

جستاری پیرامون شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی استان کرمان

یوسف قویدل رحیمی^۱
محمد رضایی^۲

چکیده

امواج گرمایی از جمله مخاطرات مهم آب و هوایی دنیا خصوصاً ایران هستند و به نظر می‌رسد وقوع آن‌ها در سال‌های اخیر به واسطه تشدید گرمایش جهانی از فراوانی بیش‌تری نسبت به گذشته برخوردار شده است. پژوهش حاضر به بررسی کم و کیف وقوع و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی در استان کرمان پرداخته است. برای این کار ابتدا داده‌های دمای بیشینه روزانه ماه ژوئیه (به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال) ۴ ایستگاه سینوپتیک کرمان، بم، انار و سیرجان در یک دوره آماری ۲۴ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۹) از سازمان هواشناسی کشور اخذ و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جهت طبقه‌بندی امواج گرمایی، داده‌های دما استاندارد شده و بر اساس آن، آنومالی‌های ۰ تا ۰/۷۵ به‌عنوان موج گرم، ۰/۷۵ تا ۱/۵ موج گرم شدید و بالاتر از ۱/۵ به‌عنوان موج ابر گرم تعیین شدند. اعداد آستانه ۴۱/۲، ۴۲/۱ و ۴۳/۱ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب آستانه موج گرم، گرم شدید و ابر گرم برای مجموع ایستگاه‌ها مورد محاسبه و حداقل تلاوم آن دو روز مد نظر قرار گرفته است. بر این اساس در طی دوره آماری مورد مطالعه، ۷ موج گرمایی مشخص شد که از بین آن‌ها ۳ موج گرم شدید و ۱ موج ابر گرم شناسایی گردید. موج ابر گرم تیرماه ۱۳۷۷ جهت تحلیل سینوپتیک انتخاب شد. موج ۳ روزه مذکور با میانگین دمایی ۴۳/۱۱ درجه سانتی‌گراد، شدیدترین موج گرمای استان کرمان در طول دوره آماری مورد مطالعه بوده است. نتایج تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم نشان داد که استقرار کم‌فشار گنگ در سطح زمین و حاکمیت پارتفاع جنب حاره‌ای آזור در سطوح بالا و همچنین ضخامت زیاد جو بر روی منطقه مورد مطالعه، موجب فرونشینی هوای گرم و گرمایش بیش از حد سطح زمین شده و موج ابر گرم یاد شده را به‌وجود آورده است.

واژگان کلیدی: موج گرما، طبقه‌بندی امواج گرمایی، موج ابر گرم، تحلیل سینوپتیک، استان کرمان.

۱- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.
Email:ghavidel@modares.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی ماهواره ای دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

سامانه آب و هوا از ترکیب سامانه‌های متعددی تشکیل شده است که خود این سامانه‌ها و رفتارشان بسیار پیچیده می‌باشد. ریز سامانه‌های ابرسامانه آب و هوا نیز از اجزاء گوناگونی تشکیل شده‌اند که با یکدیگر اندرکنش دارند. همین اندرکنش‌ها است که رفتار پدیده‌های آب و هوایی را تبیین می‌کند. دما از مهم‌ترین عناصر مؤلفه جوی دستگاه آب و هوا بوده و در تعیین نقش و پراکنندگی دیگر عناصر آب و هوا نیز مؤثر است. هم‌چنین دما از مؤلفه‌های اصلی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی‌های آب و هوایی محسوب می‌شود و از این رو نوسانات و تغییرپذیری آن دارای اهمیت علمی و کاربردی است. دما در چرخه‌های طبیعی و به‌ویژه چرخه‌های آب و انرژی دارای اهمیت بنیادی است، لذا بر فعالیت‌های انسانی و فرایندهای طبیعی هر ناحیه بسیار مؤثر است. دما عنصری است که تحت تأثیر الگوها و پدیده‌های جوی به‌سرعت دچار تحول شده و به پویایی جو و پدیده‌های سینوپتیک مثل پرفشار سیبری به‌شدت و فوراً حساسیت نشان می‌دهد. بنابراین تغییرات دما در مدیریت و برنامه‌ریزی محیط مؤلفه بسیار مهمی به‌شمار می‌آید.

