

تحلیل فضایی- زمانی و هم‌دید امواج گرمایی و سرمایی در استان همدان

مهدی رضایی*

۱- دکتری فیزیک، اداره کل هواشناسی استان همدان، همدان.

چکیده

امواج گرمایی و سرمایی به عنوان دو پدیده مهم حدی آثار زیان‌باری بر جنبه‌های مختلف زندگی اجتماعی دارند. تاثیر رخداد این امواج در حوزه‌های مختلف مانند سلامت، انرژی، آب، کشاورزی و مدیریت بحران از اهمیت ویژه برخوردار است. در این پژوهش به مطالعه روند تغییرات زمانی، چگونگی توزیع فضایی و تحلیل سینوپتیک این دو پدیده مهم در سطح استان همدان در بازه سی ساله ۱۹۹۱-۲۰۲۱ پرداخته‌ایم. از آنجا که برای انجام یک مطالعه دقیق و کامل در این خصوص دست کم به داده‌های هواشناسی سی ساله ایستگاه‌ها نیاز داریم، از داده‌های چهار ایستگاه سینوپتیک هواشناسی فرودگاهی همدان، نوژه، ملایر و نهاوند استفاده نموده‌ایم. زیرا در سطح استان همدان تنها در این چهار ایستگاه در این بازه زمانی داده برداری انجام شده است. در این مطالعه امواج گرم با صدک ۹۰ ام دمای بیشینه و امواج سرد با صدک دهم دمای کمینه مشخص شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که فراوانی رخداد امواج گرم، شدت و مدت زمان ماندگاری این امواج در بازه زمانی مذکور در منطقه مورد مطالعه روند افزایشی داشته است. در مقابل برای امواج سرد در منطقه شاهد روند کاهشی در فراوانی رخداد، شدت و مدت زمان فعالیت امواج بوده‌ایم. بررسی چگونگی توزیع فضایی امواج نشان می‌دهد که پارامترهای مختلف امواج همبستگی معناداری با مختصه‌های جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه ندارد. بررسی الگوهای هم‌دیدي موثر در شکل‌گیری امواج مبین این نکته است که اکثر قریب به اتفاق امواج گرم فراگیر در منطقه با شکل‌گیری پر ارتفاع بسته در سطح ۵۰۰ میلی باری تحت تاثیر گسترش پرفشار جنب حاره‌ای آزور در سطوح میانی رخ می‌دهند. در مقابل چهار الگوی سینوپتیکی موثر در شکل‌گیری امواج سرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه شناسایی شدند. از بین چهار الگوی مذکور پرفشار مهاجر اروپایی و پر فشار سیبری به ترتیب عامل ایجاد چهل و سی درصد از امواج سرد مشاهده شده بودند.

کلید واژه‌ها: امواج گرمایی، امواج سرمایی، بحران‌های جوی، تغییر اقلیم، همدان.

مقدمه

پیش بینی روش‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده این پدیده‌ها بر جامعه است.

با توجه به اینکه شدت، گستردگی و تداوم امواج گرمایی و سرمای در مکان‌های مختلف متفاوت است، تعاریف متفاوتی نیز برای آن ارائه شده است. به طور مثال فرهنگ لغت وبستر موج گرما را یک دوره غیرمنتظره آب و هوای گرم تعریف می‌کند (مریام وبستر، ۲۰۰۱) در حالی که سازمان هواشناسی جمهوری چک موج گرمایی را یک دوره چند روزه در تابستان با حداکثر دمای روزانه بیش از ۳۰ درجه سلسیوس تعریف می‌کند (کیزلی، ۲۰۰۴). در سمت دیگر برای امواج سرد نیز بسته به اقلیم منطقه تعاریف متفاوتی وجود دارد. به طور مثال سرویس ملی هواشناسی ایالات متحده، موج سرد را افت شدید دما در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته تعریف می‌کند، به شکلی که ادامه فعالیت‌های اجتماعی، صنعتی و کشاورزی نیازمند مراقبت‌های خاص باشد (انجمن هواشناسی آمریکا، ۲۰۱۱). بر همین اساس می‌توان معیارهای متفاوتی برای تعیین موج گرما و سرما در نظر گرفت که در هر منطقه جغرافیایی بر اساس ویژگی‌های محیطی و اقلیمی آن منطقه مشخص می‌شوند. در گزارش سال ۲۰۱۹ کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC, 2019)، تداوم حضور یک توده هوای گرم بیش از نرمال در یک بازه زمانی چند روزه به عنوان تعریف موج گرمایی در نظر گرفته شده است. در این گزارش تداوم رخداد دمای بیشینه با اختلاف دمای ۵ درجه سلسیوس و بیشتر نسبت به نرمال بیشینه دما، در یک بازه زمانی حداقل ۵ روزه و بیشتر از آن، در یک منطقه، موج گرمایی در نظر گرفته شده است. در برخی از منابع نیز برای تعریف موج گرم و سرد به هر دو کمیت دمای کمینه و بیشینه به صورت همزمان توجه شده است. در این رویکرد روز گرم را روزی تعریف می‌کنند که دمای کمینه و بیشینه آن روز فراتر از مقدار میانگین بلند مدت این دو کمیت باشد. در واقع گرمای شبانه نیز در این دیدگاه لحاظ می‌شود. در سمت مقابل برای تعریف روزهای سرد نیز کمتر بودن دمای کمینه و بیشینه هر روز نسبت به مقادیر بلند مدت این دو کمیت در نظر گرفته می‌شود (سرانو، ۲۰۲۲).

در سالیان اخیر رخداد امواج گرم و سرد از جنبه‌های مختلف در برخی مناطق ایران نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تحلیل سینوپتیکی امواج سرد در شمال شرق و شمال غرب ایران به صورت جداگانه در پژوهش‌های (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛

بخش قابل توجهی از چالش‌های جوامع امروزی به بحران‌های آب و هوایی برمی‌گردد. بحران‌هایی که به واسطه بروز پدیده‌های آب و هوایی در یک منطقه رخ می‌دهند و علاوه بر ایجاد آسیب‌های مختلف اعم از مالی و جانی، جامعه را درگیر تبعاتی می‌کنند که در برخی موارد آثار و نتایج آنها تا بلند مدت ادامه می‌یابد. با توجه به تأثیر اقلیم هر منطقه بر زندگی ساکنان آن منطقه، داده‌های اقلیمی کاربرد گسترده‌ای در برنامه‌ریزی‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و محیطی دارند. پدیده گرمایش جهانی به عنوان یکی از مهمترین تغییرات آب و هوایی در سالیان اخیر، در مقیاس‌های مختلف منطقه‌ای و جهانی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (صابری، ۱۳۹۱). یکی از مهمترین آثار تغییر اقلیم افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های فرین مانند سیل، طوفان، یخبندان، امواج گرمایی، امواج سرمای و ... است. موج‌های گرمایی و سرمای از جمله تأثیرگذارترین پدیده‌های آب و هوایی هستند که هر سال پیامدهای زیست محیطی مخربی را به دنبال دارند (درگاهیان و رضایی، ۱۳۹۳). بررسی میزان مرگ و میر سالانه ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیشترین میزان مرگ و میر نسبت به دیگر رخداد‌های اقلیمی می‌شوند (NOAA, 2007). به همین شکل هر ساله امواج سرمای نیز در مناطق مختلف جهان باعث بروز خسارت‌های جانی و مالی فراوان می‌شوند. پژوهشگران زیادی در سال‌های اخیر به پدیده‌های آب و هوایی فرین، از جمله امواج گرمایی و سرمای توجه نموده‌اند که این توجه نشان دهنده تأثیر معنی‌دار این پدیده‌ها بر اکوسیستم و جوامع انسانی است (روهلی و کیم ۱۹۹۴؛ بنیستون و دیاز، ۲۰۰۴؛ مارکس و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهند که رخداد و تداوم امواج گرمایی با تغییرات اقلیمی، رو به افزایش است (تاینگ داینگ و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین رخداد امواج سرمای نیز در گذر زمان در مناطق مختلف جهان دچار تغییراتی شده است. در بسیاری از موارد همزمان با پدیده گرمایش جهانی، رخداد امواج سرمای روند کاهشی داشته است. پر واضح است که شناخت ویژگی‌های این امواج، شدت، تداوم و گسترش آنها ضروری بوده و کاهش پیامدهای ناشی از این پدیده‌ها نیازمند شناسایی ساز و کار، عوامل هواشناسی ایجاد کننده و

گرمایی ایران، دمای حداکثر روزانه ۴۹ ایستگاه سینوپتیک را در دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ با استفاده از شاخص صدک ۹۵ ام مورد استفاده قرار داده و پس از تعیین آستانه‌های دمایی ماهانه و تداوم سه روز و بیشتر در هر ماه میلادی از ایستگاه، موج گرما را تعریف نموده‌اند. نتایج آنها نشان داد بیشینه آستانه دما در نیمه جنوبی کشور و کمینه در نیمه شمالی اتفاق افتاده و نقش ارتفاعات در این خصوص چشمگیر است. اما بیش‌ترین امواج گرمایی ایران در نیمه غربی و به سمت شرق کاهش دارند. از منطقه کوهپایه داخلی ایران به سمت شمال و جنوب کشور (سواحل) و مناطق مرکزی، این پدیده اقلیمی روند کاهشی دارد. بر اساس نتایج آنها سری‌های زمانی نشان می‌دهد، مجموع فراوانی دهه‌ای امواج گرما در تمام ماه‌ها روند افزایشی داشته است، با این تفاوت که ماه‌های دوره سرد سال روند افزایشی معنادارتری و دوره گرم سال معناداری کمتری دارند. فلات ایران طی دهه ۲۰۰۰ بیشترین فراوانی امواج گرما را نسبت به دو دهه دیگر تجربه کرده است (اعتمادیان و دوستان، ۱۳۹۶).

