاع ژئو پتانسیلی با استفاده از برنامه نویسی در محیط نرم افزار اقلیمی GrADS تبدیل به داده‌های متنی شدند و با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی عامل‌های اصلی مشخص گردید. به منظور گروه‌بندی الگوها، ابتدا داده‌های ارتفاع ژئو پتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از آرایه S

همین راستا روزهایی انتخاب گردید که در ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقدار نمره Z حداقل دما +۱ و بزرگتر (برای ناهنجاری گرم) و -۱ و کوچکتر (برای ناهنجاری سرد) بوده است. بر اساس این شرط، ۳۷۸ روز دارای ناهنجاری منفی و ۲۹۱ دارای ناهنجاری مثبت استخراج گردید. با توجه به حجم زیاد داده‌ها برای تعیین الگوهای

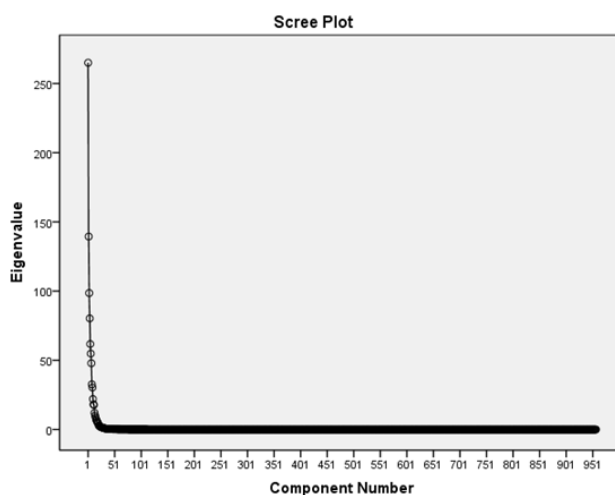
درجه شمالی، در جنوب منطقه معتدله نیمکره شمالی و همچنین در ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است که به تنوع آب و هوا در آن منجر شده است، به گونه‌ای که اقلیم‌های معتدل و مرطوب در سواحل جنوبی و دریای خزر، اقلیم سرد در کوهستانهای غرب، اقلیم گرم و خشک در فلات مرکزی و اقلیم گرم و مرطوب سواحل جنوبی آن را پوشش می‌دهد (Fao, 2015).

حوزه مورد نظر از دو دامنه (تو در تو) که ابعاد آنها دارای نقاط شبکه افقی ۱۷۳×۱۲۴ و ۲۲۲×۲۱۳ با فاصله ۳۰ کیلومتر برای درشت‌ترین دامنه (d01) و ۱۰ کیلومتر برای دامنه دوم (d02) می‌باشد، که به ترتیب منطقه خاورمیانه و ایران را شامل می‌شود (شکل ۱). WRF از مختصات عمودی فشار هیدرواستاتیک زیر زمین استفاده می‌کند (Skamarock et al., 200). در این مطالعه از ۳۷ تراز سیگمای قائم بالاترین سطح در ۶۰ هکتوپاسکال است. داده‌های استاتیک مربوط به پستی-بلندی (کوهساری)، کاربری زمین، نوع خاک و سپیدایی از داده‌های جهانی (Geog) بارگذاری شد. در طول این مطالعه بر روی دو دوره زمانی مختلف تمرکز شده است: فصل خشک و فصل مرطوب در منطقه مورد مطالعه، شامل بازه زمانی شبیه‌سازی شده ۱-۲۸ فوریه سال ۲۰۱۰ و ۱-۳۱ اوت سال ۲۰۱۰ می‌باشد. جزئیات کامل مربوط به پیکربندی مدل، تعداد نقاط شبکه و تفکیک افقی و قائم برای هر دو دامنه به همراه جزئیات مربوط به شرایط شبیه‌سازی عدد در جدول ۱ آورده شده است.

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی تجزیه و تحلیل و برای استخراج مؤلفه‌هایی با بارگویه بالا و متمایز از یکدیگر ماتریس عامل‌ها با روش واریماکس چرخش داده شد. با توجه به نمودار اسکرین پلات (شکل ۱) و جدول واریانس تبیین شده (جدول ۳) ۱۳ عامل حدود ۹۰ درصد رفتار اقلیمی ماه‌های سرد را توجیه می‌کند. سپس با روش خوشه بندی سلسله مراتبی وارد روزهای استخراج شده براساس نمرات عاملی هر یک از مؤلفه‌ها طبقه‌بندی شدند. در نهایت ۴ الگوی کلی برای ناهنجاری‌های منفی و ۵ الگوی کلی برای ناهنجاری‌های مثبت دمایی حاصل شد (شکل ۲). با انتخاب الگوهای مورد مطالعه، نقشه‌های همدیدی در ترازهای مختلف جو با استفاده از نرم افزار اقلیمی GrADS تهیه گردید. داده‌های مورد استفاده برای این قسمت شامل: دمای سطح زمین، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و مؤلفه ۷ می‌باشد که از سایت نوا دریافت گردید.

منطقه مورد مطالعه و پیکربندی مدل

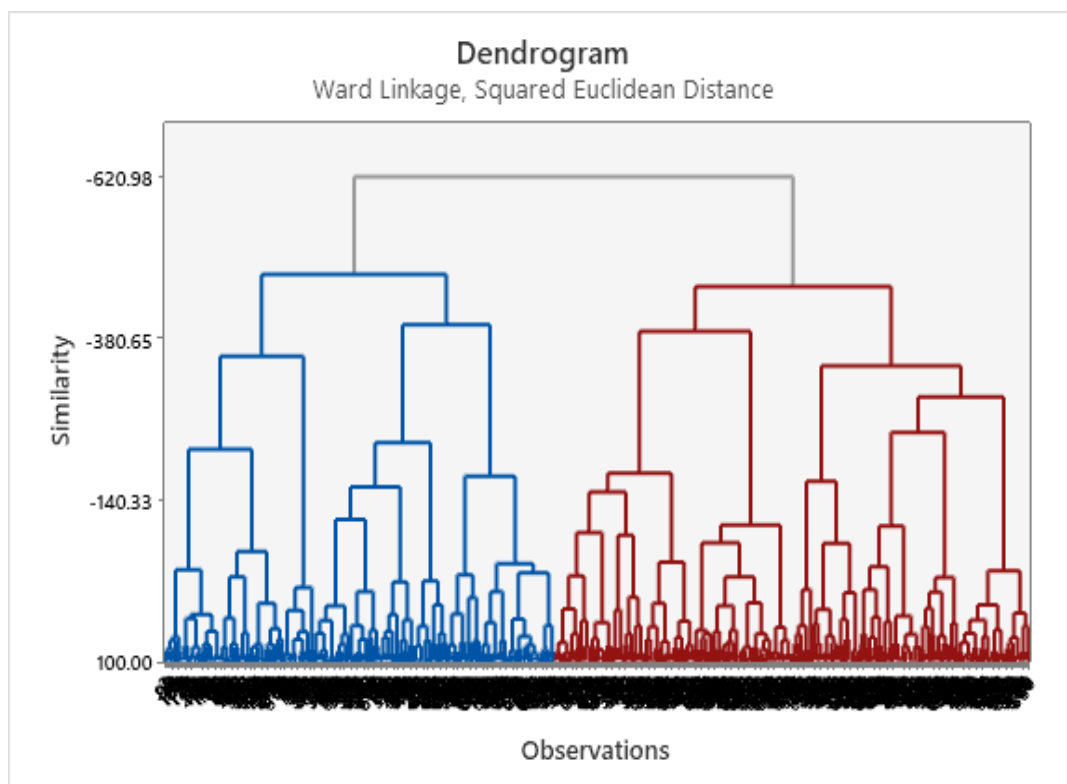
منطقه مورد مطالعه کشور ایران و بخشی از کشورهای همجوار آن می‌باشد. ایران کشوری است که در جنوب غربی آسیا واقع شده است و دارای جغرافیای بسیار متنوعی است. ایران، دومین کشور بزرگ خاورمیانه است که از شمال غرب با ارمنستان و آذربایجان، از شمال با دریای خزر، از شمال شرق با ترکمنستان، از شرق با افغانستان و پاکستان، از جنوب با خلیج فارس و دریای عمان و در غرب با عراق و ترکیه هم مرز است. قرارگیری ایران بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰



شکل ۱- نمودار اسکرین پلات برای نمایش ارزش ویژه عامل‌ها

جدول ۳- مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تراکمی

مجموع واریانس تبیین شده						مؤلفه
مجموع مربع بارهای استخراج شده بعد از دوران			نمرات ویژه اولیه			
درصد واریانس تجمعی	درصد واریانس	مجموع	درصد واریانس تجمعی	درصد واریانس	مجموع	
۱۲.۴	۱۲.۴	۱۱۸.۲	۲۷.۷	۲۷.۷	۲۶۵.۰	۱
۲۴.۲	۱۱.۹	۱۱۳.۸	۴۲.۳	۱۴.۶	۱۳۹.۴	۲
۳۲.۹	۸.۶	۸۲.۵	۵۲.۶	۱۰.۳	۹۸.۶	۳
۴۰.۸	۷.۹	۷۵.۴	۶۰.۹	۸.۴	۸۰.۳	۴
۴۸.۶	۷.۹	۷۵.۲	۶۷.۴	۶.۵	۶۱.۷	۵
۵۶.۴	۷.۸	۷۴.۷	۷۳.۱	۵.۷	۵۴.۸	۶
۶۳.۱	۶.۷	۶۴.۰	۷۸.۱	۵.۰	۴۷.۹	۷
۶۸.۹	۵.۸	۵۵.۴	۸۱.۵	۳.۴	۳۲.۶	۸
۷۳.۷	۴.۸	۴۶.۱	۸۴.۷	۳.۲	۳۰.۳	۹
۷۸.۰	۴.۳	۴۰.۸	۸۷.۰	۲.۳	۲۲.۰	۱۰
۸۲.۲	۴.۲	۴۰.۱	۸۸.۹	۱.۹	۱۸.۱	۱۱
۸۶.۳	۴.۱	۳۹.۶	۹۰.۷	۱.۹	۱۷.۸	۱۲
۸۹.۹	۳.۶	۳۴.۴	۹۲.۰	۱.۳	۱۲.۰	۱۳

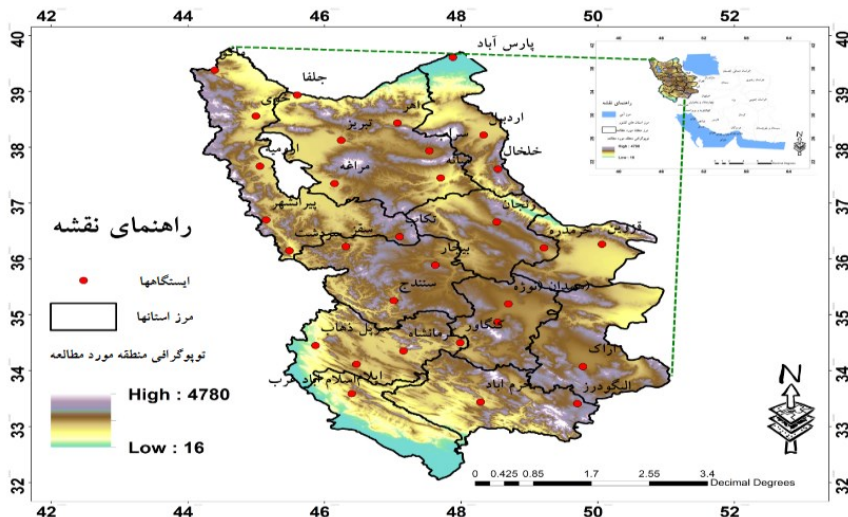


شکل ۲- نمودار درختی الگوهای همدیدی مؤثر بر ناهنجاری‌های دمایی ماه‌های سرد در غرب و شمال غرب کشور

۵۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه قرار دارد. این منطقه از سمت غرب به کشور عراق و ترکیه، و از سمت شمال به کشورهای آذربایجان و ارمنستان و از طرف شرق به دیگر استان‌های داخلی ایران محدود شده است.

منطقه مورد مطالعه

سرزمین مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و



شکل ۳- موقعیت منطقه و ایستگاه‌های شمال غرب و غرب ایران

سپس ژانویه این اختلاف به بیشترین مقدار می‌رسد و ناهنجاری‌های مثبت به ترتیب ۵.۳ و ۵ درصد بیشتر رخ داده‌اند. بیشترین و کمترین فراوانی رخداد‌های سرد در نوامبر مربوط به ایستگاه‌های کنگاور، کرمانشاه (۳۵ درصد) و اراک (۲۵ درصد)، در دسامبر ایستگاه‌های اراک (۴۳ درصد) و خوی (۲۲ درصد)، در ژانویه ایستگاه‌های خرم‌آباد (۳۲ درصد) و اسلام‌آباد (۲۱ درصد)، در فوریه ایستگاه‌های خرم‌آباد (۳۱ درصد) و اردبیل (۲۲ درصد)، در مارس ایستگاه‌های ایلام (۳۳ درصد)، بیجار و پیرانشهر (۲۴ درصد) و در آوریل ایستگاه‌های کرمانشاه (۳۵ درصد) و اراک (۲۴ درصد) است. همچنین بیشترین و کمترین فراوانی رخداد‌های گرم در نوامبر مربوط به ایستگاه‌های سردشت (۳۵ درصد) و اراک (۲۶ درصد)، در دسامبر ایستگاه‌های تکاب (۳۵ درصد) و خوی (۲۶ درصد)، در ژانویه ایستگاه‌های سقز (۳۶ درصد) و خرم‌آباد (۲۷ درصد)، در فوریه ایستگاه‌های تکاب (۳۶ درصد) و سرپل‌ذهاب (۲۷ درصد)، در مارس ایستگاه‌های پارس‌آباد (۳۳ درصد) و اردبیل (۲۵ درصد) و در آوریل ایستگاه‌های قزوین، خرمدره (۳۳ درصد) و اردبیل (۲۷ درصد) است.

بررسی فراوانی شدت‌های مختلف ناهنجاری دمایی (شکل ۴) نشان می‌دهد، که غالب رخداد‌های سرد و گرم در ماه‌های سرد سال از نوع ضعیف و متوسط هستند و ناهنجاری‌های شدید و بسیار شدید دمایی در غرب و شمال‌غرب کشور از فراوانی بسیار پایینی برخوردار می‌باشند. در مقیاس کل منطقه

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که بیان شد این تحقیق در دو بخش آماری و همدیدی انجام شده است. در بخش آماری، فراوانی ناهنجاری‌های دمایی بر اساس شدت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

الف: یافته‌های آماری

جدول (۴) درصد فراوانی ناهنجاری‌های منفی و مثبت دمایی و همچنین فراوانی دوره‌های نرمال برای ماه‌های سرد سال را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که رخداد ناهنجاری دمایی در ایستگاه‌های مطالعاتی قابل توجه است و بیش از ۵۰ درصد سال‌های مورد مطالعه در غرب و شمال‌غرب کشور دمای کمینه از حالت بهنجار بلند مدت نوسان داشته است. این وضعیت برای تمام ماه‌های سرد سال (نوامبر تا آوریل) مشاهده می‌شود. البته در موارد جزئی مثل ایستگاه خوی در دسامبر، اسلام‌آباد در ژانویه و پیرانشهر در مارس درصد فراوانی رخداد‌های نرمال ۵۰ درصد و حتی کمی بیش از آن است. درصد رخداد ناهنجاری‌های سرد و گرم در کل منطقه مورد مطالعه به هم نزدیک است و با اختلاف جزئی دوره‌های گرم بیش از دوره‌های سرد تکرار شده‌اند. البته میانگین درصد فراوانی‌ها نشان می‌دهد که در ماه آوریل ناهنجاری منفی دمایی حدود ۰.۵ درصد بیشتر از ناهنجاری مثبت اتفاق افتاده است. گرچه رخداد‌های سرد و گرم در کل منطقه اختلاف چندانی با هم ندارند، با این حال در فوریه و

ایستگاه‌های استان قزوین، زنجان، سنندج و کرمانشاه در ماه‌های نوامبر و آوریل مشاهده می‌شوند.