از زمان‌های قدیم مخاطرات ناشی از دما حایز شرایط مهم و تأثیرگذاری بر تمام شئون زندگی از جمله بر سلامتی موجودات زنده، خصوصاً انسان بوده است. یکی از مهم‌ترین مخاطرات دمایی در بحث مخاطرات آب و هوایی، مخاطرات ناشی از امواج فرین دمایی است که خود به دو بخش امواج گرمایی و امواج سرمایی قابل تقسیم است. کمیسیون اتحادیه اروپا اثر مخاطرات ناشی از فرین‌های آب و هوایی را در ۵ بخش که شامل صدمات در بخش‌های: جنگلداری و کشاورزی، صدمات بوم‌شناختی، توریسم، انرژی و بیمه و حفاظت تأسیسات می‌شود، مورد ارزیابی و مدل‌سازی قرار داده است. در ۴ بخش از کل ۵ بخش یاد شده عامل ایجادکننده صدمه، عنصر دما است. در جدول ۱ بخش‌های پنجگانه یاد شده و عناصر مولد آب و هوای و تأثیرات آن‌ها درج شده است.

رخداد بیش‌تر روزهای داغ و امواج گرمایی سبب افزایش مرگ و میر و افزایش برخی از بیماری‌ها در افراد سالمند، به‌ویژه در مناطق فقیرنشین، افزایش تنش‌های گرمایی انسان و

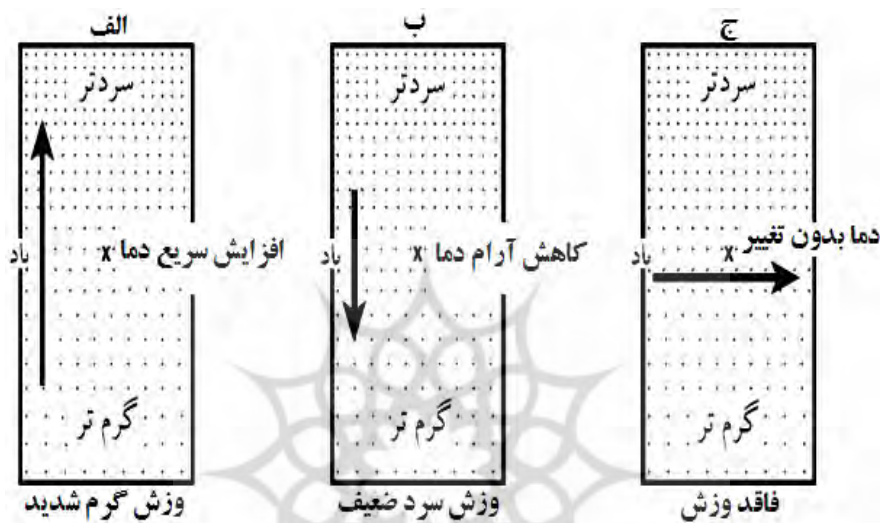
حیوان، جابه‌جایی مناطق مستعد گردشگری اقلیمی و غیره می‌شود (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۲۰).

جدول (۱) بخش‌های متأثر از فرین‌های آب و هوایی و عناصر جوی مولد صدمات (هانسون و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۶۵)

بخش	صدمه	فرین آب و هوای	عنصر مولد
جنگلداری و کشاورزی	ریشه‌کن شدن گیاهان	طوفان باد	باد
	آتش‌سوزی جنگل	استرس گرمایی، خشکسالی	دما، بارش
	کشاورزی مدیترانه	استرس گرمایی، خشکسالی، یخبندان مزارع و باغات	دما، بارش
صدمه بوم‌شناختی	صدمه به بوم‌ها	سیل، استرس گرمایی، خشکسالی	دما، بارش
انرژی	استفاده از انرژی	استرس گرمایی تابستانی و امواج سرمای زمستانی	دما
توریسم	سواحل	استرس گرمایی و شرجی هوا	دما و رطوبت
	ورزش‌های زمستانه	کمی یا زیادی برف	دما، بارش
بیمه و حفاظت تاسیسات	صدمه مالی	طوفان باد	باد
	صدمه جانی	سیل	باران و برف
	آب	سیل و خشکسالی	بارش

