

تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران

فیروز مجرد^۱ - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
جعفر معصوم‌پور - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
طیبه رستمی - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۲۸

چکیده

امواج گرمایی تأثیرات گسترده‌ای بر فعالیت‌های مختلف انسانی دارند و زمانی که از شدت و فراوانی بالایی برخوردار شوند، می‌توانند معضلات عمده‌ای تولید نمایند. هدف از این تحقیق، بررسی دماهای بالای ۴۰ درجه سلسیوس و شناسایی الگوهای همدید ایجادکننده آن‌ها در غرب کشور به روش آماری-همدیدی است. به این منظور آمار دمای حداکثر روزانه شش ایستگاه سینوپتیک منطقه غرب کشور در یک دوره ۳۲ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۷) جمع‌آوری و پس از بررسی‌های آماری، نقشه‌های همدید موج‌های گرمایی مربوطه تحلیل گردید. نقشه‌های همدید با استفاده از نرم‌افزار GrADS بر اساس داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و مؤلفه نصف‌النهاری باد ۲۰۰ هکتوپاسکالی تهیه شدند. بررسی‌های کمی، تعداد ۲۷ موج گرمایی را در طی دوره مورد مطالعه مشخص نمود. زمان معمول آغاز موج گرما در منطقه، اول مردادماه است. بیشترین امواج گرمایی در سال ۱۹۷۷ با فراوانی ۴ موج، طولانی‌ترین موج در سال ۱۹۹۵ با تداوم ۲۸ روز، و شدیدترین موج در سال ۱۹۹۸ با دمای میانگین ۴۲/۴ درجه رخ داده است. ایستگاه‌های خرم‌آباد و کرمانشاه بالاترین تعداد روزهای با دمای ۴۰ درجه را در منطقه داشته‌اند. تعداد روزهای فوق گرم در ایستگاه‌های منطقه در دوره آماری به‌طور متوسط ۲/۰۶ روز افزایش یافته است. بر اساس نقشه‌های همدیدی، دو الگوی کلی برای ایجاد امواج گرمایی در منطقه تشخیص داده شد. الگوی اول (امواج نزدیک به حالت نرمال) که در آن پر ارتفاع آزرور پر ارتفاع ثانویه‌ای بر روی عربستان ایجاد می‌کند و به دلیل اینکه در عرض‌های جنوبی‌تر ایجاد می‌شود، تأثیرات کمتری بر روی نیمه غربی ایران دارد. الگوی دوم (امواج شدیدتر) که پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای آزرور تا عرض‌های شمالی‌تر گسترش یافته و زیانه آن به‌صورت کمربندی از شمال آفریقا تا روی ایران کشیده می‌شود (مانند موج گرمایی شدید سال ۱۹۹۸). در هر دو الگو، شکل‌گیری مراکز کم‌فشار حرارتی در سطح زمین در جنوب غرب ایران و مکش هوای گرم و خشک بیابان‌های عربستان به سمت منطقه مورد مطالعه، با رخداد امواج گرمایی همزمان بوده است. **کلیدواژه‌ها:** موج گرمایی، غرب ایران، پر ارتفاع آزرور، پرفشار عربستان، دمای حداکثر.

۱. مقدمه

دما اثرات انکارناپذیری بر فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی دارد. به‌خصوص افزایش دما در قالب امواج گرما، تمام شئونات زندگی انسانی از جمله معماری، آسایش، حمل‌ونقل، کشاورزی و صنعت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سالیان اخیر بر تعداد و شدت امواج گرمایی در جهان افزوده شده و یکی از علت‌های عمده مرگ‌ومیر با منشأ جوی در تعداد زیادی از کشورها به شمار می‌رود (تئوهاراتوس و همکاران^۱، ۲۰۱۰: ۱۵۲)؛ به‌نحوی که واقعه موج گرمایی سال ۲۰۰۳ در اروپا، حدود ۸۰۰۰۰ کشته بر جای گذاشت. همچنین در سال ۲۰۱۰ در روسیه، آمار مرگ‌ومیر ناشی از موج گرمایی حدود ۵۴۰۰۰ نفر تخمین زده شد (ولف و مک‌گرگور^۲، ۲۰۱۳: ۵۹). به سبب مرگ‌ومیر، در حال حاضر مباحث زیادی درباره تغییرات اقلیمی در سراسر کره زمین بین متخصصان مطرح است که اغلب آن‌ها دمای هوا یا نزولات آسمان را به‌عنوان شاهدی جهت اثبات فرضیه خود مورد استناد قرار می‌دهند. اهمیت عنصر دمای هوا دلایل متعددی دارد؛ نخست اینکه دما از معدود عناصر اقلیمی است که استمرار زمانی دارد و در تمامی مکان‌ها و فضاهای جغرافیایی می‌توان آن را به‌طور پیوسته اندازه‌گیری نمود. دوم اینکه این تغییر اقلیمی با سایر عناصر آب‌وهوایی مانند تابش، نم نسبی، وزش باد و بارندگی روابط مستقیم و غیرمستقیم دارد و فرایندهای آب‌وهوایی را کنترل می‌کند (رسولی، ۱۳۸۱: ۲۵). در بین همه متغیرهای آب‌وهوایی، دماهای فرین به دلیل ارتباط مستقیم با تغییر اقلیم مورد توجه خاص قرار گرفته است (آندرسون و بوش^۳، ۲۰۰۵: ۱). با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشید توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است که این تغییرات به‌نوبه خود سبب تغییرات دیگری در سایر عناصر هوا می‌شود. فراوانی و شدت دماهای حداکثر می‌تواند موجب رخداد امواج گرمایی گردد.

تعریف مشخص و کاملی از موج گرمایی وجود ندارد. بلکه بر اساس طول مدت، شدت، نوع فعالیت و متناسب با نوع پیامدهای محیطی، تعاریف مختلفی از آن ارائه شده است. "عموماً موج گرمایی، به دوره‌های شدید گرما اطلاق می‌شود که بیش از ۵ روز دوام داشته باشد و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها ایجاد بحران کند" (توسیچ و اونکاسویچ^۴، ۲۰۰۹: ۱۸). امواج گرما به‌خصوص دماهای بالای ۴۰ درجه در تابستان مشکلات زیادی برای زیست‌انسان‌ها و پوشش گیاهی به‌ویژه پوشش گیاهی کشاورزی تولید می‌کند و فراوانی، شدت و دوام دماهای فرین می‌تواند سبب ذوب سریع برف‌ها و یخبندان، آتش‌سوزی، بهمن، شیوع امراض و کاهش محصولات کشاورزی شود (سلوچی^۵، ۲۰۰۶: ۲۰۱۰).