در پژوهشی دیگر، نویسندگان به شناسایی، بررسی و تحلیل سینوپتیک امواج سرمایی با دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد و سردتر در شمال شرق ایران پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد بیشتر امواج سرمایی تحت تاثیر تسلط سیستم پرفشار در سطح زمین و رخداد بلاکینگ و به دنبال آن ناوه و پشته در سطوح فوقانی جو به وجود آمده‌اند. در اکثر روزهای مورد بررسی در این پژوهش، سیستم پرفشار ادغامی (پرفشار سیبری- پرفشار مهاجر غربی) در سطح زمین جریان داشته که بر شدت سرمای سطح زمین به شدت افزوده است (عالی‌جهان و همکاران، ۱۳۹۷).

رفتار مکانی و زمانی امواج گرمایی در ایران با استفاده از داده های دمای حداکثر روزانه در ۴۹ ایستگاه سینوپتیک ایران برای دوره اقلیمی ۱۹۸۰-۲۰۱۰، در مقاله‌ای دیگر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد ناحیه کوهستانی و کوهپایه‌ای با متوسط ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا در راستای رشته کوه البرز و زاگرس، بیشترین فراوانی وقوع موج گرما در مقیاس‌های زمانی مطالعه را داراست، و نواحی ساحلی (اعم از شمال و جنوب ایران) با

صادقی، ۱۳۹۱ و رحیمی قویدل و همکاران، ۱۳۹۵) بررسی شده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد بیشتر امواج سرد مشاهده شده در شمال غرب و به ویژه شمال شرق ایران، در اثر تقویت پرفشار سیبری و به دنبال آن ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر ایجاد می‌شوند. همچنین موج‌های گرمایی ایران و ویژگی‌های آنها مانند تداوم، شدت و فراوانی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۴۰-۱۳۸۲ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد موج‌های با تداوم بیشتر کم-رخداد بوده ولی درصد بیشتری از مساحت ایران را در بر گرفته‌اند و موج‌های کوتاه پررخداد بوده و در گستره کمتری از ایران اتفاق افتاده‌اند. در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوب رخداد موج گرما بیشتر بوده است. همچنین امواج گرم در دوره آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های پایانی بازه مورد مطالعه، پررخدادتر بوده‌اند. همچنین تحلیل سینوپتیکی امواج گرم و سرد در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که سه مرکز پرفشار اروپای شرقی، سیبری، پرفشار کوه‌های آلپ و کم‌فشار اورال با مرکزیت روی جلگه سیبری غربی عامل اصلی ایجاد موج‌های سرد حدی و مرکز فشار کم عربستان، پاکستان و خلیج فارس در مواقع حدی خود عامل اصلی ایجاد کننده امواج گرم در ناحیه مورد مطالعه بوده است (قاسمی فر و ناصرپور، ۱۳۹۶). در پژوهشی دیگر که توسط رحیمی و همکاران انجام شده، امواج گرمایی غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از شاخص بالدی و اعمال آن بر روی داده‌های حداکثر دمای روزانه ۳۶ ایستگاه هواشناسی مطالعه شده است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین شرایط ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، تاوایی قائم، باد مداری و نصف‌النهاری در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ هکتوپاسکال در بازه زمانی ۶ ساعته از سری داده‌های NCEP/NCAR تحلیل شده است. تحلیل نقشه‌های هم‌دید در این پژوهش نشان می‌دهد امواج گرمایی با استقرار سامانه‌های کم‌فشار حرارتی خلیج فارس و گنگ (موسومی‌ها) همراه با رطوبت، استقرار سیستم مانع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی و گسترش پرفشار پوششی آזור، تاوایی منفی و رودباد جنب حاره‌ای بر روی منطقه شکل می‌گیرند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶). علاوه بر این، اعتمادیان و همکاران برای تعیین الگوی مکانی امواج

متوسط ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر، کمترین موج گرما را تجربه می‌کند (دوستان و همکاران، ۱۳۹۹).

علاوه بر موارد بالا در (بهاروندی و همکاران، ۱۳۹۹)، نویسندگان با استفاده از شاخص روزانه بزرگی موج گرما، که هر دو عامل شدت و طول موج گرما را لحاظ می‌کند، امواج گرمایی ایران را در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ از لحاظ توزیع زمانی و مکانی مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد تعداد و بزرگی امواج گرمایی در کشور به شکل معنی‌داری در حال افزایش است. بیشترین افزایش تعداد متعلق به تابستان و بیشترین افزایش بزرگی متعلق به زمستان است.

با وجود تمام مطالعاتی که در بالا به آنها اشاره شد، هنوز کمبود پژوهشی که در آن امواج گرم و سرد از تمام جوانب و به صورت یک‌جا و مدون مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته باشد احساس می‌شود. در هر یک از پژوهش‌های ذکر شده در این مقدمه، به یکی از جنبه‌های رخداد یکی از پدیده‌های موج گرم و یا موج سرد پرداخته‌اند. در حالیکه مطالعه همزمان این دو پدیده، به ویژه از جنبه‌های مختلف می‌تواند ما را در شناخت بهتر این نوع پدیده‌ها یاری کند. علاوه بر این اگر چه برخی از جنبه‌های رخداد امواج گرم و سرد در مناطق مختلف کشور بررسی شده که در برخی از آنها نیز، وضعیت ایستگاه هواشناسی فرودگاهی همدان مورد بررسی قرار گرفته است، اما تا کنون پژوهشی که به صورت کامل و جامع وضعیت نقاط مختلف استان همدان را از این دیدگاه مورد بررسی قرار دهد انجام نشده است. استان همدان به عنوان استانی که اهم فعالیت‌های اقتصادی آن مبتنی بر کشاورزی و گردشگری است، به شدت در مقابل پدیده‌های آب و هوایی فرین آسیب پذیر است. از دیگر سو پهنه‌های مختلف استان همدان دارای تنوع زیادی از نظر آسایش آب و هوایی در طول سال است (ترکاشوند، ۱۳۹۴). از این رو نیاز به مطالعه رخداد امواج گرم و سرد در نقاط مختلف و گسترده در سرتاسر استان کاملاً مشهود است. بنابراین در پژوهش پیش رو، رخداد امواج گرمایی و سرمای را در بازه زمانی سی ساله در استان همدان مورد بررسی قرار داده‌ایم. در همین راستا سه کمیت فراوانی رخداد، شدت رخداد و طول مدت ماندگاری امواج به صورت همزمان مورد بررسی قرار گرفته و روند تغییرات این سه

کمیت در بازه زمانی مورد نظر برای نقاط مورد مطالعه، بررسی شده است. همچنین برای غنای بیشتر کار، با تحلیل سینوپتیکی رخداد این امواج، تلاش می‌کنیم مهمترین الگوهای سینوپتیکی به وجود آورنده امواج سرد و گرم در منطقه مورد مطالعه را مشخص کنیم. در این راستا از داده‌های هواشناسی چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب در منطقه و در بازه زمانی ۱۹۹۱-۲۰۲۱ استفاده شده است.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های ۳۰ ساله از چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منتخب در استان همدان مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب این ایستگاه‌ها بر اساس مدت زمان داده‌برداری، پراکندگی جغرافیایی و تکمیل بودن داده‌های تاریخچه‌ای بوده است. در کنار تمام موارد مذکور، وجود داده‌هایی که کنترل کیفی روی آنها انجام شده و از لحاظ دقت مورد تایید سازمان هواشناسی کشور قرار گرفته باشد نیز از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. فهرست و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است. همچنین موقعیت منطقه مورد مطالعه و موقعیت مکانی ایستگاه‌های منتخب بر روی شکل (۱) مشخص شده‌اند. همانگونه که در مقدمه گفته شد برای تعریف امواج گرم و سرد تعاریف متفاوتی وجود دارد. در این مقاله برای تعریف این امواج گام-های زیر را در نظر گرفته ایم:

تعیین دمای آستانه: جهت تعیین مقدار آستانه دمایی برای روز n ام سال در هر ایستگاه، ابتدا یک پنجره زمانی هفت روزه شامل سه روز قبل، روز مورد نظر و سه روز بعد از آن (از $n-3$ تا $n+3$) را در نظر گرفته و صدک نودم دمای بیشینه (کمینه) آن ایستگاه را برای این پنجره ۷ روزه در طول بازه آماری ۳۰ ساله محاسبه می‌کنیم. بدین صورت برای روز n ام سال، یک مقدار بیشینه (کمینه) آستانه به دست می‌آید. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در خصوص این روش به (پزا، ۲۰۱۲: سرانو، ۲۰۲۱ و یان، ۲۰۲۱ مراجعه فرمایید).