طبق تعریف پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی، اگر حداکثر دمای روزانه، حداقل به مدت ۵ روز متوالی، ۵ درجه سانتی‌گراد و بیش‌تر، از متوسط حداکثر دمای دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ فراتر رود، موج گرما رخ داده است (فریچ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹۵). هم‌چنین در منابع مختلف علوم آب و هواشناسی به حرکت افقی توده‌های هوایی که خصوصیات آن‌ها گرم است و حرکت آن‌ها از عرض‌های پایین جغرافیایی به عرض‌های بالای جغرافیایی انجام می‌گیرد، وزش گرم گویند. در بعضی مواقع برای وقوع وزش گرم که لازمه اصلی وقوع امواج گرمایی است، مؤلفه‌های حرکت عمودی نیز حایز اهمیت می‌باشد (اسمیت، ۲۰۰۶: ۱۵۱). تغییر دمای فرارفتی یا وزشی در یک نقطه (یا ایستگاهی که در شکل ۱-۲ با حرف X نشان داده شده است) بایستی در ارتباط با باد مداری و الگوی باد نصف‌النهاری مورد توجه قرار گیرد. الگوی باد جنوبی که در آن جهت وزش از جنوب به شمال و از منطقه گرم به منطقه سرد است، با افزایش سریع دما همراه است (شکل ۱ الف). الگوی شمالی باد نصف‌النهاری باعث افت کند

و آرام دما (شکل ۱ ب) و الگوی غربی باد مداری بر وزش دما تاثیر چندانی ندارد و تقریباً بی‌اثر است (شکل ۱ ج).



شکل (۱) کم و کیف وزش دمایی در الگوهای مختلف باد برای یک ایستگاه یا نقطه که با x نشان داده شده است. الف: وزش مثبت یا وزش گرم، ب: وزش منفی یا وزش سرد، ج: وزش خنثی یا بی‌تغییر (لینچ) و کاسانو، ۲۰۰۶

با توجه به بخش الف و ب شکل ۱ معلوم می‌شود که همواره وزش گرم یا فرارفت مثبت دمایی از وزش سرد یا فرارفت دمایی منفی سریع‌تر و بیش‌تر انجام می‌گیرد. علت این امر در سنگینی هوای سرد و سبکی هوای گرم که موجب کندی حرکت در وزش سرد و سرعت آن در وزش گرم می‌شود، است. از سال ۱۹۵۰ بر شمار امواج گرمایی در جهان و طول مدت آن‌ها افزوده شده است (ترنبرث و همکاران، ۲۰۱۲: ۲). این مخاطره‌ی اقلیمی هر ساله تلفات زیادی را به‌بار می‌آورد، برای مثال تلفات موج گرمای تابستان ۱۹۹۹ در شیکاگو به ۸۰ نفر رسید (نایقتون، ۲۰۰۲: ۲۲۱). در طی تابستان سال ۲۰۰۳ بر اثر وقوع موج گرمای شدید و بی‌سابقه در سرتاسر اروپا، تنها در کشور فرانسه ۱۵۰۰۰ هزار نفر جان خود را از دست دادند (لورنس و همکاران، ۲۰۰۷: ۱). علاوه بر خسارت‌های جانی، بر اثر آتش‌سوزی