ناهنجاری‌های بسیار گرم و بسیار سرد کمتر از ۶ درصد رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. در این طبقه، بیشتر ناهنجاری منفی (سرد) در ماه‌های ژانویه و فوریه و بیشتر ناهنجاری مثبت (گرم) در ماه‌های آوریل و مارس اتفاق افتاده‌اند. همچنین ناهنجاری منفی با اختلاف جزئی بیشتر از ناهنجاری مثبت حادث شده است. به‌طوریکه طی ماه‌های مورد مطالعه فراوانی رخدادهای بسیار سرد در بیشتر ایستگاه‌ها بین ۲ تا ۴ درصد و فراوانی رخدادهای بسیار گرم بین ۱ تا ۳ درصد است.

رخدادهای بی نهایت سرد نیز بیشتر از بی نهایت گرم در غرب و شمال‌غرب کشور اتفاق افتاده‌اند. البته این رخدادها کمتر از ۲ درصد فراوانی وقوع داشته‌اند. از نظر زمانی تکرار دوره‌های بی نهایت گرم در ماه مارس نمود بیشتری نسبت به دیگر ماه‌های دوره سرد سال دارد، در حالیکه دوره‌های بی نهایت سرد نامنظم بوده و رخداد آنها از دسامبر تا مارس در ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده شده است. با این حال در اکثر ایستگاه‌ها ماه فوریه دارای بیشترین فراوانی وقوع است.

ب: یافته‌های همدیدی

همان‌طور که بیان شد برای شناسایی الگوهای موثر بر ناهنجاری‌های دمایی ماه‌های سرد در منطقه مطالعاتی از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد و در مجموع ۹ الگوی کلی (۵ الگوی برای ناهنجاری سرد و ۵ الگو برای ناهنجاری‌های گرم) شناسایی گردید. فراوانی هر یک از این الگوهای گردشی در جدول شماره ۵ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که رخداد ناهنجاری‌های سرد بیشتر تحت تاثیر دو الگوی پشته اروپا و سامانه بندالی و ناهنجاری‌های گرم تحت تاثیر دو الگوی ناوه بادهای غربی و پشته جنب حاره قرار دارند. در ادامه وضعیت گردشی این دو الگوی غالب واکاوی می‌شوند.

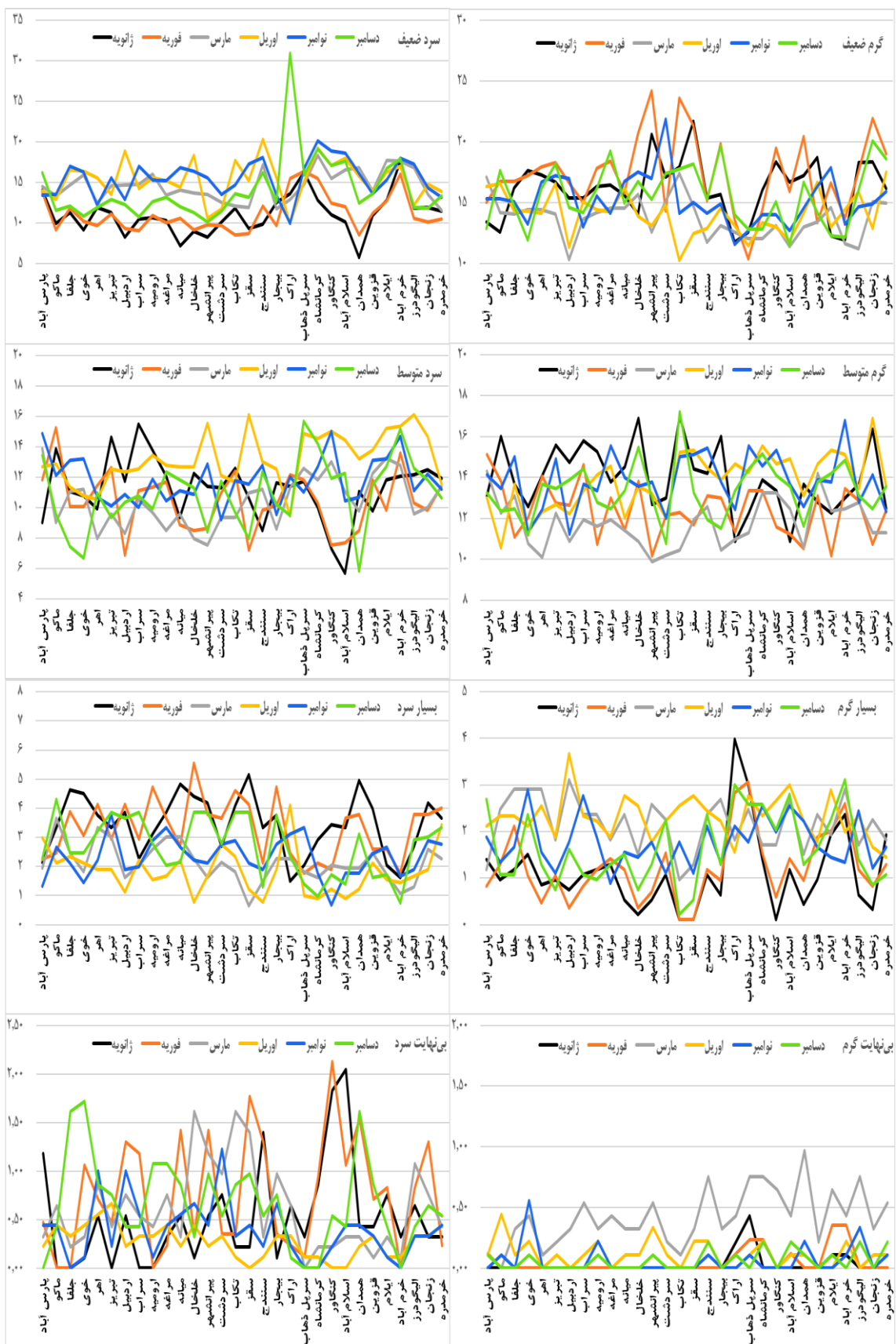
مورد مطالعه، به طور متوسط ۱۱ تا ۱۵.۵ درصد ناهنجاری‌های سرد دمایی از نوع ضعیف و ۱۰ تا ۱۳ درصد آنها از نوع متوسط هستند. همچنین ناهنجاری‌های گرم ضعیف ۱۳.۵ تا ۱۷.۴ درصد و گرم متوسط ۱۲ تا ۱۴ درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

رخدادهای سرد ضعیف در نوامبر و آوریل فراوانی بیشتر و در ژانویه و فوریه فراوانی کمتری دارند. از نظر مکانی، دوره‌های سرد ضعیف در همدان و قزوین از کمترین فراوانی وقوع به خصوص در ژانویه و فوریه برخوردار هستند. بیشترین فراوانی ناهنجاری ضعیف سرد نیز در ماه دسامبر و در ایستگاه اراک با ۳۱ درصد مشاهده شده است. توزیع زمانی رخدادهای سرد متوسط چندان منظم نیست، با این حال در اغلب ایستگاه‌ها آوریل دارای بیشترین فراوانی و فوریه و مارس دارای کمترین فراوانی هستند. از نظر مکانی بیشترین ناهنجاری سرد متوسط مربوط به الیگودرز و سقز با فراوانی ۱۶ درصد در ماه آوریل و کمترین آن به ترتیب با ۵.۷ و ۵.۸ درصد مربوط به اسلام آباد در ماه ژانویه و همدان در ماه دسامبر است.