تعیین روزهای گرم (سرد): برای روز n ام در هر سال چنانچه دمای بیشینه بیشتر (کمینه کمتر) از مقدار آستانه روز مورد نظر که در مرحله قبل تعیین شده باشد، آن روز را یک روز گرم (سرد) در نظر می‌گیریم.

نتایج و یافته‌ها

نتایج مطالعات و بررسی‌ها را در این قسمت و در سه بخش جداگانه ارائه داده‌ایم. در بخش اول نتایج بررسی روند زمانی تغییرات امواج سرد و گرم را در ایستگاه‌های مورد مطالعه گزارش می‌کنیم و در دومین بخش توزیع فضایی امواج را در سطح ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌دهیم. در نهایت نتایج حاصل از بررسی همدیدی الگوهای ایجاد کننده امواج را گزارش می‌کنیم.

تغییرات زمانی امواج

همان گونه که در نمودارهای شکل (۲) دیده می‌شود، فراوانی رخداد امواج سرد و گرم در ایستگاه‌های مورد نظر و در بازه زمانی مورد مطالعه رفتار کاملاً متفاوتی را داشته‌اند. تعداد امواج گرم در تمام ایستگاه‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه روند افزایشی داشته، در حالی که روند رخداد امواج سرمایایی در تمام ایستگاه‌ها کاهشی بوده است. شدیدترین روند افزایش رخداد امواج گرما در ایستگاه نهاوند رخ داده که نرخ رشد آن ۰.۱۲۷ موج در هر سال بوده است و در سمت مقابل ایستگاه نوژه بیشترین نرخ کاهش امواج سرمایایی را به میزان ۰.۰۵۳۲- موج در هر سال برای امواج سرد تجربه کرده است. نگاه دقیقتر به موضوع از دیدگاه شاخص‌های آماری، نشان می‌دهد افزایش رخداد امواج گرم تنها در ایستگاه نوژه دارای روند معنی‌دار ($P=0.019$) بوده و در سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی در سطح معنی داری ۰.۰۵ نبوده است. در مقابل روند کاهش رخداد امواج سرمایایی در تمام ایستگاه‌ها در سطح معنی داری ۰.۰۰۱ قرار دارد (جدول (۲)).

روند تغییرات شدت امواج گرم و سرد در ایستگاه‌های مختلف در بازه زمانی مورد مطالعه در نمودارهای شکل (۳) نشان داده شده است. در این نمودار مجموع سالانه شدت امواج رخ داده در هر سال تعیین و روی نمودار نشان داده شده است. مشابه با روندی که در مورد تعداد امواج مشاهده شد، در مورد شدت امواج نیز مشاهده می‌کنیم که شدت امواج گرم در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته و شدت امواج سرد در طول دوره زمانی مورد مطالعه روند کاهشی را تجربه کرده است. بیشترین افزایش شدت موج گرم با نرخ ۰.۷۰۵ درجه سلسیوس در سال، در ایستگاه نهاوند ثبت شده، در حالی که

تعیین موج گرم (سرد): چنانچه در موردی حداقل سه روز گرم (سرد) به صورت متوالی اتفاق افتاده باشند، آن مورد را یک موج گرم (سرد) در نظر می‌گیریم.

بدین ترتیب امواج سرد و گرم در ایستگاه‌های مختلف برای بازه زمانی مورد مطالعه مشخص می‌شوند. برای تعیین شدت امواج گرم و سرد از رابطه (۱) استفاده می‌کنیم:

رابطه (۱)

$$I_{HW} = \sum_{i=1}^N (T_{X,i} - Q_{X,i}), \quad I_{CW} = \sum_{i=1}^N (T_{N,i} - Q_{N,i})$$

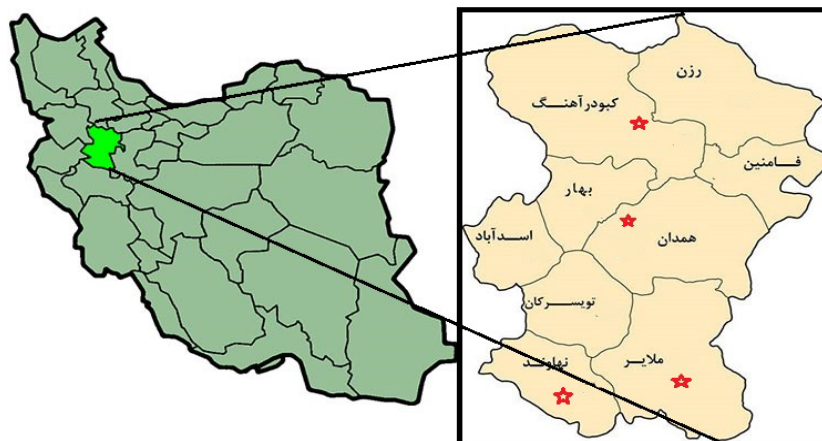
که در آن I_{HW} شدت موج گرم، I_{CW} شدت موج سرد، $T_{X,i}$ دمای بیشینه i امین روز موج گرم و $Q_{X,i}$ آستانه دمای بیشینه برای روز مورد نظر است. به همین شکل در مورد شدت موج سرد، $T_{N,i}$ دمای کمینه روز i ام موج و $Q_{N,i}$ آستانه دمای کمینه برای روز مورد نظر می‌باشد. همچنین برای تعیین طول مدت ماندگاری امواج، تعداد روزهای تداوم موج در نظر گرفته شده است. در مواردی که یک فاصله یک روزه بین دو موج اتفاق افتاده باشد آن دو موج را یک موج در نظر گرفته‌ایم، اما آن یک روز حد فاصل، در محاسبه شدت و طول مدت زمان ماندگاری موج در نظر گرفته نشده است. برای بررسی روند تغییرات زمانی کمیت‌های مرتبط با امواج گرم و سرد، از روش رگرسیون خطی استفاده شده است. در این خصوص خطوط روند بر روی نمودارها رسم شده و مختصات خطوط روند روی شکل اضافه شده است. برای بررسی معنادار بودن روندها، مقدار P -value را برای کمیت‌های مورد مطالعه محاسبه و سطح معناداری ۰.۰۵ را برای آنها در نظر گرفته‌ایم. برای تعیین عوامل آب و هوایی ایجاد کننده امواج سرد و گرم از دیدگاه سینوپتیکی، ابتدا امواجی که دست کم سه ایستگاه از چهار ایستگاه مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داده‌اند مشخص شدند. برای هر یک از این امواج داده‌های مربوط به دما، فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای مختلف برای بازه زمانی از یک روز قبل از شروع فعالیت تا پایان فعالیت موج از سایت NCEP/NCAR استخراج شد. با بررسی الگوهای موجود در نقشه‌های ترازهای مختلف، موارد مشابه برای همه ترازها به صورت جداگانه دسته‌بندی شدند. در نهایت فراوانی هر یک از الگوهای تکرار شونده استخراج و برای تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفت.

مطالعه در همه ایستگاه‌ها طول مدت زمان فعالیت امواج گرم رو به افزایش بوده است. همان گونه که در شکل (۴) دیده می‌شود باز هم ایستگاه نهاوند بیشترین نرخ رشد را در طول مدت زمان فعالیت موج‌های گرم تجربه کرده است. در این ایستگاه به طور میانگین در هر سال ۰.۱۶ روز به مدت زمان ماندگاری موج‌های گرم اضافه شده است. اما در مورد امواج سرد، در حالی که طول مدت فعالیت این موج‌ها در سه ایستگاه همدان، ملایر و نوژه به تدریج کاهش یافته، در ایستگاه نهاوند شاهد نرخ افزایشی طول مدت ماندگاری امواج سرد هستیم. در این مورد خاص، در هر سال ۰.۰۱ روز به طول مدت ماندگاری موج‌های سرد افزوده شده که البته این نرخ افزایشی چندان چشمگیر نیست. بررسی سطح اطمینان روند تغییرات مدت فعالیت امواج در سطح معنی‌داری ۰.۰۵ نشان می‌دهد روند تغییرات طول مدت فعالیت امواج گرم تنها در سه ایستگاه همدان، ملایر و نوژه در این سطح معنی‌دار است. اما در نهاوند، با وجود شیب تندتر افزایش مدت فعالیت امواج گرم، روند معنی‌دار مشاهده نشد ($P=0.495$). در مورد امواج سرد نیز روند کاهشی در سه ایستگاه همدان، ملایر و نوژه و همچنین روند افزایشی مشاهده شده در نهاوند، همگی در سطح اطمینان ۰.۰۵ معنی‌دار هستند.