1 Theoharatos et al.

2 Wolf and McGregor

3 Anderson and Bausch

4 Tosic and Unkasevic

5 Seluchi

به دلایل فوق برخی از مطالعات در ایران و جهان، این دماها را مد نظر قرار داده‌اند. از جمله در منطقه بالکان تأثیر پرفشار جنب‌حاره‌ای بر روی افزایش ناگهانی دما بررسی و مشخص شد که در روزهای حاکمیت این پرفشار، جریانات جنوب‌غربی غلبه داشته و هوای گرم و خشک (CT) بیابان آفریقا با چرخش آنتی‌سیکلونی به سمت یونان کشیده شده است. در این موقع محور رودباد جنب‌حاره‌ای به سمت شمال جابه‌جا و موجب افزایش آدیاباتیک دما شده است (بالافوتیس و ماکاروجینیس^۱، ۲۰۰۱: ۱). بررسی موج‌های گرمایی و روزهای گرم و بسیار گرم در کویت در دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۸ نشان داد که در فصل گرم، پرفشار جنب‌حاره‌ای نقش مهمی در ایجاد شرایط حاره‌ای در این کشور و بخش‌های شمالی خلیج فارس ایفا می‌کند. در واقع جابه‌جایی رودباد جنب‌حاره‌ای به طرف شمال (عرض ۴۰ درجه) و انتقال پشته حاره‌ای به سطح میانی تروپوسفر، باعث حاکمیت شرایط گرم و انتقال هوای گرم و خشک عربستان به سمت کویت می‌شود (نصراله و همکاران^۲، ۲۰۰۴: ۳۵۷). مطالعه موج گرمایی استثنایی اوایل آگوست ۲۰۰۳ در فرانسه نشان داد که تابستان ۲۰۰۳ یکی از گرم‌ترین تابستان‌ها در طول ۵۰۰ سال گذشته بوده و عامل تأثیرگذار در رخداد این گرما و بروز شرایط خشکسالی، دمای بالای روی دریای مدیترانه در ماه‌های می، ژوئن، جولای و آگوست، و حجم کم رطوبت و نفوذ پرفشار در بهار و تابستان آن سال بوده است. همچنین شکل‌گیری حالت بلوکی‌نگ بر روی شبه‌جزیره ایبری و فرانسه موجب افزایش پایداری و نزول هوا در منطقه شده است (تریگو و همکاران^۳، ۲۰۰۵: ۱). با استفاده از دماهای حداقل و حداکثر در ۲۰ ایستگاه کشور یونان و با به‌کارگیری نقشه‌های ضخامت سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تغییرات دماهای فرین در ارتباط با انواع گردش جوی در دوره (۲۰۰۰-۱۹۵۸) بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که به سبب همرفت هوای گرم از شمال آفریقا، روندهای دمای حداکثر در اکثر ایستگاه‌ها افزایشی بوده است (ماهراس و همکاران^۴، ۲۰۰۶: ۱۶۱). بررسی موج گرمای تابستان ۲۰۱۰ در آمریکای شمالی با استفاده از نقشه‌های آنومالی مشخص کرد که بیشترین میزان آنومالی مثبت روی گرینلند و شرق کانادا اتفاق افتاده است. این موج گرما ناشی از پشته پرفشار و پایداری بوده که از ماه ژوئن ۲۰۱۰ ابتدا به‌واسطه پرفشار دینامیکی آזור شکل گرفته، اما بعداً به‌وسیله جریان هوای گرم شرق مدیترانه تقویت شده است (فردریش و بیسولی^۵، ۲۰۱۲). بررسی ارتباط تغییرات بین‌دهه‌ای وقایع حدی دما و گردش عمومی جو در اروگوئه مشخص نمود که احتمالاً تغییرات در تحول آل-نینو بعد از سال ۱۹۷۶ در تغییر رابطه بین وقایع دمای فرین و گردش عمومی جو در این کشور نقش داشته است (رنوم و همکاران^۶، ۲۰۱۱: ۲۴۷۱). در مطالعه-ای در ایالات متحده، امواج گرمایی روزانه و شبانه که بیش از سه روز متوالی تداوم داشتند و بالاتر از صدک ۱۹۹ام بودند، بررسی و مشخص شد که ویژگی‌های سینوپتیک امواج گرمایی روزانه و شبانه تفاوت زیادی با هم ندارند. همچنین

1 Balafoutis and Makaroginnis

2 Nasrallah et al.

3 Trigo et al.

4 Maheras et al.

5 Friedrich and Bissolli

6 Renom et al.

معلوم گردید که فراوانی و تداوم امواج گرمایی در بیشتر قسمت‌های ایالات متحده در حال افزایش است (بومباکو و همکاران^۱، ۲۰۱۳: ۱۶۱۸). در اروپا با استفاده از معیار آماری میانگین دمای معادل یا بالاتر از دو انحراف معیار نسبت به میانگین درازمدت، تابستان‌های بسیار گرم در چهار آستانه دمایی در یک دوره ۶۰ ساله بررسی و نتیجه‌گیری شد که فراوانی تابستان‌های گرم رو به افزایش است؛ به نحوی که در ۳۰ سال اول، یک تابستان گرم، در حالی که فقط در دهه اخیر ۵ تابستان بسیار گرم مشاهده شده است (تواردوژ و کوزوفسکا^۲، ۲۰۱۳: ۶۲۷).

تاکنون در ایران چند مطالعه در زمینه امواج گرما انجام شده است. در ابتدا باید گفت که ایران از نظر اقلیمی در منطقه جنوبی برون‌حاره و در شمال منطقه حاره قرار دارد. در دوره گرم سال استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای (STHP) آזור هوای پایدار ایجاد کرده، شرایط گرم و خشک اقلیم حاره‌ای را تشدید می‌کند؛ ولی با آغاز دوره سرد سال بادهای غربی جای پرفشار جنب‌حاره‌ای آזור را می‌گیرند. این بادهای همراه خود توده‌های هوای سرد و گرم را حمل می‌کنند و باعث تغییرات دمای هوا می‌شوند. در فصل گرم با تسلط پرفشار دینامیک جنب‌حاره و عقب‌نشینی دیگر مراکز کم‌فشار دینامیک به سمت عرض‌های بالا، عموماً نفوذ توده‌های هوایی متنوع، محدود می‌گردد (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۶: ۳۲). به دنبال استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای آזור در جنوب کوه‌های البرز و صاف بودن آسمان، پرتوهای نسبتاً عمود و گرم خورشید به سطح زمین می‌رسد و سطح زمین هم در بیشتر نقاط به دلیل شوره‌زار و ماسه‌زار بودن و نداشتن پوشش گیاهی و نهایتاً پایین بودن گرمای ویژه زودتر گرم می‌شود. لذا بالاترین دماهای روز در همه نقاط ایران، به بیش از ۳۵ درجه سلسیوس می‌رسد (علیجانی، ۱۳۸۷: ۵۸-۵۹). در یکی از تحقیقات انجام شده، موج آبرگرم تابستان ۱۳۸۹ ایران به-روش همدید مطالعه و مشخص شد که وجود یک کم‌فشار حرارتی بر روی شبه‌جزیره عربستان و اثرات ناشی از سوق یافتن، فعالیت و مهاجرت کم‌فشار مذکور به سمت ایران به همراه تسلط پرفشار جنب‌حاره‌ای در ترازهای میانی جو، عامل اصلی گرمایش و گسیل موج مذکور به روی ایران بوده است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۸۵). همچنین در تحلیل همدید آتش‌سوزی‌های روسیه و سیل پاکستان مشخص شد که موقعیت مکانی سامانه بندالی در ترازهای بالایی جو باعث گسیل شمال-سوی جریان‌های گرم عرض‌های جغرافیایی پایین به منطقه روسیه شده و تناوب زمانی ماندگاری سامانه باعث انباشتگی هوای گرم و خشک در قسمت غرب سامانه همراه با آسمان صاف و آفتابی شده که این مکانیسم منجر به افزایش شدید دما و رخداد آتش‌سوزی‌های گسترده اواخر ژوئیه در روسیه شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۳۱). تحلیل زمانی- مکانی امواج گرمایی در ایران با شش نمایه به کمک آزمون‌های من-کندال و رگرسیون خطی مشخص کرد که روند تعداد امواج گرمایی طی دهه‌های اخیر رو به افزایش است و نه تنها تعداد امواج گرمایی افزایش یافته، بلکه ماندگاری آن‌ها نیز روند مثبتی را نشان می‌دهد. امواج گرمایی ماندگار و مانا، مانا تر شده‌اند و به صورت پیاپی بیشتر رخنمود پیدا می‌کنند (دارند، ۱۳۹۳: ۱۷۹).