مطابق شکل (۴) در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، ناهنجاری‌های گرم ضعیف در فوریه و ژانویه از بیشترین و در مارس و آوریل از کمترین تکرار برخوردار هستند. از منظر مکانی، بالاترین فراوانی رخداد گرم ضعیف در ایستگاه‌های پیرانشهر (۲۴.۲ درصد) و تکاب (۲۳.۶) در فوریه و کمترین فراوانی آن در آوریل ایستگاه تکاب (۱۰.۲ درصد) و مارس ایستگاه اردبیل (۱۰.۳ درصد) مشاهده شده است. البته در مجموع ماه‌های سرد سال، ایستگاه‌های اردبیل و سرپل ذهاب دارای کمترین فراوانی ناهنجاری‌های ضعیف گرم هستند و افت خطوط نمودار در این دو ایستگاه بارزتر از سایر ایستگاه‌ها است. فراوانی رخدادهای گرم متوسط در دوره سرد سال اختلاف زیادی با هم دارند و از ۱۰ (ماه مارس در پیرانشهر) تا ۱۷.۲ درصد (ماه دسامبر در تکاب) در نوسان است. با این حال در اکثر ایستگاه‌ها کمترین فراوانی رخداد متعلق به ماه مارس است. این در حالی است که نمی‌توان برای فراوانی‌های بالا نظم زمانی خاصی متصور شد و در برخی نقاط بویژه ایستگاه‌های آذربایجان و اردبیل بیشترین فراوانی رخدادهای گرم متوسط در ژانویه و در اکثر

جدول ۴- درصد فراوانی رخداد ناهنجاری‌های دمایی در ایستگاه‌های شمال غرب و غرب کشور (۱۹۸۹-۲۰۱۸)

ایستگاه	نوامبر			دسامبر			ژانویه			فوریه			مارس			آوریل		
	سرد	گرم	نرمال	سرد	گرم	نرمال	سرد	گرم	نرمال	سرد	گرم	نرمال	سرد	گرم	نرمال	سرد	گرم	نرمال
پارس آباد	۳۰	۳۱	۳۹	۳۲	۲۹	۳۹	۲۶	۲۸	۴۶	۲۸	۴۱	۳۱	۳۱	۳۷	۳۰	۳۲	۳۹	
ماکو	۲۹	۳۰	۴۱	۲۶	۳۱	۴۳	۲۷	۳۰	۴۳	۲۷	۴۱	۳۲	۲۷	۲۹	۲۸	۳۰	۴۲	
چلغا	۳۲	۳۲	۳۶	۲۴	۲۸	۴۸	۲۷	۳۱	۴۲	۲۶	۴۴	۳۰	۲۶	۴۱	۳۰	۳۱	۳۹	
خوی	۳۱	۲۸	۴۱	۲۲	۲۶	۵۳	۲۵	۳۲	۴۴	۲۴	۴۵	۳۰	۲۴	۲۸	۳۰	۲۸	۴۲	
اهر	۲۶	۳۱	۴۳	۲۷	۳۱	۴۲	۲۶	۳۲	۴۲	۲۶	۴۲	۳۲	۲۶	۲۸	۲۹	۲۹	۴۲	
تبریز	۳۰	۳۳	۳۷	۲۷	۳۲	۴۱	۲۹	۳۳	۳۸	۲۷	۴۱	۳۲	۲۹	۲۸	۲۹	۳۱	۴۰	
اردبیل	۲۷	۳۰	۴۳	۲۷	۳۰	۴۳	۲۴	۳۱	۴۵	۲۲	۴۵	۳۰	۲۲	۲۵	۲۵	۲۳	۲۷	
سراب	۳۰	۲۹	۴۱	۲۶	۳۰	۴۵	۲۸	۳۲	۳۹	۲۴	۴۵	۳۰	۲۴	۲۸	۲۸	۲۹	۴۰	
ارومیه	۳۰	۳۱	۳۹	۲۶	۳۰	۴۴	۲۸	۳۳	۴۰	۲۷	۴۰	۳۰	۲۷	۲۹	۳۱	۳۱	۳۸	
مرآغه	۲۹	۳۱	۴۰	۲۹	۳۳	۲۸	۲۷	۳۲	۴۲	۲۶	۴۲	۳۳	۲۶	۲۹	۳۰	۳۱	۳۹	
میانه	۳۱	۳۲	۳۶	۲۷	۳۰	۴۳	۲۲	۳۱	۴۷	۲۴	۴۷	۳۱	۲۲	۲۸	۲۷	۳۱	۳۹	
خلخال	۳۰	۳۳	۳۷	۲۷	۳۳	۴۰	۲۶	۳۱	۴۳	۲۴	۴۳	۳۱	۲۶	۲۸	۳۲	۳۰	۳۸	
پیرانشهر	۳۱	۳۳	۳۶	۲۳	۳۰	۴۷	۲۴	۳۴	۴۲	۲۴	۴۲	۳۴	۲۴	۲۴	۲۸	۲۸	۴۴	
سردشت	۲۷	۳۵	۳۸	۲۷	۳۰	۴۳	۲۵	۳۱	۴۴	۲۵	۴۴	۳۱	۲۵	۲۵	۲۸	۲۹	۴۴	
تکاب	۳۰	۳۱	۳۹	۲۸	۳۵	۴۳	۲۷	۳۱	۴۳	۲۶	۴۳	۳۰	۲۶	۲۹	۳۲	۲۸	۴۰	
سقز	۳۱	۳۱	۳۷	۲۶	۳۲	۴۲	۲۵	۳۶	۴۲	۲۵	۴۲	۳۲	۲۶	۲۸	۳۳	۳۱	۳۷	
سنندج	۳۳	۳۲	۳۵	۳۰	۳۰	۴۰	۲۳	۳۱	۴۶	۲۵	۴۶	۳۱	۲۳	۲۹	۳۰	۳۰	۳۶	
بیجار	۲۶	۳۰	۴۴	۲۷	۳۲	۴۰	۲۸	۳۲	۴۰	۲۵	۴۰	۳۲	۲۸	۲۴	۳۰	۳۱	۳۹	
لرک	۲۵	۲۶	۴۸	۲۷	۳۰	۴۳	۲۷	۳۰	۴۶	۲۷	۴۶	۳۰	۲۷	۲۷	۲۹	۲۹	۴۷	
سرپل ذهاب	۳۱	۳۰	۳۹	۳۳	۳۰	۴۳	۲۷	۳۰	۴۱	۲۸	۴۱	۳۰	۲۷	۲۹	۳۱	۲۹	۴۰	
کرمشاه	۳۵	۳۱	۳۴	۳۴	۳۱	۳۴	۳۱	۲۷	۴۲	۳۱	۴۲	۳۰	۲۹	۳۲	۲۸	۳۱	۳۴	
کنگاور	۳۵	۳۱	۳۴	۳۱	۳۱	۳۴	۲۸	۲۴	۴۵	۲۴	۴۵	۳۲	۲۴	۲۹	۳۱	۳۳	۳۶	
اسلام آباد	۳۱	۲۹	۴۰	۲۹	۳۲	۴۰	۲۸	۳۲	۴۰	۲۱	۴۰	۳۰	۲۴	۲۷	۳۰	۳۰	۳۷	
همدان	۲۹	۳۰	۴۱	۲۳	۳۰	۴۷	۲۲	۳۱	۴۶	۲۲	۴۶	۳۱	۲۲	۲۹	۳۰	۳۰	۴۰	
قزوین	۳۰	۳۲	۳۹	۲۸	۳۰	۴۳	۲۵	۳۲	۴۲	۲۶	۴۲	۳۲	۲۶	۲۸	۲۹	۳۳	۳۷	
ایلام	۳۱	۳۳	۳۶	۳۳	۲۹	۴۰	۲۷	۲۷	۴۶	۲۶	۴۶	۳۲	۲۶	۳۰	۳۳	۳۱	۳۶	
خرم آباد	۳۴	۳۱	۳۴	۳۴	۳۴	۳۰	۳۶	۳۲	۴۱	۴۱	۴۱	۳۱	۳۶	۲۷	۳۲	۳۲	۳۴	
الیگودرز	۳۱	۳۰	۳۹	۲۸	۳۱	۴۱	۲۷	۳۳	۴۰	۲۶	۴۰	۳۳	۲۷	۲۹	۳۰	۳۲	۳۸	
زنجان	۳۰	۳۰	۴۰	۲۷	۳۳	۳۹	۲۹	۳۵	۳۶	۲۵	۳۶	۳۴	۲۵	۲۷	۲۹	۳۲	۳۷	
خرمهره	۲۸	۳۰	۴۲	۲۸	۳۳	۳۹	۲۷	۳۱	۴۲	۲۶	۴۲	۳۳	۲۶	۲۹	۲۹	۳۳	۳۸	
میاندکین	۳۰	۳۱	۳۹	۲۸	۳۱	۴۱	۲۶	۳۱	۴۲	۲۶	۴۲	۳۱	۲۶	۲۸	۳۱	۳۰	۳۹	



شکل ۴- فراوانی شدت‌های مختلف ناهنجاری دمایی در منطقه مورد مطالعه بر حسب درصد (۲۰۱۸-۱۹۸۹)

ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده شده است. با این حال در اکثر ایستگاه‌ها ماه فوریه دارای بیشترین فراوانی وقوع است.