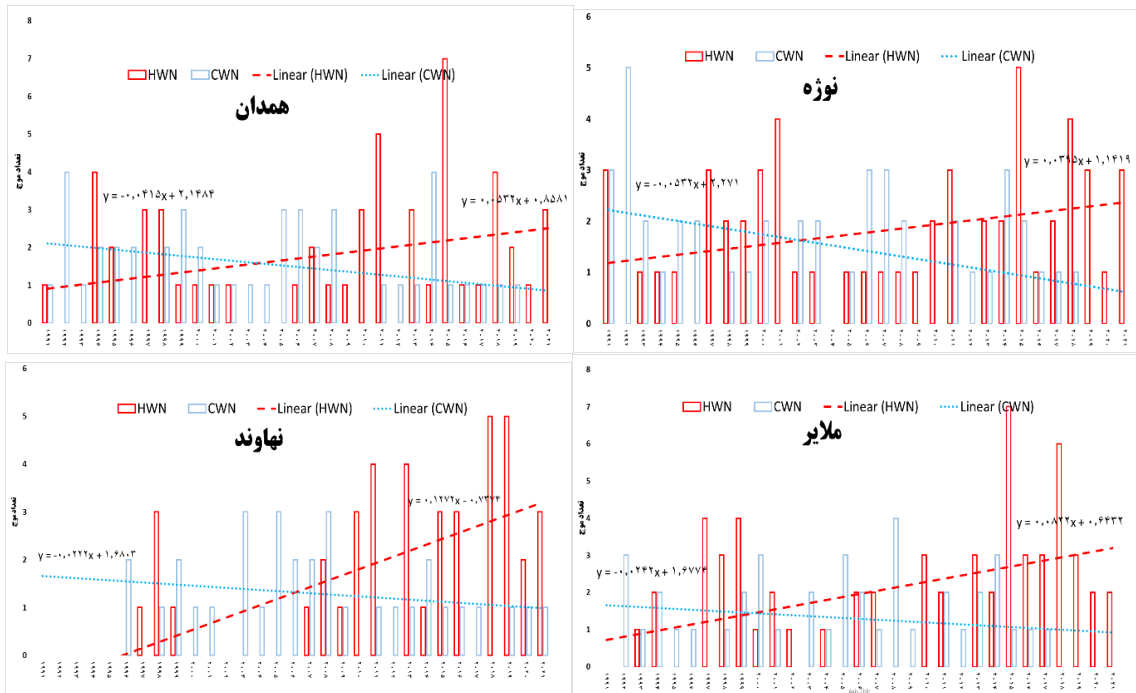
بیشترین نرخ کاهش شدت موج سرما در همدان با نرخ ۰.۹۳۹ درجه سلسیوس در سال بوده است. از دیدگاه شاخص‌های آماری روند افزایش شدت امواج گرم فقط در ایستگاه ملایر با $P=0.012$ در سطح معنی‌داری ۰.۰۵ معنی‌دار است. اما شدت رخداد امواج سرد، در تمام ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۰.۰۵ بوده است. نکته چشمگیر در این نمودارها، شدت انباشته امواج سرمای ایستگاه‌های همدان در سال ۲۰۰۸ و نوژه در سال ۱۹۹۲ است. در سال ۲۰۰۸ با رخداد سه موج سرمای بسیار شدید، شدت انباشته سالانه امواج سرد در این ایستگاه به ۱۷۸۸- درجه سلسیوس رسیده که بیشترین میزان جمع شدت امواج سرد سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. در رتبه بعدی با رخداد ۵ موج سرما در ایستگاه نوژه در سال ۱۹۹۲، شدت انباشته سالانه امواج سرد در این ایستگاه به ۱۶۷.۵- درجه رسیده که پس از رکورد سال ۲۰۰۸ همدان، بیشترین میزان جمع شدت امواج سرد سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بررسی روند تغییرات طول دوره فعالیت امواج در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در هر دو مورد امواج گرم و سرد، به طور کلی روند تغییرات مشابه با روند تغییرات تعداد و شدت امواج است. به عبارت دیگر در بازه زمانی مورد

جدول ۱: نام و مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب (ماخذ: سازمان هواشناسی کشور)

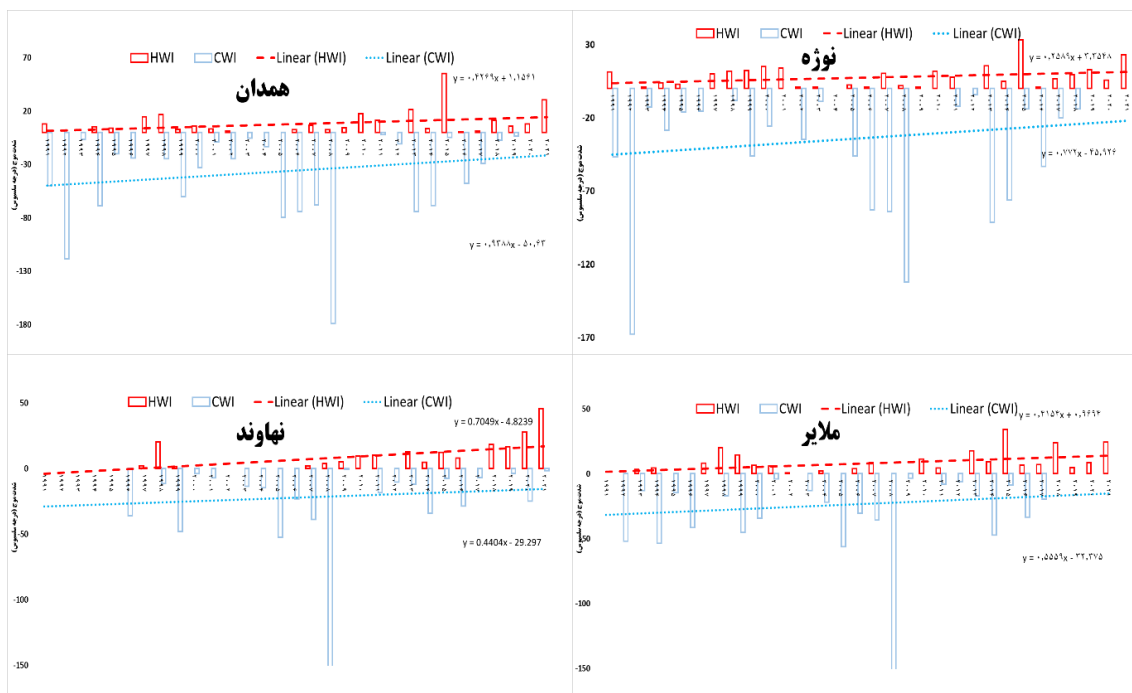
| نام ایستگاه | میانگین کمینه دمای سالانه | میانگین بیشینه دمای سالانه | روزهای دارای داده (%) | ارتفاع (m) | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|-------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|------------|---------------|---------------|
| نوژه | 3.8 | 19.7 | 99.5 | 1679.0 | 35.20 | 48.68 |
| همدان | 4.2 | 20.0 | 99.6 | 1740.8 | 34.86 | 48.54 |
| ملایر | 6.4 | 20.7 | 99.3 | 1776.5 | 34.25 | 48.86 |
| نهاوند | 6.6 | 21.4 | 99.8 | 1677.0 | 34.14 | 48.41 |



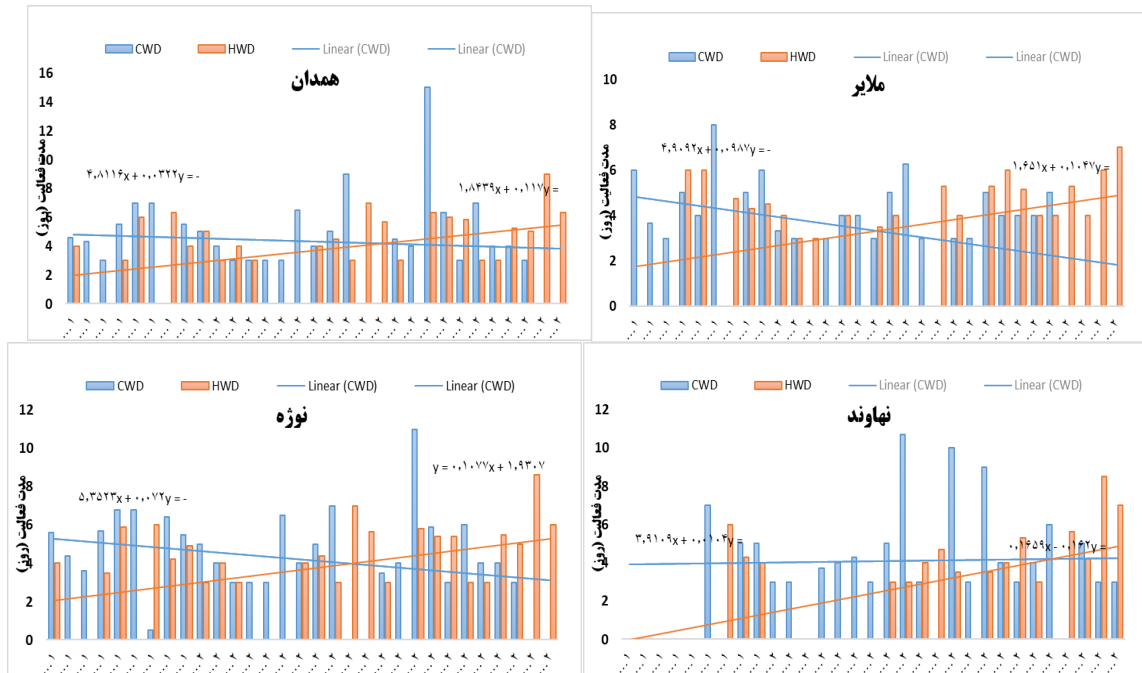
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب (ماخذ: اینترنت)