1 Bumbaco et al.

2 Twardosz and Kossowska

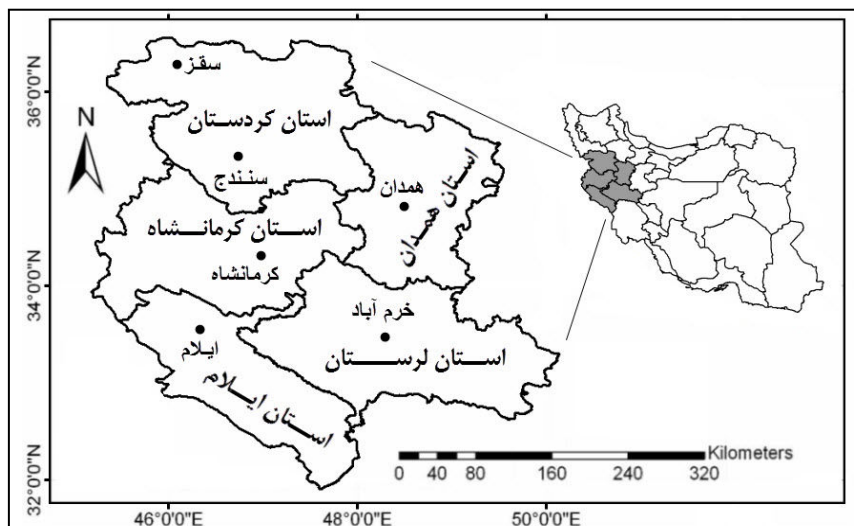
بررسی‌های دمایی در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که شدت روند افزایشی دما در ایستگاه‌های مناطق کوهستانی و برف‌گیر شمال‌غرب، شمال و تا حدودی غرب، نسبت به مناطق جنوبی ایران بیشتر بوده است. از این رو مشکلات ناشی از افزایش دما در این مناطق محسوس‌تر است. با توجه به اینکه غرب ایران یکی از مناطق مهم تمرکز جمعیت و انجام فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی به شمار می‌رود، این تحقیق در نظر دارد رخداد دماهای فرین را در قالب امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در این منطقه بررسی کند و این امواج را در قالب یک پژوهش آماری-همدمیدی مورد تحلیل قرار دهد.

۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل پنج استان غربی کشور، یعنی استان‌های کرمانشاه، کردستان، همدان، لرستان و ایلام است (شکل ۱). از نظر آب‌وهوایی قسمت‌های جنوبی و غربی منطقه مشتمل بر ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام در ناحیه کوهپایه‌ای بیرونی و سایر قسمت‌های منطقه در ناحیه کوهستانی قرار می‌گیرد (علیجانی، ۱۳۸۷: ۱۷۶ و ۱۸۶). نوار پست غربی منطقه- که در شکل ۱ به رنگ سبز نشان داده شده است- آب‌وهوای گرم‌تری دارد. اما سایر قسمت‌های منطقه بر حسب قرارگیری در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی متفاوت، آب‌وهوای سردتری دارد.

۳. مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر به منظور بررسی آماری و تحلیل الگوهای همدمیدی به وجود آورنده امواج گرمایی، از آمار روزانه دمای حداکثر ۶ ایستگاه سینوپتیک منطقه غرب کشور در یک دوره آماری ۳۲ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۶) و نقشه‌های همدمیدی امواج گرم استفاده شده است. انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس طولانی بودن و قرار گرفتن در یک دوره زمانی مشترک انجام شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱ نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، برای انتخاب آستانه عددی جهت تعریف دماهای فوق گرم و رخداد امواج گرمایی، معیارهای متفاوتی پیشنهاد شده است. از جمله در ایران روز گرم روزی در نظر گرفته شده است که دمای بیشینه به بیش از ۳۲ درجه سلسیوس برسد (علیجانی، ۱۳۹۰: ۱۵)، یا اینکه امواج گرم در استان کرمان در دو دسته بررسی شده است: دسته اول امواجی که بین ۱ تا ۳ روز، و دسته دوم امواجی که ۶ روز یا بیشتر دوام داشتند (یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰: ۵۵). در ایالات متحده، دماهای حداکثر بالاتر از صدک ۹۹ ام با تداوم بیش از سه روز مبنای تعریف موج گرما قرار گرفت (بومباکو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۶۱۸). در ایران نیز از صدک‌های ۹۰، ۹۵ و ۹۹ برای تعریف موج گرما استفاده شد (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷). همچنین معیار آماری میانگین دمای معادل یا بالاتر از دو انحراف معیار نسبت به میانگین درازمدت به‌عنوان ملاک تعریف روز بسیار گرم در نظر گرفته شد (تواردوژ و کوزوفسکا، ۲۰۱۳: ۶۲۷). در مطالعه دیگری در ایران برای شناسایی امواج گرما و دماهای فرین گرم، از شاخص فومیاکی استفاده شد. برای محاسبه این نمایه، نخست میانگین بلندمدت دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۲). با جمع‌بندی ملاک‌های فوق، در تحقیق حاضر بر اساس شرایط دمایی منطقه مورد مطالعه و مقایسه ایستگاه‌ها در شرایط دمایی یکسان، و اینکه شدت گرمای تابستان در هر نقطه از کشور با تعداد روزهای گرم، مثلاً بیش از ۴۰ درجه سلسیوس، بهتر مشخص می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۷: ۵۸)، رسیدن دمای حداکثر روزانه به ۴۰ درجه سلسیوس و بالاتر، مبنای تعریف موج گرمایی قرار گرفت. بر این اساس به‌منظور امکان‌پذیر شدن پردازش‌های آماری و مقایسه تاریخ‌ها با یکدیگر، تاریخ‌هایی که در هر کدام از ایستگاه‌ها دمای حداکثر در تمام سال‌های دوره آماری، به ۴۰ درجه سلسیوس و بالاتر رسیده بود، استخراج گردید. سپس به هر یک از روزها بر مبنای اول ژانویه، یک شماره-روز ژولیوسی تعلق گرفت و بر اساس آن ویژگی‌های مختلف روزهای فوق گرم، از قبیل تاریخ‌های شروع، طول دوره و فراوانی روزها تحلیل گردید.

در ادامه، امواج گرمایی بر مبنای دو معیار استخراج گردید: وقوع دمای ۴۰ درجه و بالاتر حداقل در سه ایستگاه، و رخداد سه روز متوالی شرایط فوق. روز شروع موج به‌عنوان روزی تعریف شد که دما در ایستگاه‌های مورد نظر با رعایت شرط‌های فوق برای اولین بار به ۴۰ درجه سلسیوس، و روز خاتمه موج به‌عنوان روزی تعریف شد که برای آخرین بار دما در ایستگاه‌ها با رعایت همان شرط‌ها به ۴۰ درجه سلسیوس رسیده باشد. قابل ذکر است که برای محاسبه دمای میانگین یک موج، از دماهای حداکثر ۴۰ درجه و بالاتر تمام ایستگاه‌ها در تمام روزهای حاکمیت آن موج استفاده شد و عدد به‌دست‌آمده به‌عنوان نماینده دمای آن موج لحاظ گردید.

برای مطالعه همدیدی چگونگی رخداد امواج گرمایی، با مراجعه به وب‌سایت نووا^۱ داده‌های بازکاوی شده ارتفاع ژئوپتانسیل متر، فشار سطح دریا، دمای سطح زمین، ضخامت ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال و همچنین مؤلفه نصف‌النهاری باد سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه در ۲/۵ درجه اخذ گردید و در گام بعد، نقشه‌های میانگین و

1 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>

آنومالی فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، فرارفت هوای گرم و نقشه‌های ضخامت با استفاده از نرم‌افزار GrADS رسم شد. نقشه‌های ضخامت، بین سطوح ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ترسیم می‌شوند که این ضخامت به‌عنوان ضخامت تمام جو تلقی می‌شود. معمولاً ضخامت جو بر اثر گرمایش افزایش و بر اثر سرمایش کاهش می‌یابد. بنابراین اگر در منطقه‌ای اتمسفر گرم شود، ضخامت آن بیشتر می‌شود. در نتیجه، نقشه‌های ضخامت، به‌طور غیرمستقیم دمای اتمسفر را نشان می‌دهند (علیچانی، ۱۳۸۱: ۵۳).