ب: یافته‌های همدیدی

همان‌طور که بیان شد برای شناسایی الگوهای موثر بر ناهنجاری‌های دمایی ماه‌های سرد در منطقه مطالعاتی از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌های استفاده شد و در مجموع ۹ الگوی کلی (۵ الگوی برای ناهنجاری سرد و ۵ الگو برای ناهنجاری‌های گرم) شناسایی گردید. فراوانی هر یک از این الگوهای گردش در جدول شماره ۵ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که رخداد ناهنجاری‌های سرد بیشتر تحت تأثیر دو الگوی پشته اروپا و سامانه بندالی و ناهنجاری‌های گرم تحت تأثیر دو الگوی ناوه بادهای غربی و پشته جنب حاره قرار دارند. در ادامه وضعیت گردش این دو الگوی غالب واکاوی می‌شوند.

ناهنجاری‌های بسیار گرم و بسیار سرد کمتر از ۶ درصد رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. در این طبقه، بیشتر ناهنجاری منفی (سرد) در ماه‌های ژانویه و فوریه و بیشتر ناهنجاری مثبت (گرم) در ماه‌های آوریل و مارس اتفاق افتاده‌اند. همچنین ناهنجاری منفی با اختلاف جزئی بیشتر از ناهنجاری مثبت حادث شده است. به‌طوریکه طی ماه‌های مورد مطالعه فراوانی رخدادها بسیار سرد در بیشتر ایستگاه‌ها بین ۲ تا ۴ درصد و فراوانی رخدادها بسیار گرم بین ۱ تا ۳ درصد است.

رخدادهای بی‌نهایت سرد نیز بیشتر از بی‌نهایت گرم در غرب و شمال‌غرب کشور اتفاق افتاده‌اند. البته این رخدادها کمتر از ۲ درصد فراوانی وقوع داشته‌اند. از نظر زمانی تکرار دوره‌های بی‌نهایت گرم در ماه مارس نمود بیشتری نسبت به دیگر ماه‌های دوره سرد سال دارد، در حالیکه دوره‌های بی‌نهایت سرد نامنظم بوده و رخداد آنها از دسامبر تا مارس در

جدول ۵- فراوانی الگوهای منجر به ناهنجاری دمایی در غرب و شمال غرب کشور

الگوهای ناهنجاری گرم		الگوهای ناهنجاری سرد		ردیف
فراوانی	نام الگو	فراوانی	نام الگو	
۲۲	بندال	۸۰	بندال	۱
۶۲	پشته جنب حاره	۲۰۴	پشته اروپا	۲
۳۷	مداری	۶۸	سردچال	۳
۱۳۶	ناوه	۲۶	تاوه قطبی	۴
۳۴	سردچال			۵
۲۹۱	مجموع	۳۷۸	مجموع	۶

غربی تحت تأثیر جریانات شمال‌غربی قرار دارد که سبب فرارفت هوای سرد از عرض‌های ۵۵ تا ۴۵ درجه روی منطقه مورد مطالعه شده است. با توجه به قدرت این سامانه اثرات آن در ترازهای زیرین جو هم قابل مشاهده است. بطوریکه نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز نشان دهنده قرارگیری مناطق غربی کشور در یال شرقی پشته شکل گرفته بر روی اروپا است (شکل ۵B). از این رو فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا در امتداد ناحیه همگرایی پشته، زمینه ساز کاهش شدید دما در منطقه مورد مطالعه شده است. فرافت هوای سرد ترازهای بالا منجر به گسترش شرق سوی زبانه‌های مرکز پرفشار شکل گرفته روی اروپا در تراز دریا و توسعه زبانه‌های آن تا مرزهای غربی کشور

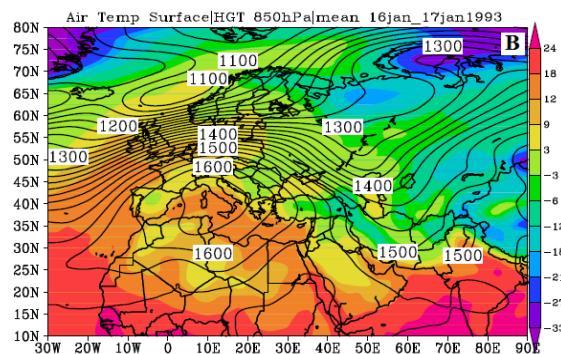
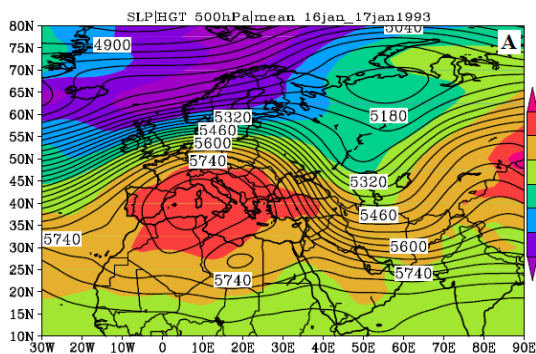
ناهنجاری‌های سرد دمایی

• الگوی پشته اروپا

بر اساس نتایج تحلیل خوشه‌ای، این الگو دلیل ۵۴ درصد از ناهنجاری‌های سرد دمایی در منطقه مورد مطالعه است. بررسی نقشه‌های همدیدی تراز میانی جو در روز نماینده این الگو نشان می‌دهد (شکل ۵A) بسته شدن یک سلول پر ارتفاع در مدیترانه منجر به شکل‌گیری پشته‌ای قوی روی قاره اروپا و نصف‌النهاری شدن شارش بادهای غربی می‌شود. گردش و اچرخندی هوا داخل این پشته باعث نزول و ریزش هوای سرد در جلو آن و تعمیق ناوه بادهای غربی در امتداد دریای خزر شده و تحت این شرایط نیمه غربی کشور بواسطه قرار گرفتن در محدوده تاوایی منفی بادهای

ناهنجاری منفی دمایی در غرب و شمال غرب کشور فراهم شده است.

شده است. در نتیجه پایداری هوا در لایه‌های مختلف جو، شرایط مساعدی برای ماندگاری هوای سرد و رخداد

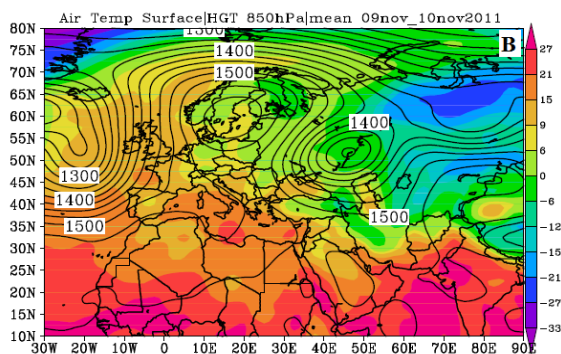
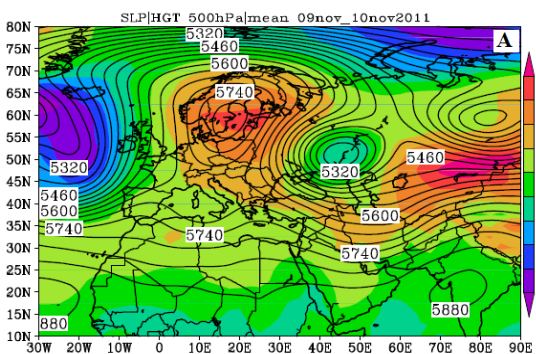


شکل ۵: (A) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا؛ (B) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای سطح زمین در تاریخ ۱۶ تا ۱۷ ژانویه ۱۹۹۳.