شکل ۲: روند تغییرات تعداد رخداد امواج گرمایی (قرمز رنگ) و سرمای (آبی رنگ) در ایستگاه‌های مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده)



شکل ۳: روند تغییرات شدت انباشته سالانه امواج گرم (قرمز) و امواج سرد (آبی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده)



شکل ۴: روند تغییرات میانگین سالانه مدت زمان فعالیت امواج گرم (قرمز) و امواج سرد (آبی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده)

جدول ۲: شاخص‌های آماری تغییرات فعالیت امواج گرم و سرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده)

| نوزه | | نهادند | | ملایر | | همدان | | نام ایستگاه | |
|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|-------------|------------|
| p-value | شیب روند | p-value | شیب روند | p-value | شیب روند | p-value | شیب روند | نوع موج | کمیت |
| ۰.۰۱۹ | ۰.۰۳۹ | ۰.۸۶۱ | ۰.۱۲۷ | ۰.۳۶۲ | ۰.۰۸۲ | ۰.۱۶۴ | ۰.۰۵۳ | موج گرم | تعداد |
| ۰.۰۰۰ | -۰.۰۵۳ | ۰.۰۰۰ | -۰.۰۲۲ | ۰.۰۰۰ | -۰.۰۲۴ | ۰.۰۰۰ | -۰.۰۴۱ | موج سرد | |
| ۰.۲۲۸ | ۰.۲۵۸ | ۰.۲۹۸ | ۰.۷۰۴ | ۰.۰۱۲ | ۰.۴۱۵ | ۰.۷۷۵ | ۰.۴۲۶ | موج گرم | شدت سالانه |
| ۰.۰۰۵ | -۰.۷۷۲ | ۰.۰۴۱ | -۰.۴۴۰ | ۰.۰۰۶ | -۰.۰۵۵ | ۰.۰۰۲ | -۰.۹۳۸ | موج سرد | |
| ۰.۰۲۴ | ۰.۱۰۷ | ۰.۴۹۵ | ۰.۱۶۲ | ۰.۰۲۸ | ۰.۱۰۴ | ۰.۰۳۶ | ۰.۱۱۷ | موج گرم | مدت فعالیت |
| ۰.۰۰۰ | -۰.۰۷۲ | ۰.۰۰۲ | ۰.۰۱۰ | ۰.۰۲۰ | -۰.۰۹۸ | ۰.۰۰۰ | -۰.۰۳۲ | موج سرد | |

توزیع فضایی امواج

بررسی نحوه توزیع فضایی امواج گرم و سرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد ایستگاه همدان بیشترین مدت زمان ماندگاری امواج را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. میانگین مدت زمان فعالیت برای امواج گرم در همدان ۳.۷۱ روز و برای امواج سرد ۴.۳۰ روز است که بیشترین مقدار را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. از نظر شدت امواج، ایستگاه نهاوند با میانگین ۴.۸ درجه سلسیوس برای هر موج گرم، شدیدترین امواج گرم را تجربه کرده است. در حالی که برای میانگین شدت امواج سرد، ایستگاه همدان با میانگین شدت منفی ۲۴ درجه سلسیوس امواج سرد شدیدتری را به خود دیده است. لازم به یادآوری است که برای محاسبه شدت

امواج، با استفاده از روابط ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها، در هر روز از فعالیت موج گرم (سرد)، اختلاف بین دمای بیشینه (کمینه) و دمای آستانه به دست آمده برای آن روز را محاسبه و مقادیر به دست آمده برای تمام روزهای فعالیت یک موج را با هم جمع می‌کنیم (نحوه محاسبه دمای آستانه در بخش مواد و روش‌ها ذکر شده است). از نظر تعداد امواج ایستگاه ملایر با ثبت ۵۹ مورد موج گرم و همدان با ثبت ۴۶ موج سرد بالاترین تعداد رخداد امواج گرم و سرد را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته‌اند. بیشترین ماندگاری یک موج گرم در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۸ به مدت ۹ روز و با شدت ۱۲.۸ درجه سلسیوس در ملایر گزارش شده است. بیشترین مدت زمان ماندگاری

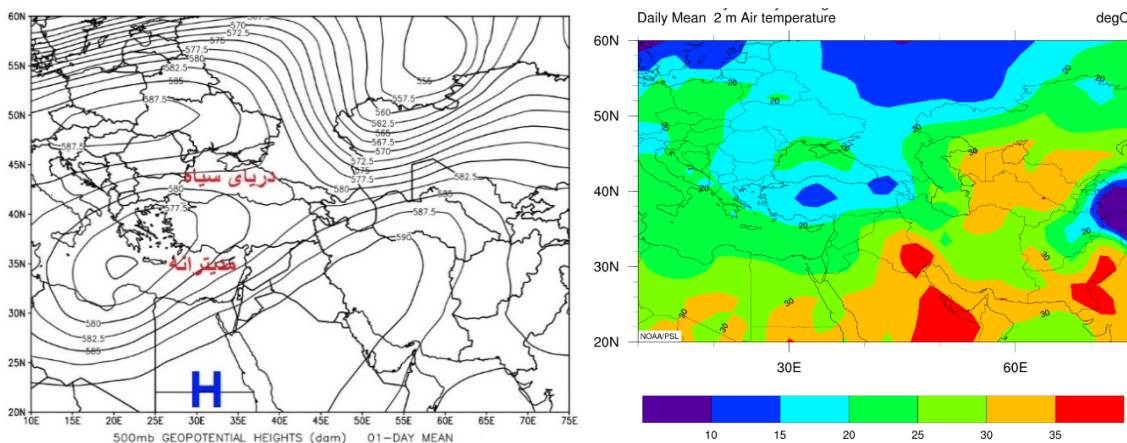
شرایطی اغلب ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در منطقه از ۵۹۰۰ هم فراتر می‌رود که به مراتب بالاتر از ارتفاع متوسط آن در بلند مدت است. با شکل‌گیری این پرفشار در لایه‌های میانی وردسپهر، از آنجا که این پرفشار از نوع هسته گرم است هوای داخل آن دچار فرونشینی شده و دما به شدت افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با توجه به گرم بودن لایه‌های میانی امکان صعود هوا از سطح زمین وجود ندارد و در اثر آن انرژی تابشی دریافتی زمین و گرمای ناشی از ورود سامانه موسمی به تشدید دما در سطح زمین می‌انجامد. این نتایج با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های خزایی کوهپر و همکاران (۱۴۰۳) مطابقت دارد. در چند مورد خاص از امواج گرم مشاهده شده (کمتر از ۵ درصد کل امواج در دوره مطالعه) الگوهای دیگری مشاهده شد که با توجه به فراوانی اندک آنها، از بررسی آنها صرف‌نظر شد. یک نمونه از نقشه‌های ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال که الگوی همدیدی فوق را نشان می‌دهد در شکل (۵) به نمایش درآمده است. همچنین در این شکل الگوی دمای سطح زمین در زمان فعالیت موج گرم نمایش داده شده است.

یک موج سرد نیز در منطقه، در سال ۲۰۰۸ در ایستگاه همدان گزارش شده که مدت آن ۱۷ روز و شدت آن ۱۱۸.۱ درجه سلسیوس بوده است.

مقایسه نتایج بالا، با مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها اعم از طول، عرض و ارتفاع نشان می‌دهد که همبستگی معناداری بین توزیع فضایی پارامترهای مختلف امواج گرم و سرد با مختصه‌های جغرافیایی ایستگاه وجود ندارد.

بررسی همدیدی الگوهای ایجاد کننده امواج

الگوی همدیدی مشاهده شده در زمان فعالیت موج‌های گرم در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد بیش از ۹۵ درصد امواج گرم مشاهده شده با گسترش پرفشار جنب حاره‌ای آزور همراه بوده است. با گسترش پرفشار آزور در سطوح میانی در منطقه، روزهای آفتابی و آسمان بدون ابر منطقه را فرا می‌گیرد که خود به خود با افزایش انرژی تابشی دریافتی همراه است. بررسی نقشه‌های ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روزها نشان می‌دهد در مواردی یک هسته مستقل بسته بر روی ایران تشکیل شده است. در چنین



شکل ۵: الگوی همدیدی ارتفاع پتانسیل ۵۰۰ میلی باری به وجود آورنده امواج گرم (چپ) و الگوی دمای سطح زمین (راست) در منطقه مورد مطالعه در زمان فعالیت موج گرم (ماخذ: NCEP/NCAR)

توسط توده هواهای چگال با هسته‌های سرد به وجود می‌آیند و با توجه به چگالی و تراکم زیاد در ترازهای زیرین جو و نزدیک به سطح زمین حرکت می‌کنند. بنابراین بهترین تراز برای بررسی امواج سرد همان تراز سطح دریا خواهد بود. در ادامه به تشریح چهار الگویی که به عنوان عوامل ایجاد موج

از سوی دیگر بررسی الگوی همدیدی امواج سرد در بازه زمانی مورد مطالعه در منطقه نشان می‌دهد چهار الگوی مختلف عامل ایجاد امواج سرد در منطقه هستند. در این خصوص الگوی نقشه‌های سطح دریا مهم‌ترین نقش را در رخداد امواج سرد بازی می‌کنند. چرا که این پدیده اغلب