ناشی از این موج گرمایی شدید، بیش از ۳۰۱۰ کیلومتر مربع از جنگل‌ها و ۴۴۰ کیلومتر مربع از اراضی کشاورزی در کشور پرتغال نابود شدند (بل و همکاران، ۲۰۰۳: ۸). از نظر فیزیولوژیک بدن انسان در حالت طبیعی دارای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (دمای درونی بدن) و ۳۲ درجه سانتی‌گراد (دمای پوست) است. اگر انسان در محیطی که دمای آن بالاتر از درجه حرارت پوست است، قرار گیرد، شروع به جذب گرما و افزایش دما خواهد کرد و انسان احساس گرما خواهد کرد، چنانچه این افزایش دمای محیط ناگهانی انجام گیرد و فرد نتواند به راه‌های مختلف از جمله تبخیر و تعرق و غیره خود را در برابر این تغییرات حفاظت کند، عوارض گوناگونی از جمله گرم‌زدگی در انسان پدید می‌آید. در واقع امواج گرمایی چیزی جز استقرار هوایی پایدار با حرکتی عموماً نزولی در مقیاس وسیع نیست. این امواج هنگامی که به صورت خزنده و تدریجی تقویت می‌شوند، کم‌تر ایجاد مشکل می‌کنند، اما وقتی به شکل ناگهانی و حدی رخ می‌دهند، می‌توانند بسیار خطرناک باشند و خسارت‌های مالی و جانی زیادی به بار آورند (حدادی، ۱۳۸۸: ۲). هم‌چنین تأثیر این پدیده بر روی سلامتی وابسته به عواملی از قبیل محل زندگی، وضعیت سلامتی و سن افراد دارد. مسلماً افراد مسن در مقابله با آن آسیب‌پذیرترند و وضعیت یاد شده به راحتی می‌تواند بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی آن‌ها را تشدید کند (ساسانا و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۶۷). از آنجا که امواج گرمایی اثرات زیان‌باری را بر روی اکوسیستم و جوامع انسانی بر جای گذاشته‌اند، موضوع مطالعه محققان بسیاری بوده‌اند. از جمله: پرزراکوس (۱۹۸۹: ۲۶۲) علت وقوع موج گرم ژوئیه ۱۹۸۷ در جنوب بالکان را که موجب مرگ ۱۵۰۰ نفر شده بود، وقوع پدیده بلوکینگ در شمال شرق اقیانوس اطلس و همرفت هوای گرم به سوی منطقه مورد مطالعه دانسته است. اسمویر (۱۹۹۸: ۴۴) در پژوهش خود به مقایسه مرگ و میر ناشی از امواج گرمایی سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۵ در ایالت میسوری پرداخته است، وی ثابت کرد که مرگ و میر ناشی از موج گرمایی سال ۱۹۸۰ بیش از سال ۱۹۹۵ بوده است. بالدا و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی به تحلیل موج‌های گرمایی ناحیه مدیترانه پرداختند. آن‌ها آستانه موج گرمای کوتاه‌مدت را فراتر رفتن دما از میانگین روزانه دما (یک انحراف معیار و بیش‌تر) برای حداقل ۳ تا ۶ روز، و آستانه امواج گرمایی بلندمدت را فراتر رفتن دما از میانگین روزانه دما (یک انحراف معیار و بیش‌تر)