زمینه‌ساز ریزش هوای بسیار سرد از عرض‌های جنب قطبی به سوی شاخه جنوبی سامانه بندالی و به داخل ناوه شرقی سامانه امگا و نواحی اطراف آن شده است. در نتیجه جریانات شمالغربی و فرارفت هوای سرد از اروپا به سمت عرض‌های پایین‌تر، در منطقه مورد مطالعه دما کاهش شدیدی پیدا کرده است. بررسی همزمان نقشه‌های همدید در تراز دریا، سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال حاکی از انطباق و همسویی آنها با تراز میانی جو است (شکل ۶B) و بدلیل قدرت زیاد سامانه بندالی امگا شکل اثرات آن در لایه‌های پایین جو به خوبی قابل مشاهده است. بطوریکه فرارفت هوای سرد از سمت اروپا بر روی منطقه مورد مطالعه در ترازهای مختلف جوی تداوم دارد و با توجه به بلوکه شدن جریان بادهای غربی، دما هوا در غرب و شمال غرب کشور برای چند روز کاهش قابل توجهی داشته است.

• الگوی بندالی

سامانه‌های بندالی با مختل نمودن روند معمول بادهای غربی، دوشاخه نمودن آنها و تبدیل شارش مداری به نصف‌النه‌ای تأثیر بسزایی در ناهنجاری‌های اقلیمی مناطق تحت تأثیر خود دارند. طی دوره مورد بررسی ۲۱ درصد از ناهنجاری‌های سرد دمایی در غرب و شمال غرب کشور بخاطر شکل‌گیری این سامانه‌ها به‌وقوع پیوسته است. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل متر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶A) نشان می‌دهد که در اواخر دهه اول نوامبر ۲۰۱۱، یک سامانه بندالی امگا شکل در شمال اروپا شکل گرفته است، که مرکز پرارتفاع آن روی شمال و غرب اروپا و ناوه سمت شرق آن روی شرق اروپا و شمال دریای خزر قرار دارد. بر اثر شکل‌گیری این سامانه، وزش بادهای غربی به شدت نصف‌النه‌ای شده است و پشته پرارتفاع بندالی در مناطق غربی اروپا تا نواحی قطبی کشیده شده است. این شرایط



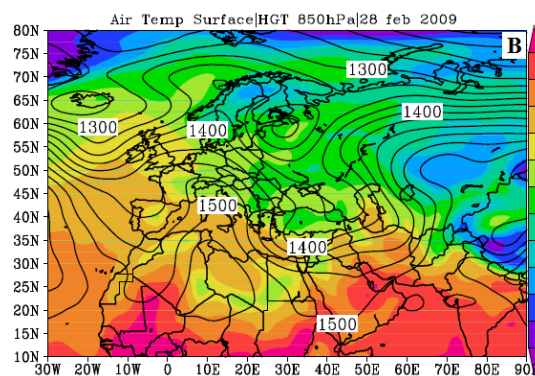
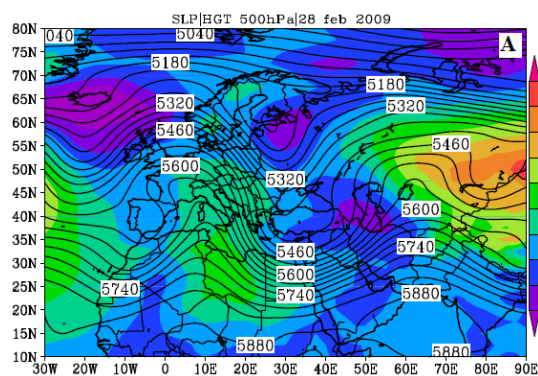
شکل ۶: (A) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا؛ (B) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای سطح زمین در تاریخ ۰۹ تا ۱۰ نوامبر ۲۰۱۱.

ناهنجاری گرم دمایی

• الگوی ناوه

قرارگیری ناوه بویژه در نواحی شرق مدیترانه و حاکمیت جریانات جنوب غربی در منطقه مورد مطالعه، الگوی غالب ناهنجاری‌های گرم دمایی (۴۷ درصد) در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. واکاوی نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده این الگو نشان می‌دهد (شکل ۷A) که بواسطه جهت‌گیری نصف‌النهاری پشته جنب‌حاره در شمال‌غرب آفریقا و اتصال آن به پشته بادهای غربی و توسعه آن تا شمال‌غرب اروپا، ناوه بادهای غربی در شرق مدیترانه عمیق شده و زبانه‌های آن با جهت شمالی-جنوبی تا شمال شرق آفریقا و جنوب عربستان توسعه یافته است. به تبع آن، مرکز پراارتفاع جنب‌حاره‌ای عربستان به سمت شرق جابجا شده و پشته آن با محور جنوبی-شمالی متوجه پاکستان و افغانستان شده است. تحت این شرایط بخش اعظم کشور ایران بویژه نیمه‌غربی آن زیر یال شرقی ناوه بادهای غربی یعنی منطقه واگرایی هوا قرار دارد و جریانات جنوب‌غرب از شمال آفریقا متوجه منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شرایط تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشابه

وضعیت تراز میانی جو است (شکل ۷B). به‌طوری‌که بواسطه گسترش پشته در اطلس و غرب اروپا و ریزش هوای سرد یال شرقی آن روی شرق اروپا و مدیترانه، ناوه بادهای غربی تقویت شده و تا خلیج فارس توسعه یافته است. منطقه مطالعاتی در ناحیه واگرایی بالایی و تاوایی مثبت ناوه قرار گرفته است. این شرایط زمینه‌ساز فرارفت جریانات گرم جنوب‌غربی از روی عربستان، سوریه و عراق به سمت ایران و منطقه مورد مطالعه شده است. شرایط فشار سطح دریا نیز نشان می‌دهد (شکل ۷B)، به‌واسطه قرار گرفتن بخش زیاد کشور در ناحیه واگرایی بالایی ناوه بادهای غربی، مرکز کم‌فشاری به صورت دینامیکی در غرب خزر شکل گرفته که زبانه‌های آن علاوه بر ایران، روی عراق، سوریه و عربستان هم گسترش یافته است. گردش پادساعتگرد هوا در این سامانه شرایط مساعدی برای انتقال هوای گرم از روی سوریه و بویژه عراق به سمت منطقه مورد مطالعه فراهم نموده است. در نتیجه فرارفت هوای گرم به‌واسطه حاکمیت جریانات جنوب غربی در ترازهای بالا و تداوم آن تا تراز سطح دریا زمینه‌ساز گرم شدن و ناهنجاری مثبت دمایی شده است.



شکل ۷: (A) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا؛ (B) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای سطح زمین در تاریخ ۲۸ فوریه ۲۰۰۹.

• الگوی پشته جنب حاره

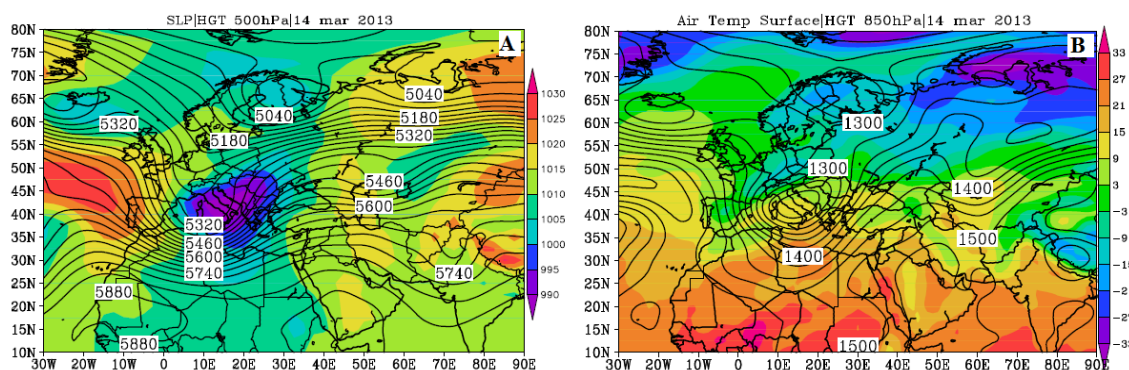
گسترش زبانه‌های پراارتفاع جنب حاره نیمه غربی ایران از مهمترین الگوهای است که منجر به ثبت دماهای گرم در ماه‌های سرد سال در این منطقه از کشور می‌شود. بطوریکه ۲۱.۳ درصد از روزهای دارای ناهنجاری‌های مثبت دمایی در غرب و شمال‌غرب کشور طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ به دلیل حاکمیت این شرایط بوده است. واکاوی نقشه‌های ارتفاع

ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز نماینده این الگو (شکل ۸A) نشان می‌دهد که بدلیل شکل‌گیری مرکز کم ارتفاع در غرب اروپا و با توجه به قدرت و گستردگی زیاد این سامانه، مرکز پراارتفاع آزرز و شمال آفریقا عقب‌نشینی کرده است. اروپای مرکزی و شرقی، ناحیه مدیترانه و حتی شمال آفریقا تحت تاثیر زبانه‌های این ناوه قرار دارند. تحت این شرایط، پشته پراارتفاع جنوب عربستان با جهت‌گیری

سلول بسته آن تا جنوب غرب ایران توسعه پیدا کرده است. در این حالت پشته این سامانه با توسعه به سمت شمال تا دریای خزر گسترش یافته و منطقه مطالعاتی را متأثر ساخته است و مانع از نفوذ بادهای غربی شده است. اثرات این پشته آشکارا در تراز دریا هم قابل مشاهده است، بطوری که منطبق با محور پشته، سلول پرفشار دینامیک در غرب ایران شکل گرفته است که زبان‌های آن منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. بنابر این واگرایی سطحی هوا و فرونشینی دینامیک در ترازهای فوقانی منجر به افزایش قابل توجه دما شده است.