تعدیل دما از مبدا شکل‌گیری الگو، به منطقه مورد مطالعه ما می‌رسد. در نهایت الگویی با شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار با هسته سرد در شرق و شمال شرق دریای مدیترانه عامل به وجود آمدن یک مورد از ۳۰ مورد موج سرد مشاهده شده است. این مرکز کم‌فشار که خود بر اثر ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر به وجود آمده است، هوای سرد قطبی را به سرعت به غرب ایران می‌رساند و منطقه مورد مطالعه ما را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. از آنجا که شکل‌گیری این الگو با شار رطوبتی همراه است منجر به ایجاد ابرناکی، بارش برف و کولاک در منطقه مورد مطالعه می‌شود. به هنگام شکل‌گیری این الگو اغلب پرفشار سیبری گسترش شمال به جنوب دارد. الگوهای ایجاد کننده امواج سرد که در این پژوهش به دست آمده به خوبی با نتایج به دست آمده از پژوهش عساکره و شاهبایی (۱۳۹۶) مطابقت دارد. در شکل (۶)، چهار مورد نقشه الگوی فشار سطح دریا به عنوان نمونه‌هایی از الگوهای مورد اشاره نمایش داده شده است. در کنار هر یک از الگوهای هم‌دید به وجود آورنده موج سرما، الگوی دمای سطح زمین در هنگام فعالیت موج مورد نظر نیز رسم شده که در آن به خوبی می‌توان به نحوه توزیع دما در سطح زمین پی برد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات ۳۰ ساله رخداد امواج گرمایی در چهار ایستگاه هواشناسی منتخب در استان همدان و همچنین الگوهای هم‌دید شاخص ایجاد کننده این امواج مورد مطالعه قرار گرفت. از دیدگاه هم‌دید مشخص شد که اغلب امواج گرم در منطقه به دنبال گسترش پرفشار آזור در سطوح میانی رخ می‌دهند. نقشه‌های ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان فعالیت موج گرم نشان می‌دهند که زبانه پرفشار جنب حاره‌ای آזור بر روی ایران گسترش یافته و در مواردی یک هسته مستقل بسته بر روی ایران تشکیل داده است. در این شرایط معمولاً ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در منطقه از ۵۹۰۰ فراتر رفته که این مقدار به مراتب بالاتر از ارتفاع متوسط این تراز در بلند مدت است. به هنگام فعالیت امواج سرد در منطقه مورد مطالعه، چهار الگوی هم‌دید مختلف مشاهده شده که به ترتیب اهمیت عبارتند از پرفشار

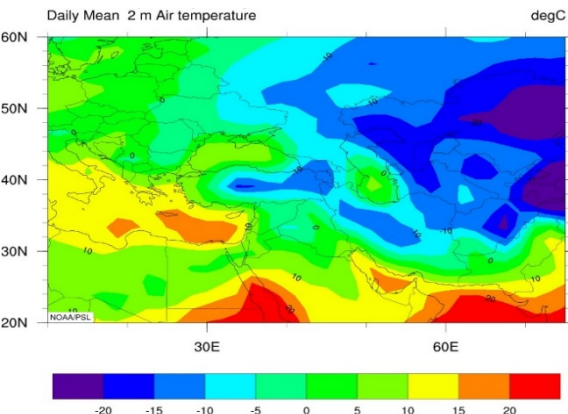
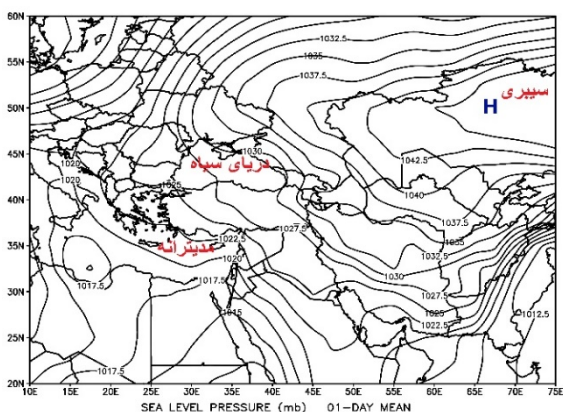
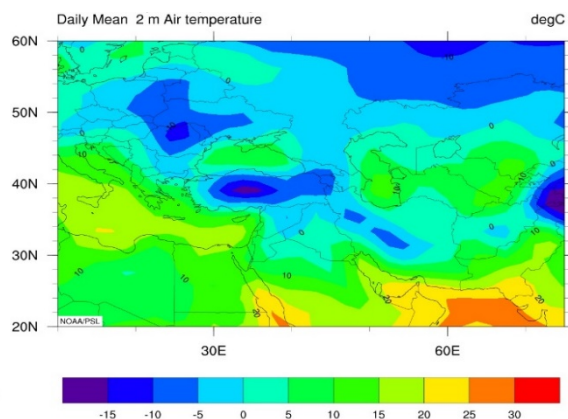
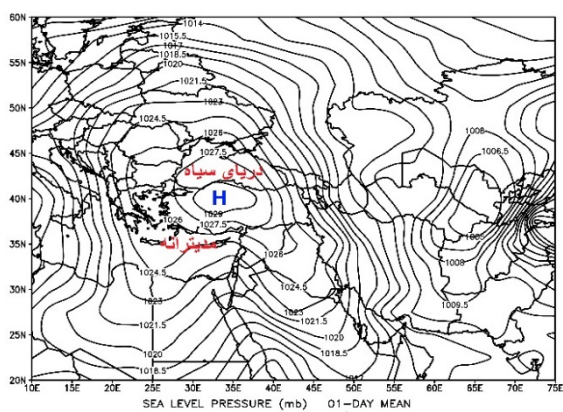
سرما در ایستگاه‌های مورد مطالعه شناسایی شدند به ترتیب فراوانی امواج ایجاد شده توسط این الگوها می‌پردازیم. از بین ۳۰ موج سرمای مشاهده شده در دوره مطالعه، ۱۲ موج در اثر فعالیت پرفشار مهاجر اروپایی به وجود آمده‌اند. این سامانه با تشکیل یک هسته پرفشار سرد در شمال شرق و شمال دریای سیاه و در تراز سطح دریا به وجود می‌آید. با فعالیت این سامانه زبانه‌های هوای سرد به سمت جنوب گسترش می‌یابند. بدین ترتیب با جریان هوای سرد به سمت جنوب، سرما را به عرض‌های پایین‌تر منتقل و باعث افت دما در مناطق گسترده‌ای از ایران، از جمله در منطقه مورد مطالعه ما می‌شود. پس از پرفشار مهاجر اروپایی، پرفشار سیبری با ایجاد ۹ موج سرما از ۳۰ موج مشاهده شده (حدود یک سوم امواج سرد مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه)، دومین الگوی با اهمیت در مطالعه امواج سرماست. این پرفشار که با شروع فصل سرد در مناطق اطراف دریایچه بایکال تشکیل می‌شود به تدریج گسترش یافته و با اوج‌گیری آن گرادیان فشار باعث حرکت زبانه‌ای به منطقه خاور میانه می‌شود. به این ترتیب هوای سرد از سمت شمال و شمال شرق به کشور وارد می‌شود و گاهی زبانه‌های آن تا سواحل مدیترانه نیز پیش می‌رود. در این شرایط هوای مجاور سطح زمین به سبب کمبود انرژی دریافتی، سرد و چگال می‌شود و با انباشته شدن هوا در لایه‌های مجاور زمین، هوای سرد و پرفشار بر روی منطقه ماندگار می‌شود. اگر چه این الگو از نظر فراوانی ایجاد امواج سرد در جایگاه دوم قرار دارد اما موج‌های سرد به وجود آمده تحت تاثیر این الگو علاوه بر مدت زمان بیشتر فعالیت، از شدت بالاتری نیز برخوردارند. این نتایج با نتایج به دست آمده از پژوهش برومند و صلاحی (۱۴۰۲) به خوبی مطابقت دارد. سومین الگوی با اهمیت در پیدایش امواج سرما، الگوی پرفشار شمالی است. این الگو که عامل پیدایش ۸ مورد از امواج مشاهده شده است سامانه‌ای پرفشار از نوع حرارتی است که بر روی اروپای شمالی و در حد فاصل مدارهای ۲۰ تا ۳۰ درجه شرقی مستقر است. این الگو باعث رانش هوای سرد به سمت شرق شده که در مواردی بخش-های گسترده‌ای از کشور ما را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد. استقرار این الگو چنانچه در سطوح بالاتر با شکل‌گیری ناوه همراه باشد، باعث جریان هوای سرد از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌شود. بدین ترتیب هوای سرد با کمترین میزان