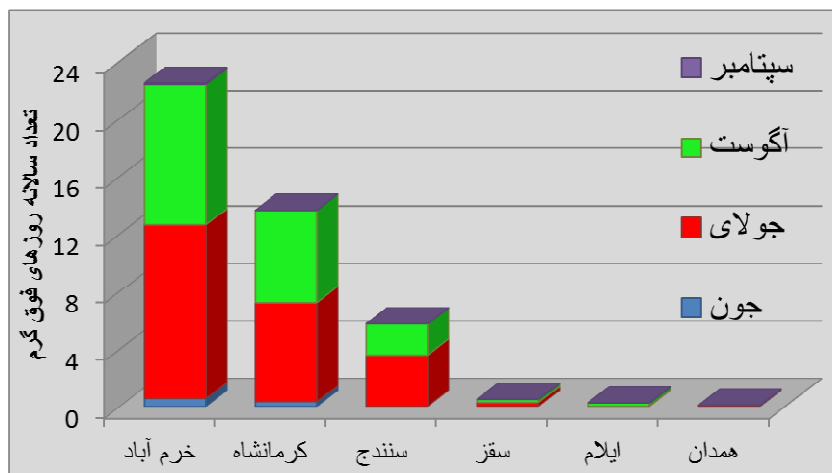
۴. نتایج و بحث

با توجه به هدف تحقیق، در اولین گام تمام تاریخ‌هایی که در ماه‌های جون، جولای، آگوست و سپتامبر دماهای حداکثر روزانه در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۴۰ درجه سلسیوس و بالاتر رسیده بود، مورد بررسی قرار گرفت. در سایر ماه‌ها در هیچ روزی دمای بالای ۴۰ درجه گزارش نشده بود. نتایج پردازش نشان داد که در منطقه مورد مطالعه تاریخ‌های آغاز دمای بالای ۴۰ درجه از نقطه‌ای به نقطه دیگر اختلاف قابل توجهی دارد (جدول ۱). در بین ایستگاه‌های منطقه، زودترین میانگین تاریخ آغاز دمای ۴۰ درجه، مربوط به ایستگاه خرم‌آباد در روز ۱۱ تیر، و دیرترین آن مربوط به ایستگاه ایلام در روز ۸ مرداد است. ایستگاه‌های واقع در جنوب و غرب منطقه نسبت به ایستگاه‌های شمال منطقه، دوره گرم‌تری را آغاز می‌کنند و طول مدت و شدت دوره گرم در این ایستگاه‌ها بیشتر است. نکته جالب، شروع زودتر روزهای فوق گرم در ایستگاه همدان نسبت به ایستگاه‌های گرمسیرتر مانند ایلام است که علت اصلی آن، ارتفاع زیاد این ایستگاه و گرم شدن بیشتر آن در ساعات بعدازظهر به دلیل ضخامت کم و رقیق‌تر بودن جو است.

جدول ۱ تاریخ‌های آغاز دمای ۴۰ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های منطقه (میانگین ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷)

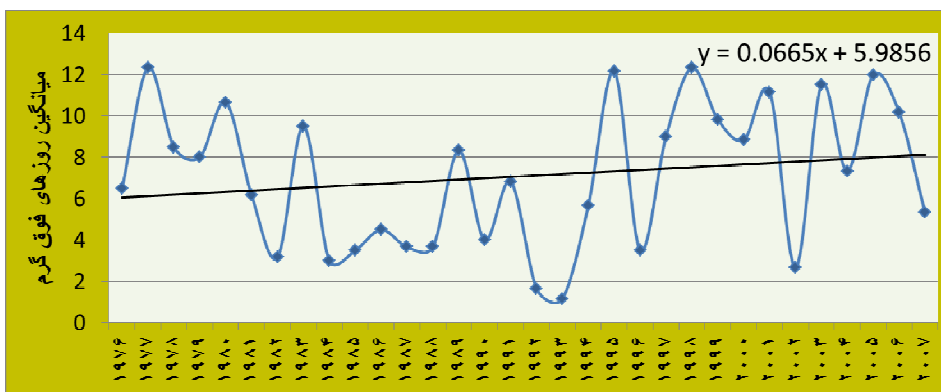
ردیف	نام ایستگاه	میانگین روز آغاز	زودترین تاریخ آغاز		دیرترین تاریخ آغاز	
			سال	روز	سال	روز
۱	خرم‌آباد	۱۸۴ (۱۱ تیر)	۱۹۸۴	۱۶۴	۱۹۹۰	۱۹۸
۲	کرم‌شاه	۱۹۲ (۱۹ تیر)	۱۹۹۹	۱۷۲	۱۹۸۴	۲۳۲
۳	همدان	۱۹۲ (۱۹ تیر)	۱۹۸۱	۱۶۸	۱۹۷۶	۲۱۴
۴	سنندج	۲۰۱ (۲۸ تیر)	۲۰۰۰	۱۸۳	۱۹۸۴	۲۳۳
۵	سقز	۲۰۶ (۲ مرداد)	۱۹۸۶	۱۸۸	۱۹۸۴	۲۳۴
۶	ایلام	۲۱۲ (۸ مرداد)	۱۹۸۱	۱۹۸	۲۰۰۳	۲۲۱

میانگین فراوانی سالانه تعداد روزهای با دمای ۴۰ درجه و بالاتر در ایستگاه‌های مورد مطالعه، از ۰/۱ روز در ایستگاه همدان تا ۲۲/۵ روز در ایستگاه خرم‌آباد متغیر است. بدین ترتیب ایستگاه‌های مناطق مرتفع کمترین تعداد روزهای فوق گرم را داشته‌اند. سهم ماه‌های جولای و سپس آگوست در تعداد روزهای فوق گرم بسیار چشمگیر است (شکل ۲).



شکل ۲ میانگین سالانه تعداد روزهای فوق گرم (۴۰ درجه و بالاتر) در ایستگاه‌های منطقه (۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷)

بررسی تغییرات سالانه میانگین تعداد روزهای فوق گرم (دمای ۴۰ درجه سلسیوس و بالاتر) در ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که تعداد این روزها به‌طور میانگین در ایستگاه‌های منطقه ۰/۰۶۶۵ روز در سال معادل ۲/۰۶ روز در دوره آماری افزایش می‌یابد که شاید بتوان آن را نشانه‌ای از گرایش به گرما در منطقه قلمداد نمود (شکل ۳) که البته نیازمند مطالعات بیشتری است. اطلاعات دقیق‌تر روند تعداد روزهای فوق گرم- که با معادلات رگرسیون خطی محاسبه شده است- در جدول ۳ ارائه گردیده است. میانگین تعداد روزهای فوق گرم در طی سال‌های مختلف، افت‌وخیز قابل توجهی نشان می‌دهد که می‌تواند حاکی از ورود توده‌هواهای متفاوت در سال‌های مختلف باشد.



شکل ۳ میانگین سالانه تعداد روزهای فوق گرم (با دمای ۴۰ درجه سلسیوس و بالاتر) در ایستگاه‌ها

جدول ۲ مقادیر شیب روند تعداد سالانه روزهای فوق گرم (روز در سال) به همراه وضعیت معنی‌داری آن‌ها

کل ایستگاه‌ها	خرم-	همدان	سنندج	ایلام	سقز	کرمانشاه
۰/۰۶۶۵	۰/۱۶۴	۰/۰۰۶	-۰/۲۰۵	۰/۰۳۱	-۰/۰۶۷**	۰/۴۷۰**

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

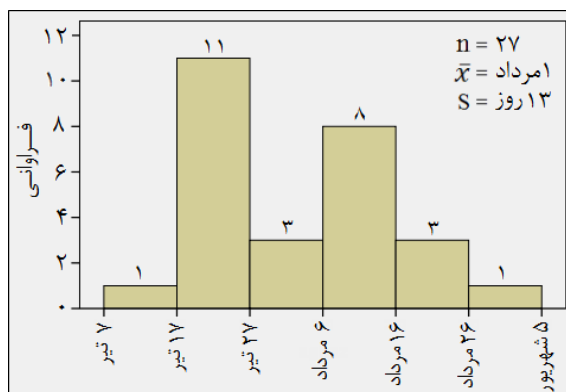
بر اساس شرایطی که قبلاً ذکر شد، یعنی رخداد دمای ۴۰ درجه و بالاتر، حداقل در سه ایستگاه به مدت حداقل سه روز متوالی، تعداد ۲۷ موج گرمایی در منطقه مورد مطالعه استخراج شد. ویژگی های آماری این ۲۷ موج در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳ ویژگی های آماری ۲۷ موج گرمایی منطقه غرب کشور