نصف‌النهاری از جنوب عربستان تا دریای خزر توسعه یافته است. محور این پشته روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. در نتیجه فرونشینی دینامیک هوا و گرمایش ناشی از فرونشینی بی‌دررو شرایطی بسیار مساعد برای افزایش قابل توجه دما ایجاد کرده است.

با توجه به شدت قابل توجه حرکات نصف‌النهاری در تراز میانی جو، اثرات آن در ترازهای زیرین نیز قابل مشاهده است، بطوری که همزمان در نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۸B) مرکز پرفشار جنوب عربستان ضمن گسترده‌گی، جهت‌گیری کاملاً نصف‌النهاری دارد و



شکل ۷: (A) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا؛ (B) میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای سطح زمین در تاریخ ۱۴ مارس ۲۰۱۳.

بین رخداد ناهنجاری گرم و سرد با ۵.۳ درصد و ۵ درصد متعلق به ماه‌های فوریه و سپس ژانویه است. از منظر مکانی بیشترین و کمترین فراوانی ناهنجاری منفی مربوط به ایستگاه اراک با ۴۳ درصد در ماه دسامبر و ایستگاه اسلام‌آباد غرب با ۲۱ درصد در ماه ژانویه است. از سوی دیگر بیشترین و کمترین فراوانی ناهنجاری مثبت مربوط به ایستگاه سقز در ژانویه و تکاب در فوریه با ۳۶ درصد و ایستگاه اردبیل با ۲۵ درصد در ماه مارس است. از نظر شدت، غالب ناهنجاری‌های دمایی ماه‌های سرد سال از نوع ضعیف و متوسط می‌باشند و رخدادهای شدید و بسیار شدید دارای فراوانی بسیار پایینی هستند. بطوریکه به طور متوسط ۱۱ تا ۱۵.۵ درصد ناهنجاری‌های سرد از نوع ضعیف و ۱۰ تا ۱۳ درصد از نوع متوسط هستند. همچنین ناهنجاری‌های گرم ضعیف ۱۳.۵ تا ۱۷.۴ درصد و گرم متوسط ۱۲ تا ۱۴ درصد فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. رخدادهای سرد ضعیف و متوسط در

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق بررسی ناهنجاری‌های دمایی سه دهه اخیر و همچنین سامانه‌های همدیدی و الگوهای جوی منجر به رخداد آنها در غرب و شمال غرب ایران است. برای تعیین روزهای ناهنجار از شاخص نمره استاندارد Z و برای تعیین الگوهای همدیدی از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. نتایج آماری نشان داد رخداد ناهنجاری دمایی در غرب و شمال‌غرب کشور قابل توجه است و در حدود ۶۰ درصد سال‌های دوره آماری (۱۹۸۹-۲۰۱۸) دمای کمینه ایستگاه‌های همدیداز حالت بهنجار بلند مدت کمتر با بیشتر است. همچنین فراوانی رخداد ناهنجاری‌های سرد و گرم در کل منطقه مورد مطالعه به هم نزدیک و با اختلاف جزئی ناهنجاری مثبت بیش از ناهنجاری منفی تکرار شده است و فقط در ماه آوریل ناهنجاری منفی سرد حدود ۰.۵ درصد بیشتر از ناهنجاری گرم اتفاق افتاده است. بیشترین اختلاف

ناوه عمیق روی منطقه مورد مطالعه به همراه شرایط سطح زمین بویژه نفوذ پرفشار سیبری در رخداد سرماهای شمال غرب و غرب ایران تأکید کرده‌اند.

منابع

1. Babaian, A.; Najafi Nik, Z.; Zabul Abbasi, F.; Habibi Nokhandan, M.; Literature, H. ; Malbousi, Sh(1388). Evaluation of Climate Change in the Country in the Period 2010-2039 Using Micro-Exponential Scale of ECHO-G Atmospheric Circulation Model Data, Quarterly Journal of Geography and Development, Volume 7, Number 16, pp. 135-153.
2. Jamalzadeh, N.; Zohourian, M.; Lashkari, H.; Shakiba, A. R.. Mohammadi, Z (1398). Analysis of anomalies and changes in the dynamic structure of summer synoptic patterns in Khuzestan province. Geographical Quarterly Regional Planning, Volume 9, Number 4, Consecutive 36, pp. 863-874.
3. Heydari, M.A. Khoshaghlagh, F. (1396). Modeling the Relationship between Remote Link Indices and Warm Season Temperature Anomalies in Iran Using Multivariate Valve. Geography and Environmental Hazards, Volume 3, Number 6, pp. 47-66.
4. Darand, m.; Masoudian, A. (1394) Identification and analysis of anomaly patterns of thickness of Farin Iran Zamin colds (during the period 1340 to 1383). Geographical Research Quarterly, Volume 30, Number 3, Serial Issue, 118, pp. 105-120.
5. Dostkamian, M.; Jalali, M., Taherian, A. M. (1396). Statistical Analysis-Synoptic of Cold and Surround Waves in Northwest

نوامبر و آوریل بیشترین فراوانی و در ژانویه و فوریه کمترین فراوانی را دارند. در عوض فراوانی رخدادهای گرم ضعیف در فوریه و ژانویه بیشتر و در مارس و آوریل کمتر از ماه‌های دیگر است. همچنین ناهنجاری‌های بسیار گرم و بسیار سرد کمتر از ۶ درصد رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند که بیشترین ناهنجاری منفی در ژانویه و فوریه و بیشتر ناهنجاری مثبت در ماه‌های آوریل و مارس اتفاق افتاده‌اند. کریمی و کاکلی (۱۳۹۷) نیز در مطالعه ای مشابه بر فراوانی بیشتر رخدادهای سرمای سرد ضعیف و متوسط در ایستگاه‌های غرب ایران تأکید داشته‌اند. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای نشان داد ۵ الگوی کلی، رخداد ناهنجاری‌های گرم در غرب و شمال‌غرب کشور را کنترل می‌کنند. این الگوها عبارتند از: ناهه بادهای غربی با فراوانی ۵۴ درصد، پشته پرارتفاع جنب حاره با فراوانی ۲۱ درصد، سامانه‌های بندالی با فراوانی ۱۶ درصد، جریانات مداری با فراوانی ۱۰ درصد و سردچال‌های جوی با فراوانی ۵ درصد. در الگوهای ناهه، بندال و سردچال، قرارگیری منطقه مورد مطالعه در ناحیه تاوایی مثبت بادهای غربی سبب حاکمیت جریانات جنوب غربی و فرارفت هوای گرم از شمال آفریقا، عربستان، سوریه و عراق شده است. پیشروی زبانه‌های پرارتفاع جنب حاره به شمال و قرارگیری محور پشته آن روی منطقه مطالعاتی با ایجاد پایداری جوی و گرمایش آدیاباتیک تاثیر بسزایی در رخداد ناهنجاری‌های گرم ماه‌های سرد سال دارد. برای ناهنجاری‌های سرد دمایی ۴ الگوی کلی با توجه به داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شناسایی گردید. این الگوها عبارتند از پشته اروپا با فراوانی ۵۴ درصد، سامانه بندالی با فراوانی ۲۱ درصد، سردچال‌های جوی با فراوانی ۱۸ درصد و نفوذ جنوب سوی تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی با فراوانی ۸ درصد. در همه این الگوها، تغییر شارش بادهای غربی از مداری به نصف‌النهاری و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در زیر ناحیه تاوایی منفی بادهای غربی باعث حاکمیت جریانات شمال‌غربی و فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا و متعاقب آن کاهش دما شده است. در تحقیقات مشابه انجام شده همانند عزیززی و همکاران (۱۳۸۳)، عزیززی و همکاران (۱۳۹۱)، دوست کامیان و همکاران (۱۳۹۵)، قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) نیز بر نقش مهم سامانه‌های بندالی شکل گرفته روی اروپا و ایجاد