بهاروندی و همکاران، ۱۳۹۹؛ اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ اعتمادیان و دوستان، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد روند تغییرات زمانی رخداد امواج گرمایی و سرماییه نه تنها در ایران، که در کل جهان رفتار تقریباً مشابهی دارد. چرا که نتایج به دست آمده در این قسمت در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در نقاط مختلف دنیا مطابقت دارد (رجوع کنید به: تانک، ۲۰۰۶؛ میل، ۲۰۱۰؛ یان و همکاران، ۲۰۱۷؛ چوی و لی، ۲۰۱۹؛ هئو، ۲۰۱۹؛ لیو، ۲۰۲۱). به نظر می‌رسد به واسطه پدیده گرمایش جهانی و فرایند تغییر اقلیم، که هر روز شاهد نشانه‌های آشکارتری از آن هستیم، شدت و فراوانی رخداد امواج گرم در حال افزایش است. این تغییرات علاوه بر آسیب‌ها و بحران‌های کوتاه مدت و مستقیم، مانند افزایش مصرف آب، افزایش مصرف انرژی، ایجاد مخاطرات جانی به واسطه تنش گرمایی و ... آثار و تبعات دیگری را نیز باعث می‌شود. در شرایطی که بخش گسترده‌ای از کشور و به تبع آن استان همدان در سالیان اخیر درگیر بحران خشکسالی است، رخداد امواج گرمایی و به واسطه آن افزایش مصرف آب در بخش‌های خانگی و به ویژه کشاورزی فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد می‌کند. با در نظر گرفتن این نکته که بارش در ایران و به ویژه در استان همدان منحصر به چند ماه از سال بوده و در سرتاسر سال توزیع نشده، افزایش فراوانی رخداد، شدت و طول دوره ماندگاری امواج گرم باعث کاهش وسعت ذخایر آبی و در نتیجه آن تشدید کم آبی در ماه‌های گرم و بدون بارش خواهد بود (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۱). این موضوع در سالهای اخیر یکی از بزرگترین معضلات موجود در استان همدان بوده است. از سوی دیگر کاهش امواج سرماییه اگر چه بحران‌های مرتبط با این پدیده را کاهش داده است، اما به واسطه افزایش دما در فصل سرد و کاهش امواج سرد، بر ذخایر برف زمستانی در ارتفاعات غرب کشور تاثیر زیادی گذاشته است. کاهش ذخایر برف زمستانه در ارتفاعات هم خود به خود باعث کاهش منابع آب سطحی در فصل بهار شده و از تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی نیز می‌کاهد. روند کلی هیدروگراف معرف آب زیرزمینی دشت همدان-بهار، بر اساس اطلاعات سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های گذشته نزولی و نشانگر افت مداوم و کاهش ذخایر مخازن آب زیرزمینی می‌باشد (رحمانی و سدهی، ۱۳۸۳). وضعیت مشابه در سایر دشت‌های استان نیز مشاهده و گزارش شده است

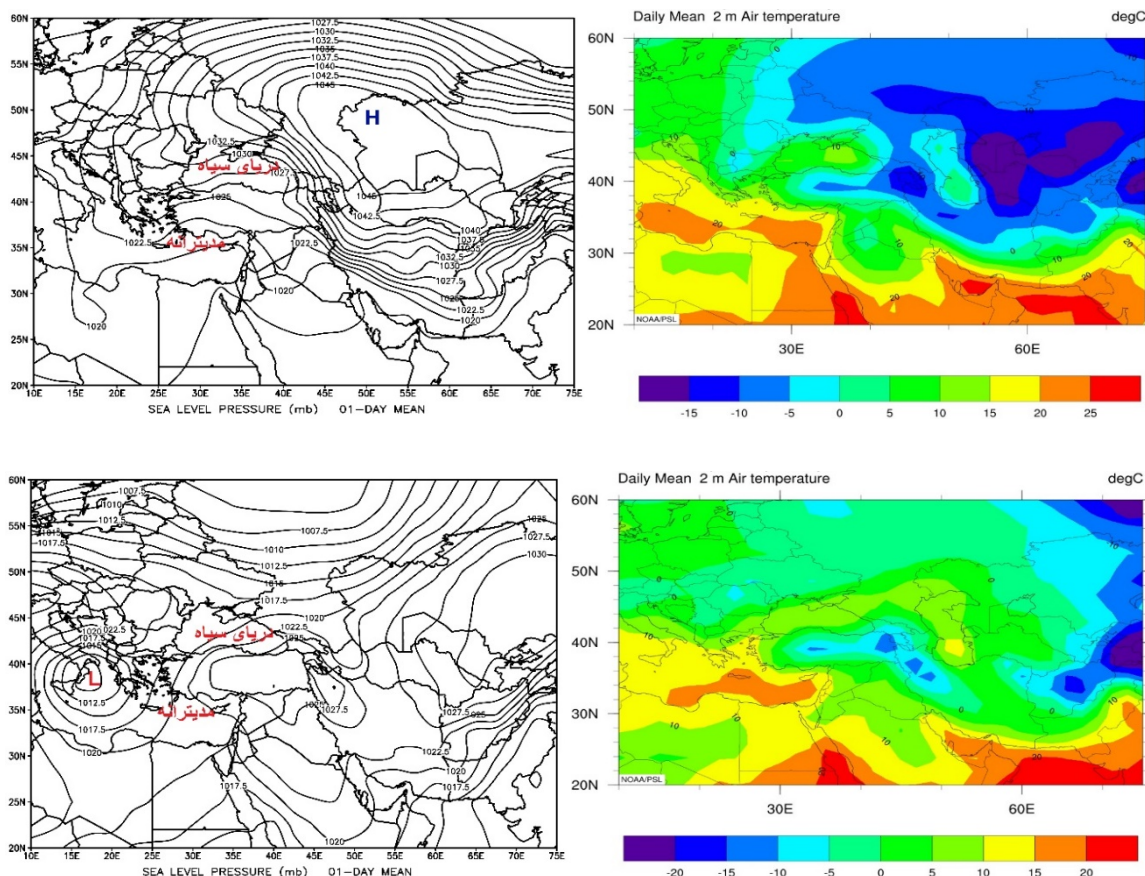
مهاجر اروپایی که عامل ایجاد ۴۰ درصد از امواج سرد مشاهده شده بود، پرفشار سیبری که فعالیت آن ۳۰ درصد از امواج سرد را به دنبال داشت، پر فشار شمالی که حدود ۲۶ درصد از امواج سرد را ایجاد کرده بود و در نهایت شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار با هسته سرد در شرق و شمال شرق دریای مدیترانه عامل ایجاد ۴ درصد از امواج سرد مشاهده شده بود. پرفشار سیبری اگرچه در رده دوم الگوهای ایجاد کننده امواج سرد قرار گرفت، اما بررسی‌ها نشان داد که امواج پدید آمده در اثر شکل‌گیری این الگو طولانی‌تر و شدیدتر از امواج سرد به دست آمده از الگوهای دیگر هستند. بررسی توزیع فضایی امواج گرم و سرد در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که نحوه توزیع فضایی مشخصه‌های مختلف موج اعم از تعداد، شدت و طول دوره ماندگاری همبستگی معناداری با مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها ندارد. بررسی تغییرات زمانی امواج نشان می‌دهد که فراوانی و شدت رخداد امواج گرم در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه رو به افزایش بوده است. اگر چه روندهای مشاهده شده در این بخش مشابه با آنچه در پژوهش حسین پور و همکاران (۱۴۰۲) گزارش شده، در سطح معنی‌داری مطلوب قرار ندارند و در اغلب آنها مقدار P-value بزرگتر از ۰.۰۵ است. در سوی مقابل، در همه ایستگاه‌ها فراوانی و شدت رخداد امواج سرد روند کاهشی داشته است. نکته جالب اینکه روند کاهشی مشاهده شده در فراوانی و شدت رخداد امواج سرد، در سطح معناداری ۰.۰۱ قرار دارد. سازگاری دارد. اما مدت زمان فعالیت امواج هم در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه از روند یکسانی برخوردار است. به گونه‌ای که مدت زمان ماندگاری امواج گرم در طول بازه زمانی مورد مطالعه روند افزایشی داشته است، اگرچه این روند افزایشی بر خلاف سه ایستگاه دیگر در ایستگاه نهاوند در سطح معناداری ۰.۰۵ قرار ندارد. در مقابل مدت زمان فعالیت امواج سرد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز نهاوند از روند کاهشی برخوردار بوده و این روندها در سطح معناداری ۰.۰۱ قرار دارد که نشان دهنده قابل اعتماد بودن نتایج به دست آمده است. این نتایج را می‌توان با نتایج به دست آمده در پژوهش‌های مشابه در مناطق دیگر کشور مقایسه کرد که در بسیاری از موارد، نتایج مشابه با نتایج این پژوهش بوده است (درگاهیان و همکاران، ۱۴۰۰؛ بیرانوند و همکاران، ۱۴۰۲؛ فروتن و صلاحی، ۱۴۰۲؛

های گرمایی علاوه بر ایجاد تنش‌های زیست محیطی، آثار مخربی هم بر وضعیت اجتماعی می‌گذارند. بروز چنین موج‌هایی در فصل گرم با افزایش شدید مصرف آب و انرژی همراه است و می‌تواند زیرساخت‌های شهری را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. به همین اندازه رخداد امواج سرد در فصل زمستان نیز می‌تواند با توجه به افزایش مصرف انرژی اعم از گاز و برق، استان و حتی کشور را با بحران مواجه نماید. همبستگی وقوع این امواج با بحران‌های اجتماعی ذکر شده قابل بررسی است و می‌تواند مورد توجه پژوهشگران و برنامه‌ریزان قرار بگیرد.