سال	تعداد وج	تعداد ایستگاههای دربگیرنده	روز آغاز موج	روز پایان موج	تداوم (روز)	دمای میانگین موج (درجه سلسیوس)
۱۹۷۶	۱	۵	۱ آگوست	۸ آگوست	۸	۴۱/۴
۱۹۷۷	۴	۳	۵ جولای	۹ جولای	۵	۴۱
		۴	۲۱ جولای	۲۷ جولای	۷	۴۰/۷
		۳	۲ آگوست	۵ آگوست	۴	۴۰/۸
۱۹۷۸	۱	۴	۹ آگوست	۱۶ آگوست	۸	۴۰/۸
		۵	۱۰ جولای	۲۹ جولای	۲۰	۴۰/۴
۱۹۷۹	۱	۴	۹ جولای	۲۶ جولای	۱۸	۴۱/۰۶
۱۹۸۱	۱	۴	۹ جولای	۱۹ جولای	۱۱	۴۱/۳
۱۹۸۳	۳	۴	۱۱ جولای	۱۹ جولای	۹	۴۰/۹
		۳	۱ آگوست	۳ آگوست	۳	۴۱/۵
		۳	۹ آگوست	۱۹ آگوست	۱۱	۴۱/۴
۱۹۸۹	۲	۴	۹ جولای	۱۶ جولای	۸	۴۱/۱
		۴	۱۸ جولای	۲۱ جولای	۴	۴۱/۱
۱۹۹۱	۱	۳	۳۰ جولای	۱۰ آگوست	۱۲	۴۰/۹
۱۹۹۵	۱	۴	۱۵ جولای	۱۱ آگوست	۲۸	۴۱/۴
۱۹۹۷	۱	۳	۲۷ جولای	۱ آگوست	۶	۴۲/۸
۱۹۹۸	۳	۳	۱۰ آگوست	۱۷ جولای	۷	۴۲/۴
		۳	۱۰ آگوست	۲۰ آگوست	۱۱	۴۱/۱
		۴	۲۴ آگوست	۳۱ آگوست	۸	۴۱/۱
۲۰۰۰	۱	۵	۱۳ جولای	۲۲ جولای	۱۰	۴۰/۸
۲۰۰۱	۱	۴	۱ آگوست	۱۱ آگوست	۱۱	۴۰/۸
۲۰۰۳	۲	۳	۱۰ جولای	۱۶ جولای	۷	۴۱/۳۳
		۵	۲ آگوست	۱۶ آگوست	۱۵	۴۱
۲۰۰۵	۲	۳	۸ جولای	۲۰ جولای	۱۳	۴۱/۶
		۳	۵ آگوست	۹ آگوست	۵	۴۰/۹
۲۰۰۶	۲	۳	۱۷ جولای	۲۹ جولای	۱۳	۴۰/۹
		۳	۳ آگوست	۶ آگوست	۴	۴۱/۲
میانگین			۲۳ جولای	۱ آگوست	۱۰	۴۱/۲

بررسی تاریخ های آغاز امواج گرمایی در جدول ۳ نشان داد که زمان معمول برای شروع موج گرما و رسیدن دما به ۴۰ درجه و بالاتر در غرب کشور، روز ۲۳ جولای معادل ۱ مرداد با انحراف معیار ۱۳ روز است. باین وجود برخی از امواج، زودتر از حد معمول (مانند ۵ جولای ۱۹۷۷ مصادف با ۱۴ تیر ۱۳۵۶)، و یا دیرتر از حد معمول (مانند ۲۴ آگوست ۱۹۹۸ مصادف با ۲ شهریور ۱۳۷۷) در منطقه حاکم شده اند. شکل ۴ توزیع فراوانی روزهای آغاز ۲۷ موج

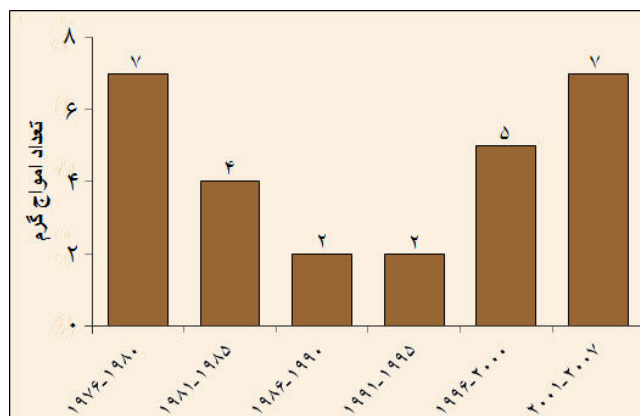
گرمایی منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس شکل، بیشترین امواج گرما بین روزهای ۱۷ تا ۲۷ تیر و ۶ تا ۱۶ مرداد آغاز شده‌اند.



شکل ۴ توزیع فراوانی روزهای آغاز ۲۷ موج گرما در منطقه

در دوره آماری مورد مطالعه، سال ۱۹۷۷ با ۴ موج گرمایی قابل ملاحظه، با شدت و مدت‌های متفاوت، از جمله مهم‌ترین سال‌ها به شمار می‌رود. میانگین طول مدت حاکمیت امواج در منطقه، ۱۰ روز و از ۳ تا ۲۸ روز در نوسان بوده است. برای مثال موج سال ۱۹۹۵ به مدت ۲۸ روز در منطقه مستقر بوده است (جدول ۳). در این مدت، ایستگاه‌های خرم‌آباد و کرمانشاه به ترتیب با ۲۶ و ۲۸ روز و همدان با ۱ روز، بیشترین و کمترین تعداد روزهای با دمای معادل یا بالای ۴۰ درجه سلسیوس را تجربه کرده‌اند.

بررسی روند زمانی تعداد امواج گرم در دوره مطالعاتی نشان داد که روند تعداد این امواج در نیمه اول دوره آماری، یعنی از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ کاهشی و از آن به بعد افزایشی بوده است (شکل ۵). شاید به همین علت باشد که در جدول ۲، روندهای زمانی تعداد روزهای با دمای ۴۰ درجه و بالاتر در کل دوره آماری در اغلب ایستگاه‌ها معنی‌دار نیست. چراکه روند منظمی در طول زمان حفظ نکرده است.



شکل ۵ روند زمانی تعداد امواج گرما در دوره مطالعاتی

بررسی میانگین دمای امواج و گسترش مکانی آن‌ها نشان داد که هرکدام از آن‌ها، ویژگی‌های متفاوتی داشته‌اند و لزوماً امواج با حداکثر دما از بیشترین گسترش مکانی برخوردار نبوده‌اند؛ به‌عنوان مثال موج اول سال ۱۹۹۸، دارای بیشترین دمای میانگین موج (۴۲/۴ درجه سلسیوس) و بیشترین دمای میانگین موج در روز اوج (۴۳/۴۳ درجه سلسیوس) بوده، ولی از نظر گسترش، چندان حائز اهمیت نبوده و فقط ۳ ایستگاه را در بر گرفته است. در این سال، تعداد روزهای با دمای بیش از ۴۰ درجه در ایستگاه‌های خرم‌آباد و کرمانشاه به ترتیب ۳۵ و ۳۲ روز بوده است. سال ۱۹۹۸ نیز از نظر فراوانی رخداد امواج گرمایی و گسترش مکانی گرما، سالی قابل توجه بوده است (جدول ۳).