- and environmental hazards, No. 23, pp. 109-124.
14. Alijani, B.; Qavidel Rahimi, Y. (1384). Comparison of annual temperature changes in Tabriz with global temperature anomalies using linear regression and neural network methods, *Geography and Development*, No. 6, pp. 21-38.
 15. Qavidel Rahimi, Y. Farajzadeh, M.; Motalebizad, S. (1395). Statistical and synoptic analysis of cold waves in northwestern Iran. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Year 16, No. 40, pp.29-46.
 16. Karami Mir Azizi, A.; Arbabi Sabzevari, A.; Azizi, Q. (1399). Analysis of synoptic patterns leading to temperature anomalies and temperature changes in the warm period in the last three decades in the western and northwestern regions of Iran, *Natural Geography*, Volume 13, Number 47, p.
 17. Karimi Ahmadabadi, M.; Kaki, S. A. (1397). Statistical-Synoptic Analysis of Pervasive Cold Patterns in Western Iran, *Journal of Natural Hazards*, Volume 7, Number 18, pp.169-188.
 18. Naserzadeh, M. H.; Dostkamian, M.; Biranvand, A. (2015). Analysis of changes in Iranian temperature patterns within the last half century. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Space*, Islamic Azad University of Ahar, Volume 16, Number 53, pp. 193-201.
 19. WMO. (2003). Report 1186 Meteorological Organization.
 20. Coumou D, Rahmstorf S. (2012). A decade of weather extremes. *Nat Clim Chang* 2(7):491–496.
 21. Fischer, T., Gemmer, M., Liu, L. and Su, B. (2012). Change-points in climate extremes Iran, *Natural Geography Research*, No. 4, pp. 699-718.
 6. Tavosi, T.; Soraya, M.; Rahati, Z. (1389). Investigation of monthly temperature changes in Zahedan, ۴th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan, Sistan and Baluchestan University.
 7. Azizi, Q. (1383). Synoptic evaluation of spring glaciers in the western half of Iran, *Teacher of Geographical Sciences Quarterly*, No. 2, pp. 99-115.
 8. Azizi, Q. (1383). Climate change, Qoms, Tehran.
 9. Azizi, Q.; Shamsipur, A. Yarahmadi, D. (1387). Climate change recovery in the western half of the country using multivariate statistical analysis, *Natural Geography Research*, No. 66, pp. 19-35.
 10. Azizi, Q. ; Karimi Ahmadabadi, M. ; Light-skinned, Z. (1384). Temperature trend of recent decades in Iran and increase in atmospheric CO2, *Journal of Geographical Sciences*, Tarbiat Moallem University, Volume 4, Number 5, Fall and Winter 2004 and Spring and Summer pp. 25-43.
 11. Azizi, Q.; Mohammadi, H.; Rusta, A.; Davoodi, M. (1387). Synoptic analysis of wolves in the western and northwestern regions of Iran in the statistical period 1980-2005, *Geographical Space*, No. 39, pp. 37-58.
 12. Azizi, Q.; Miri, M.; Rahimi, M. (1394). Identifying effective synoptic patterns in the formation of temperature anomalies in Iran and Europe, *Natural Geography Research*, Volume 47, Number 1, pp 91-104.
 13. Askareh, H.; Shahbaei Kotnaei, A. (2016). Synoptic analysis of atmospheric patterns with winter cold waves in Iran, *Geography*

- atmospheric circulation patterns: a case study in the Wei River Basin, China. *J. Hydrol.* 548, 184–195.
30. Maheras, P., Xoplaki, E., Davies, T., Martin-Vide, J., Bariendos, M., Alcoforado, M.J. (1999). Warm and cold monthly anomalies across the Mediterranean Basin and their relationship with circulation; 1860–1990. *Intern. J. Climatology.* 19, 1697–1715.
 31. Ngo, N. S., & Horton, R. M. (2016). Climate change and fetal health: The impacts of exposure to extreme temperatures in New York City. *Environmental research*, 144, 158-164.
 32. Peng S. B., Huang J. L., Sheehy J. E., Laza R. C., Visperas R.M, Zhong X. H,... Cassman K.G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(27), 9971–9975.
 33. Przybylak, R., Majorowicz, J., Wojcik, G., Zielski, A., Chorazyczewski, W., Marciniak, K., Nowosad, W., Olinski, P., Syta, K. (2005). Temperature changes in Poland from the 16th to the 20th centuries. *Intern. J. Climatology*, 25, 773–791.
 34. Stern, D.I. and Kaufmann, R.K. (2014) Anthropogenic and natural causes of climate change. *Climatic Change*, 122(1–2), 257–269.
 35. Susskind, J., G.A. Schmidt, J.N. Lee, and L. Iredell. (2019). Recent global warming as confirmed by AIRS. *Environ. Res. Lett.*, 14, no. 4, 044030, doi:10.1088/1748-9326/aafd4e.
 36. Trenberth KE. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Clim Res* 47:123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953> .
 37. in the Zhujiang River basin, South China, 1961–2007. *Climatic Change*, 110, 783–799. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0123-8>.
 22. Fonseca, D., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. (2016). Recent trends of extreme temperature indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 66-76.
 23. Gustafson, K. (2016). A \$500m hit and a bleak forecast for retail. *CNBC*.
 24. Gecaite, I., Pogoreltsev, A. I., Ugryumov, A. I. (2016). Arctic oscilation impact on termal regime in the eastern part of the Baltic region. *Solar-Terrestrial Physics*, 2, 89–96.
 25. Huang, S., Chang, J., Huang, Q. et al. (2014). Spatio-temporal Changes and Frequency Analysis of Drought in the Wei River Basin, China. *Water Resour Manage* 28, 3095–3110. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0657-4>.
 26. IPCC. (2014) In: Pachauri, R.K. and Meyer, L. A. (Eds.) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team]*. Geneva: IPCC, 151 pp.
 27. Kruger, A. C., Sekele, S.S. (2013). Trends in extreme temperature indices in South Africa: 1962–2009. *Int. J. Climatol.* 33 (3), 661–676.
 28. Leng, G., Tang, Q., Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological, agri-cultural and hydrological droughts in China. *Glob. Planet. Chang.* 126, 23–34.
 29. Liu, S., Huang, S., Huang, Q., et al. (2017). Identification of the non-stationarity of extreme precipitation events and correlations with large-scale ocean-

42. Zhao Y., Sultan B., Vautard R., Braconnot P., Wang HJ., Ducharne A.(2016). Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China. *Proc Natl Acad Sci U S A* 113(17):4640–4645.
43. Yoshida, Y., Y. Ota, N. Eguchi, N. Kikuchi, K. Nobuta, H. Tran, I. Morino, and T. Yokota. "Retrieval algorithm for CO₂ and CH₄ column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite." *Atmospheric Measurement Techniques* 4, no. 4 (2011): 717-734.
38. Urry, J. (2015). Climate change and society. In: Michie, J. and Cooper, C.L.(Eds.)*Why the Social Sciences Matter*. London: Palgrave Macmillan
39. Valor E., Meneu V., Caselles V.(2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *J Appl Meteorol* 40(8):1413–1421.
40. Wang, D., Hagen, S.C., Alizad, K., (2013). Climate change impact and uncertainty analysis of extreme rainfall events in the Apalachicola river basin, Florida. *J. Hydrol.* 480 (4), 125–135.
41. Yu, M., & Ruggieri, E. (2019). Change point analysis of global temperature records. *International Journal of Climatology*, 39(8), 3679-3688.