(شمسی‌پور و محمدی، ۱۳۸۲). بنابراین برای پیش‌گیری از بحران‌های ناشی از این تغییرات می‌بایست برنامه‌ریزی‌های گسترده و مدونی انجام پذیرد. از آنجا که پیشگیری از این پدیده‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست، می‌بایست به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که جامعه با این تغییرات سازگار شده و کمترین آسیب را از ناحیه این بحران‌ها ببیند. مهمترین مواردی که در این زمینه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد عبارتند از: تغییر سیاست‌های استان از برنامه‌ریزی مبتنی بر توسعه کشاورزی به برنامه‌ریزی مبتنی بر صنعتی شدن، تغییرات اساسی در الگوی کشت، تغییر فرهنگ مصرف در استان به ویژه در مصرف آب. همان‌گونه که در مقدمه نیز ذکر شد، بروز موج-



شکل ۶: الگوهای همدید فشار سطح دریا به وجود آورنده امواج سرد (سمت چپ) و الگوی دمای سطح زمین در زمان استقرار این الگوها (سمت راست) در منطقه مورد مطالعه (به ترتیب از بالا به پایین، پرفشار مهاجر اروپا، پرفشار سیبری، پرفشار شمالی و کم فشار) (ماخذ: NCEP/NCAR)



ادامه شکل ۶: الگوهای هم‌دید فشار سطح دریا به وجود آورنده امواج سرد (سمت چپ) و الگوی دمای سطح زمین در زمان استقرار این الگوها (سمت راست) در منطقه مورد مطالعه (به ترتیب از بالا به پایین، پرفشار مهاجر اروپا، پرفشار سبیری، پرفشار شمالی و کم فشار) (مأخذ: NCEP/NCAR)

wave in January 2016 in Iran, JPHGR, 70, 1-19.

- 5- Baharvandi N, Mojarrad F, Masompour J. (2020). Identification of Heat Waves and Analysis of Their Temporal-Spatial Variations in Iran. *jgs*; 20 (59): 39-58 (inPersian)
- 6- Beniston, M., Diaz, HF (2004). The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Glob Planet Change*, 44.
- 7- Beyranvand, A., doostkamian, M., Heidari, S., & Goodarzi, M. (2023). Analyzing Spatio-Temporal Variations of Extreme Index of heating and cooling waves in Iran. *Geographical Planning of Space*, 13(3), 105-121. doi: 10.30488/gps.2023.395521.3640.
- 8- Choi, N., Lee, MI. (2019). Spatial Variability and Long-Term Trend in the Occurrence

منابع

- 1- Aalijahan, M., Salahi, B., Ghavidel Rahimi, Y., & Farajzadeh Asl, M. (2018). A new approach in the identification and analysis of cold waves, Case Study: North East Iran. *Journal of climate research*, 9(33-34), 1-14. SID. <https://sid.ir/paper/213110/en>
- 2- AMS: Glossary of Meteorology. "Cold Wave", Archived from the original on 2011-05-14. Retrieved 2008-09-25.
- 3- Asakereh, H., & ShahbaeeKotenaee, A. (2017). Synoptic Analysis of Productive Patterns of Winter Cold Wave's in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(3), 109-124. doi: 10.22067/geo.v6i3.59919.
- 4- Azizi, G., Akbari, T., Davoodi, M., Akbari M., (2008). Synoptic analysis of severe cold

- Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers. IPCC.
- 20- Khazaei kuhpar, S., Janbaz ghobadi, G., & Motevali, S. (2024). Identification and synoptic analysis of heat waves in Ahvaz metropolis. *Geographical Engineering of Territory*, 8(3), -. doi: 10.22034/jget.2023.346928.1434.
 - 21- Klein Tank AMG, P. T. (2006). Changes in daily temperature and precipitation extremes in Central and South Asia. *Jou. of Geophy. Res.*, 111: D16105.
 - 22- Kysely, J (2004). Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* 49:91-97.
 - 23- Liu, J. R. (2021). Spatial and temporal variation characteristics of heatwaves in recent decades over China. *Rem. Sens.*, 13, 3824.
 - 24- Marx, W., Haunschild, R. and Bornmann, L. (2021). Heat waves: a hot topic in climate change research, *Theoretical and Applied Climatology*, 146:781-800.
 - 25- Meehl, G. K. (2010). An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and Model projections. *Veterinary Rec.*, 108 (3), 46e51.
 - 26- Merriam-Webster Online (2001). Collegiate Dictionary. <http://www.m-w.com/home.htm>
 - 27- Mohammadi, H. M., Shamsipour A. A., (2003). The effect of recent droughts on the decline of underground water resources in the plains of North Hamadan. *Geographical research quarterly*, 35(2), 115-130.
 - 28- NOAA (2007). Natural Hazard Statistics. National Oceanic and Atmospheric Administration.
 - 29- Pezza, A. B. (2012). Severe heat waves in southern Australia: Synoptic climatology and large scale connections. *Clim. Dyn.*, 38, 209-224.
 - 30- Rahimi, D., Mirhashemi, H., & Alizadeh, T. (2017). The Mechanism Analysis of Thermal Waves in the West and Southwest of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 28(3), 69-80. doi: 10.22108/gep.2017.97948.
 - 31- Rahmani, A. R., & Sedehi, M. (2005). Predication of Groundwater Level Changes in the Plain of Hamedan-Bahar Using Time Series Model. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 15(3), 42-49.
 - 32- Rohli R.V. and Keim B.D (1994). Spatial and temporal characteristics of extreme-high-summer temperature events in the South-Central United States. *Phys. Geogr.*, 15, 310-324. 1994.
 - 9- Dargahian, F., & Rezaei, G. (2014). Study of synoptic and bioclimatology conditions of heat index using geographic information system at coastal and sea station, in south of country and its effects on human health. *Geographical data*, 23(91), 45-54. SID. <https://sid.ir/paper/253172/en>.
 - 10- Dargahian, F., Heidarnejad, S., & Razavizadeh, S. (2021). Investigating the trend of changes in the heat wave properties Related to climate change in arid regions (Case Study: Yazd City). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(3), 564-577. doi: 10.22092/ijrdr.2021.125020.
 - 11- Doostan, R., Etemadian, E., & Zarrin, A. (2020). Zones of Heat waves in Iran. *Journal of Climate Research*, 1399(42), 17-30.
 - 12- Esmaeil negad, M., khosravei, M., aliganei, B., & masoodeian, S. (2013). Identifying Heat Waves of Iran. *Geography and Development*, 11(33), 39-54. doi: 10.22111/gdij.2013.1321.
 - 13- Etemadian E, dostan R. (2017). Spatial analysis of heat waves in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 4 (1) :17-32.
 - 14- Frotan, M., & Salahi, B. (2023). Synopsis analysis of cold waves in Ardabil city and estimation of return periods and its changes in the coming years. *Geography and Human Relationships*, 5(4), 352-369. doi: 10.22034/gahr.2023.382838.1800.
 - 15- Ghasemifar, E., & Naserpour, S. (2017). Synoptic analysis of heat and cold waves over southern coastal of Caspian Sea. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(103), 137-146. doi: 10.22131/sepehr.2017.28899 (inPersian)
 - 16- Ghavidel rahimi Y, farajzadeh asl M, motalebizad S. Statistical and synoptic analysis of cold waves in North West of Iran. *jgs* 2016; 16 (40) :29-46, URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2608-fa.html>.
 - 17- Heo, S. B. (2019). Heat waves in South Korea: differences of heat wave characteristics by thermal indices. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 29, 790-805.
 - 18- Hosinpoor Z, Shamsipour A, Karimi M, khoshakhlagh F. (2023). Statistical analysis of heat waves in the southern slopes of Alborz. *jgs*; 23 (68): 5 URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3387-fa.html>.
 - 19- IPCC. (2019), Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food

- 39- Yan, J. W. (2021). Rapid rises in the magnitude and risk of extreme regional heat wave events in China. *Weather and Climate Extremes*, 34, 100379.
- 40- Yan, Y. et. al. (2017), Characterizing spatial-temporal changes of heat waves in China using center of gravity analysis, *Physical Geography*, 38, 4, 379-391.
- 41- Yazdanpanah, H., & Alizadeh, T. (2011). estimating the probability of different duration heat waves occurrence in kerman, province using markov chain. *Geographical research*, 26(3 (102)), 51-71. SID. <https://sid.ir/paper/29715/en>.
- 33- Saberifar, R. (2012). Climate change and its impact on natural disasters. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 21(81), 58-65.
- 34- Sadeghi, S., Hosseinzadeh, S.R., Doostan, R., & Ahangarzadeh, Z. (2012). Synoptic analysis of cold waves in the northeast of iran. *Geography and environmental hazards*, 1(3), 107-123. SID. <https://sid.ir/paper/226687/en>.
- 35- Serrano-Notivoli, R. T. (2021). From rain to data: a review of the creation of monthly and daily station-based gridded precipitation datasets. *WIRES Water*, 8 (6), e1555.
- 36- Serrano-Notivoli, R. T. (2022). Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics, and trends. *Weather and Climate Extremes*, 37, 100471.
- 37- Ting ding, et al (2009). Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007, *International Journal of Climatology*.
- 38- Torkashvand, M. G. (2016). spatial and temporal assessment of climatic comfort in hamedan province using physiologically equivalent temperature (pet) and nervous stress indices. *Environmental based territorial planning (AMAYESH)*, 8(31), 173-199. SID. <https://sid.ir/paper/130699/en>.