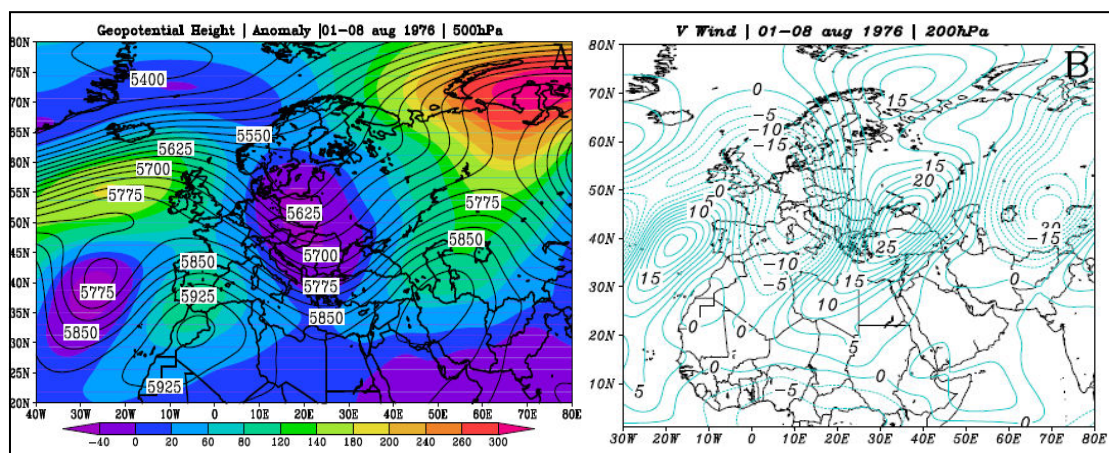
۴. ۱. تحلیل همدید امواج گرمایی

برای بررسی شرایط همدید امواج گرمایی در منطقه، تعداد ۲۷ موج انتخابی به دو دسته امواج شدید (امواج دارای دمای میانگین بالاتر و گسترش مکانی بیشتر) و امواج معمولی (امواج دارای دما و شرایط نزدیک به وضعیت غالب) انتخاب و مورد واکاوی قرار گرفتند که در نهایت یک الگوی کلی برای امواج شدید و یک الگوی دیگر برای امواج نزدیک به حالت نرمال استخراج گردید.

۴. ۲. شرایط همدید امواج نزدیک به حالت نرمال

بررسی شرایط همدید در تراز میانی جو همزمان با رخداد امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال در غرب ایران بیانگر گسترش مکانی پر ارتفاع دینامیکی آزور به صورت نصف‌النهاری در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی تا روی ایران است؛ به طوری که شکل الگوی منحنی‌های هم‌ارتفاع، هسته دینامیکی پرارتفاعی را بر روی نیمه غربی ایران نشان می‌دهد. از طرف دیگر وجود پر ارتفاع قوی بر روی کوهستان اورال در روسیه سبب شده است تا جریان‌های مداری بر روی این مناطق کاملاً به حالت نصف‌النهاری تبدیل شوند. این شرایط سبب می‌شود تا سیستم پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای به عرض‌های شمالی‌تر پیشروی کند. همان‌طور که در شکل (۶، A) مشاهده می‌شود، هسته پر ارتفاع عربستان با ارتفاع ۵۹۰ ژئوپتانسیل دکامتر با محور جنوب‌غربی-شمال‌شرقی تا روی دریای خزر کشیده شده و سراسر ایران را در بر گرفته است. حاکمیت شرایط پر ارتفاع بر روی نیمه غربی ایران در نتیجه همگرایی در سطوح میانی جو، سبب نزول دمای هوا به صورت آدیاباتیک می‌شود. این نزول هوا سبب شکل‌گیری هسته پر ارتفاع گرمی بر روی شمال عربستان با جهت جنوب‌غربی-شمال‌شرقی می‌شود که زبانه‌های این هسته گرم بر روی بیابان‌های عربستان پیشروی کرده است. همچنین بررسی نقشه‌های آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیلی برای این امواج نشان می‌دهد که متوسط آنومالی‌ها بر روی نیمه غربی ایران بالاتر از شرایط نرمال است و به سمت شمال افزایش بیشتری دارد؛ به‌عنوان مثال در موج گرمایی ۱۹۷۶ به ۴۰+ متر می‌رسد (شکل ۶، A).

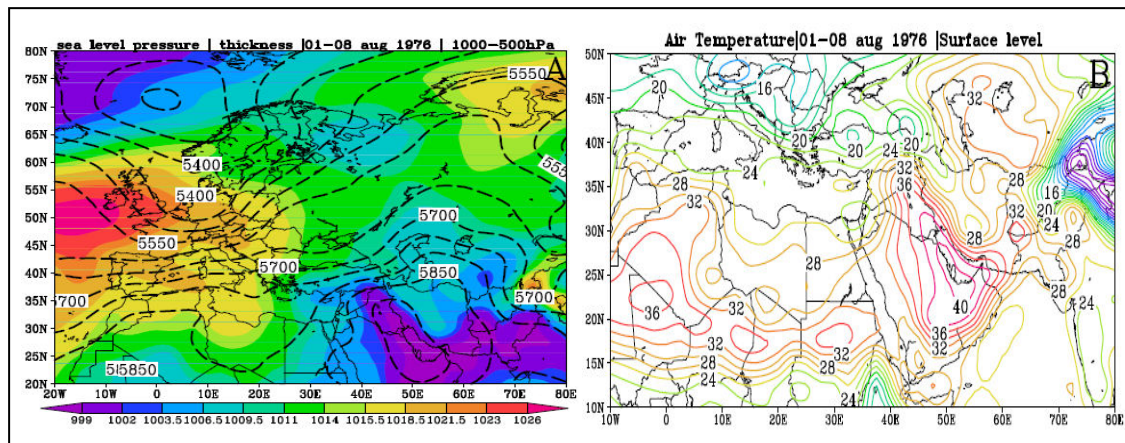
در سمتی دیگر (شکل ۶، B)، فرارفت هوای گرم در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی نشان داده شده است. این نقشه که از مؤلفه جریان نصف‌النهاری باد به دست آمده است، گویای فرارفت و حرکت افقی هوای گرم به منطقه است؛ به نحوی که سراسر شمال‌غرب آفریقا تا روسیه را پوشش داده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار فرارفت در غرب ایران مثبت است.



شکل ۶ شرایط همدیدتراز میانی جو برای موج گرمایی سال ۱۹۷۶ (۸-۱ آگوست)، A: ارتفاع ژئوپتانسیل (خطی) و B: فرارفت هوای گرم تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال (پهنه‌ای).

بررسی نقشه‌های سطح دریا (شکل ۷، A) نشان می‌دهد که در جنوب و جنوب‌غرب ایران مراکز کم‌فشار حرارتی شکل گرفته است. این مراکز کم‌فشار در نتیجه افزایش زاویه تابش خورشید و انتقال پرفشار دینامیکی آزر به ارتفاع بالاتر شکل گرفته است. کم‌فشارهای حرارتی شکل گرفته در این منطقه، با گردش خلاف عقربه‌های ساعت، هوای گرم و خشک بیابان‌های عربستان را به روی جنوب ایران منتقل می‌کند (شکل ۷، B). این شرایط سبب می‌شود تا ایستگاه‌های غربی ایران مانند خرم‌آباد و همچنین مناطق مرزی نیمه غربی به دلیل نزدیکی به بیابان‌های عراق و عربستان، دماهای بالا توأم با فراوانی و شدت بیشتر را گزارش نمایند؛ در حالی که در ایستگاه‌هایی مانند همدان و سنندج به دلیل دوری از این شرایط، ثبت دماهای بالای ۴۰ درجه کمتر گزارش شده است. در نتیجه در ترازهای بالایی جو، از یک سو بر اثر شکل‌گیری پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای و پیشروی آن به سمت عرض‌های شمالی و از سوی دیگر بر اثر گسترش پر ارتفاع عربستان با جهت جنوب‌غربی-شمال-شرقی به سمت منطقه مورد مطالعه، نزول آدیاباتیکی هوا رخ می‌دهد و پایداری و صافی آسمان را در مناطق تحت‌تأثیر خود به ارمغان می‌آورد. همزمان، شکل‌گیری مراکز کم‌فشار حرارتی در جنوب‌غرب ایران در تراز پایینی جو و مکش هوای گرم و خشک مناطق بیابانی اطراف به سمت منطقه مورد مطالعه، سبب رسیدن دماها به ۴۰ درجه و بالاتر و رخداد امواج گرمایی در غرب ایران می‌شود. قابل ذکر است که در مناطق کوهستانی در

طی فصل تابستان، عوامل محلی مانند فقر پوشش گیاهی و رقیق بودن جو در افزایش دمای این مناطق نقش مهمی ایفا می‌کند. شکل ۷ نقشه‌های همدید ترازهای میانی و سطح دریا را برای موج گرمایی سال ۱۹۷۶ به‌عنوان نماینده امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال نشان می‌دهد.

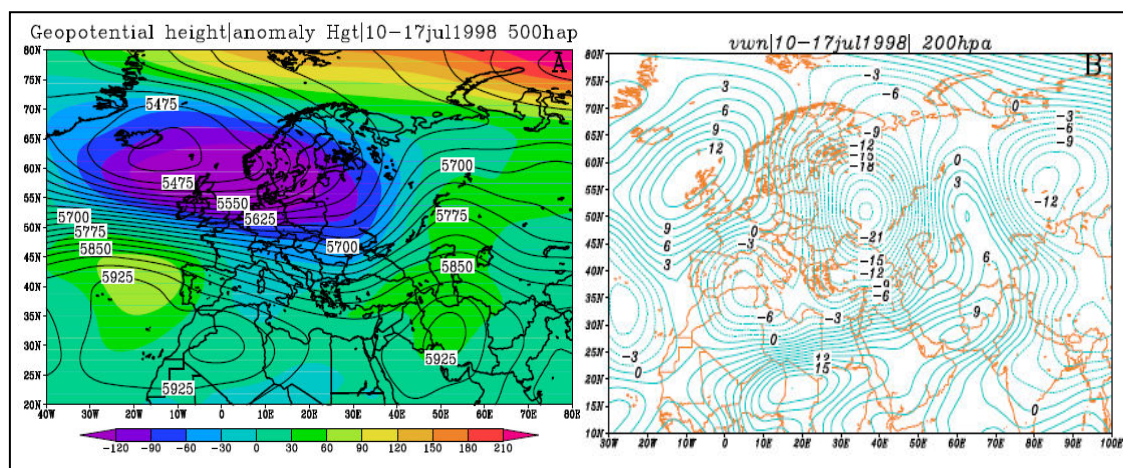


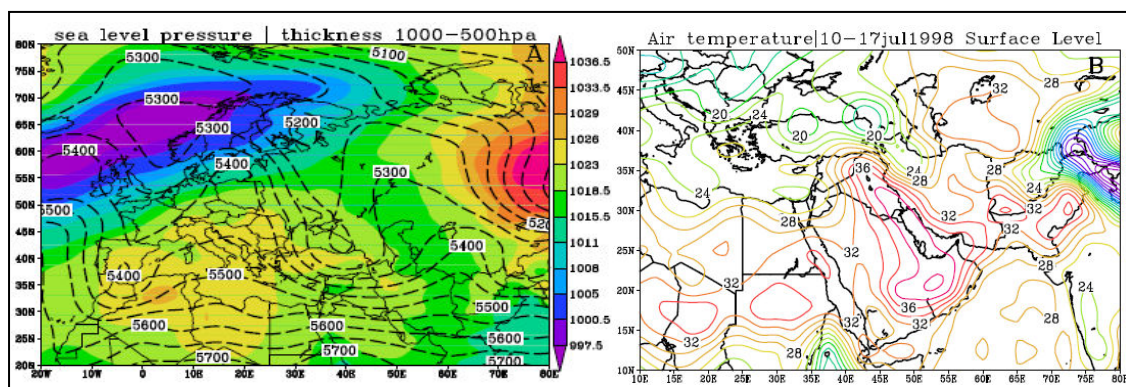
شکل ۷ شرایط همدید تراز دریا برای موج گرمایی سال ۱۹۷۶ (۸-۱ آگوست)، A: فشار سطح دریا (پهنه‌ای) و ضخامت جو (خطی)، B: دمای سطح زمین

۳.۴. شرایط همدید امواج شدید

بررسی شرایط همدید در تراز میانی جو همزمان با رخداد امواج شدید گرما در غرب ایران بیانگر شکل‌گیری پر ارتفاع دینامیکی آזור با یک هسته بسته بر روی ایران است. وجود این سامانه پر ارتفاع با توجه به نزول هوا به صورت آدیاباتیکی بر روی منطقه مورد مطالعه، سبب شکل‌گیری آسمان صاف و افزایش درجه حرارت شده است. نکته قابل توجه در این سامانه و تفاوت آن با موقعیت مکانی پر ارتفاع آזור در امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال، گسترش مکانی و جهت قرارگیری آن است. به‌طوری‌که در امواج گرمایی شدید، کشور ایران به‌طور کامل تحت استیلای این سامانه با جهت غربی- شرقی قرار گرفته و مرکز آن بر روی غرب ایران بسته شده است (شکل ۸ A)؛ درحالی‌که در امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال، پر ارتفاع آזור به سمت عرض‌های شمالی‌تر، حرکت می‌کند و جهت جنوب‌غرب- شمال‌شرق به‌خود می‌گیرد که در مجموع این شرایط از شدت آن می‌کاهد. به‌طور کلی وجود پشته دینامیکی آזור همراه با نزول و فرونشینی هوا بر روی ایران و به‌خصوص نیمه غربی، شرایط پایداری را موجب شده است. به‌علاوه، قوی‌تر بودن پر ارتفاع نسبت به حالت معمول بر روی غرب ایران، سبب شکل‌گیری هسته گرم با جهت جنوب‌غربی- شمال‌شرقی و گسترش مکانی بیشتر نسبت به امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال شده است. در اینجا نیز فرارفت شدید هوای گرم از عرض‌های پایین به سمت منطقه مورد مطالعه، قابل مشاهده است و همان‌طور که در شکل (۸ B) مشاهده می‌شود، مقادیر فرارفت هوا در کل خاورمیانه تا جنوب روسیه مثبت است که نشانگر ریزش هوای گرم در سطوح بالایی جو به منطقه است. بررسی نقشه‌های

آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل متری نیز بیانگر افزایش قابل توجه آن بر روی منطقه مورد مطالعه است؛ به طوری که مقادیر کتورهای ارتفاعی در موج گرمایی سال ۱۹۹۸، ۲۵ متر بیشتر از میانگین است که در مقایسه با امواج گرمایی نزدیک به حالت نرمال، در حدود ۱۰ متر بیشتر است (شکل ۸، A).





شکل ۹- شرایط همدید تراز دریا برای موج گرمایی سال ۱۹۹۸ (۱۷-۱۰ جولای)، A: فشار سطح دریا (پهنه‌ای) و ضخامت جو (خطی)، B: دمای سطح زمین

۵. نتیجه‌گیری

دانش بشر در حدی نیست که بتواند از وقوع دوره‌های حدی جلوگیری کند؛ اما با مطالعه و شناخت علل وقوع این دوره‌ها می‌توان از پیامدهای آن جلوگیری کرد. هدف این تحقیق، بررسی آماری-همدیدی دماهای بالای ۴۰ درجه سلسیوس و امواج گرمایی مربوطه در غرب ایران است. نتایج حاصل از پردازش دماهای حداکثر و استخراج ۲۷ موج گرما در غرب ایران نشان داد که زمان معمول برای شروع موج گرما و بالا رفتن دما به ۴۰ درجه و بالاتر در غرب کشور، اول مرداد ماه است. طول مدت و شدت گرما به ترتیب در ایستگاه‌های خرم‌آباد، کرمانشاه و سنندج، بسیار بیشتر از ایستگاه‌های سقز، همدان و ایلام است. دلیل این رخداد، علاوه بر ماهیت کوهستانی این سه ایستگاه و در نتیجه، دارا بودن جو رقیق‌تر و ورود راحت‌تر انرژی تابشی خورشیدی و گرم شدن زیاد سطح زمین در ساعات بعدازظهر، می‌تواند هم‌جواری آن‌ها با کشورهای عربستان و عراق و تأثیرپذیری از توده‌هواهای کم‌فشار مستقر بر روی این دو کشور باشد که طی گردش سیکلونی، هوای گرم و خشک بیابان‌های عربستان و شمال عراق را بر روی نیمه غربی ایران می‌کشاند. در اغلب موج‌های گرم مورد بررسی، پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای آזור به‌صورت کمربندی از شمال آفریقا تا روی ایران امتداد یافته است. این پر ارتفاع با شاخه ثانویه آن، به نام پر ارتفاع عربستان، تقریباً در تمام موج‌های گرما عامل اصلی بروز گرمای شدید در منطقه می‌باشند. نقشه‌های ضخامت و فرارفت هوای گرم نیز این وضعیت را تأیید می‌کنند. تعداد روزهای فوق گرم در ایستگاه‌های منطقه به‌طور متوسط ۰/۰۶۶۵ روز در سال معادل ۲/۰۶ روز در دوره آماری افزایش یافته است که با نتایج مطالعات انجام شده در یونان (ماهراس و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۶۱)، ایالات متحده آمریکا (بومباکو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۶۱۸) و اروپا (تواردوژ و کوزوفسکا، ۲۰۱۳: ۶۲۷) مطابقت دارد. در همین زمینه، بررسی توزیع فضایی و فراوانی موج‌های گرمایی در ایران با شاخص فومیکی (اسماعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹) و تحلیل توزیع جغرافیایی روندهای زمانی امواج گرمایی در ایران با شاخص صدک‌ها (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷) نشان داد که امواج گرمایی در ایران روند افزایشی داشته‌اند؛ درحالی‌که بر اساس نتایج این تحقیق و بر پایه شاخص دمای بالای ۴۰ درجه، روندهای زمانی تعداد

امواج گرم، تا سال ۱۹۹۰ کاهش و بعد از آن افزایشی بوده است. ضمن آنکه مطالعه حاضر، بر مبنای شاخص مورد استفاده خود، علاوه بر بررسی ویژگی‌های دقیق آماری هر ۲۷ موج گرمایی منطقه (جدول ۳)، به تحلیل فراوانی روزهای با دمای بالای ۴۰ درجه در ایستگاه‌ها (شکل ۲) و بررسی روند زمانی آن‌ها (جدول ۲ و شکل ۵)، تحلیل روزهای آغاز امواج گرمایی در منطقه که به لحاظ کاربردی می‌تواند در مطالعات مختلف مفید واقع شود (جدول ۱ و شکل ۴)، و نیز تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی منطقه غرب کشور پرداخته است. مقایسه نتایج این مطالعه با سایر مطالعاتی که در آینده در مناطق مختلف کشور انجام خواهد شد، می‌تواند تشابه یا تفاوت ویژگی‌های آماری و الگوهای هم‌بندی امواج گرمایی را در بخش‌های مختلف کشور آشکار سازد.

کتابنامه

- اسمعیل نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران. جغرافیا و توسعه. شماره ۳۳. صص ۳۹-۵۴. زاهدان.
- دارند، محمد؛ ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرمایی ایران زمین. جغرافیا و توسعه. سال ۱۲. شماره ۳۵. صص ۱۶۷-۱۸۰. زاهدان.
- رسولی، علی اکبر؛ ۱۳۸۱. تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی دمای هوای تبریز. نیوار. شماره ۴۷-۴۶. صص ۷-۲۶. تهران.
- عزیزی، قاسم؛ شمسی پور، علی اکبر؛ میری، مرتضی؛ ۱۳۹۱. واکاوی هم‌بندی ارتباط آتش‌سوزی‌های ماه ژوئیه ۲۰۱۰ روسیه و سیل پاکستان. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹. صص ۱۳۱-۱۴۴. زاهدان.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۷. آب‌وهوای ایران. چاپ هشتم. تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه پیام نور.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک. تهران: انتشارات سمت.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۰. تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. جلد ۱۷. شماره ۲۰. صص ۹-۳۰. تهران.
- غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ ۱۳۷۶. بزرگی، گستره و فراوانی خشک‌سالی‌ها در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴۵. صص ۲۵-۳۹. اصفهان.
- قوبدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج آبرگرم تابستان ۱۳۸۹ ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. سال اول. شماره سوم. صص ۸۵-۱۰۰. سبزوار.
- یزدان پناه، حجت‌الله؛ علیزاده، تیمور؛ ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۶. شماره سوم. صص ۵۱-۷۱. اصفهان.

Anderson, J., Bausch, C., 2005. *Climate Change and Natural Disasters: Scientific Evidence of a Possible Relation between Recent Natural Disasters and Climate Change*. European Parliaments' Environmental, Public Health and Food Safety Committee. Brief 02a/2006.

- Balafoutis, Ch. J., Makrogiannis, T. J., 2001. *Analysis of a Heat Wave Phenomenon over Greece and its Implications for Tourism and Recreation*. Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Porto arras, Greece.
- Bumbaco, K. A., Dello, K. D., Bond, N. A., 2013. *History of Pacific Northwest Heat Waves: Synoptic Pattern and Trends*. J. Appl. Meteor. Climatol. 52, 1618-1631.
- Friedrich, K., Bissolli, P., 2012. *Analysis of Temperatures and Precipitation Recorded at Stations in Eastern Europe during the Heat Wave in summer 2010*. Deutscher Wetterdienst, Business Area Climate and Environment. <http://www.dwd.de/bvw/generator.pdf>, Accessed 09 February 2011.
- Hasanean, H. M., 2008. *Large-scale Circulation Anomaly Indices in Relation to Very High Temperatures in Egypt during Summer Season 1998 (a case study)*. The International Journal of Meteorology 33(327), 75-87.
- Nasrallah, H. A., Nieplova, E., Ramadan, E., 2004. *Warm Season Extreme Temperature Events in Kuwait*. Journal of Arid Environments 56(2), 357-371.
- Maheras, P., Flocas, H. A., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis, M., 2006. *Circulation Types and Temperature Extreme Changes in Greece*. Climate Research 30, 161-174.
- Renom, M., Rusticucci, M., Barreiro, M., 2011, *Multidecadal Changes in the Relationship between Extreme Temperature Events in Uruguay and the General Atmospheric Circulation*. Climate dynamics 37(11-12), 2471-2480.
- Seluchi, M. E., Norte, F. A., Gomes, J. L., Simonelli, S. C., 2006. *Synoptic and Thermodynamic Analysis of an Extreme Heat Wave over Subtropical South America*. Proceedings of 8 ICSHMO.Foz do Iguaçu. Brazil.INPE. p. 2009-2010.
- Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P., Asimakopoulos, D., 2010. *Heat Waves Observed in 2007 in Athens, Greece: Synoptic Conditions, Bioclimatological Assessment, Air Quality Levels and Health Effects*. Environmental Research 110(2), 152-161.
- Tosic, I., Unkasevic, M., 2009. *An Analysis of Heat Wave in Serbia*. Global and Planetary Change 65(1-2), 17-26.
- Trigo, R. M., Herrera, R. G., Diaz, J., Trigo, I. F., Valente, M. A., 2005. *How Exceptional Was the Early August 2003 Heat Wave in France?* Geophysical research letters 32(10). doi: 10.1029/2005GL022410.
- Twardosz, R., Kossowska-Cezak, U., 2013. *Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (1951–2010)*. Theor. Appl. Climatol. 112, 617–628.
- Wolf, T., McGregor, G., 2013, *The Development of A Heat Wave Vulnerability Index for London, United Kingdom*, Weather and Climate Extremes 1, 59–68.