برای حداقل هفت روز و بیش‌تر تعریف کردند. براین اساس در طول ۵۳ سال دوره‌ی آماری، منطقه مورد مطالعه جمعاً در ۱۲۸۲ روز تحت تأثیر امواج گرمایی کوتاه‌مدت و بلندمدت بوده است. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال طی وقوع موج‌های کوتاه‌مدت نشان‌دهنده استقرار مرکز پراتفعا بر روی لیبی می‌باشد که تحت این شرایط فرارفت هوای گرم از شمال افریقا به‌سوی ایتالیا رخ می‌دهد. در تراز ۸۵۰ نیز مرکز پراتفعا دیده می‌شود که در نزدیکی تنگه جبل الطارق به‌خاطر وجود یک کم ارتفاع انحنای پیدا می‌کند. الگوی امواج گرمایی بلندمدت نشان‌دهنده وجود یک موج امگایی شکل است به‌طوری‌که یک تراف بر روی کشور پرتغال، یک پشته بر روی ایتالیا، و یک تراف در شرق مدیترانه شکل گرفته است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز وجود پرفشار آزور بر روی کشور لیبی مشاهده می‌شود. نصرالله و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی امواج گرم، روزهای داغ، روزهای بسیار داغ و روزهای فوق‌العاده داغ فصل گرم سال در طی دوره آماری ۱۹۵۸-۲۰۰۰ در کویت پرداختند. آن‌ها ابتدا الگوهای گردشی شدیدترین امواج گرمایی را بررسی کردند، سپس به بررسی ویژگی‌های آماری آن‌ها از قبیل مدت و تغییرات زمانی پرداختند. نتایج تحلیل آن‌ها نشان داد که انتقال جت استریم جنب حاره به‌سوی شمال و ایجاد یک پشته پرفشار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و انتقال توده هوای گرم و خشک شبه جزیره عربستان به‌سوی منطقه مورد مطالعه نقش عمده‌ای در ایجاد امواج گرمایی کویت در فصل گرم ایفا می‌کند. فیشر و همکاران (۲۰۰۵: ۱۰۸۳) در مطالعه‌ای به بررسی مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در طی موج گرمای سال ۲۰۰۳ در کشور هلند پرداخته‌اند، آن‌ها نشان دادند که بر اثر افزایش ازن و ماده مخصوص (PM10) که در دوره ژوئن تا اوت تراکم آن اضافه شده بود، ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ نفر جان خود را از دست دادند. چن و کنراد (۲۰۰۶: ۶۷۴) نیز در بررسی علل وقوع امواج گرمایی در کارولینای شمالی به این نتیجه رسیدند که قرار گرفتن یک پشته در سطوح میانی تروپوسفر و نزول آدیاباتیک هوا در زیر آن موجب وقوع امواج گرمایی در منطقه شده است. کونتی و همکاران (۲۰۰۷: ۲۶۷) در تحقیقی به بررسی مرگ و میر افراد سالخورده در اثر موج گرمایی سال ۲۰۰۳ در جنوب ایتالیا پرداختند. آنان در این تحقیق مرگ و میر افراد بالای ۷۴ سال برای یک دوره از ۱۶ ژوئیه تا ۳۱ اگوست را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که

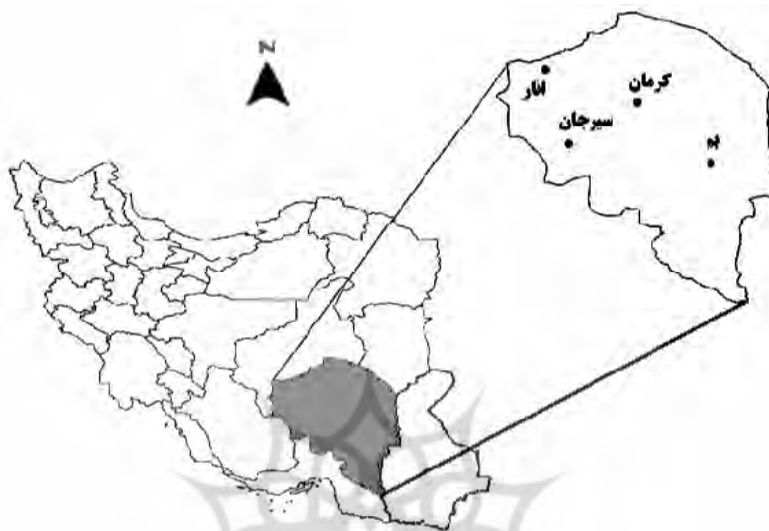
مرگ و میر در نیمه اول ماه آگوست افزایش معنی‌داری داشته است. بیبانا و کارولینا (۲۰۰۷): ۱۱۶۵) به بررسی موج گرمای سال ۲۰۰۳ در شرق آرژانتین پرداختند، آن‌ها تقویت کمربند همگرایی اقیانوس اطلس جنوبی و هم‌چنین فرونشینی هوا در جنوب امریکای جنوبی را عامل رخداد این پدیده دانسته‌اند. کونتلی (۲۰۰۷: ۳۹۰) به مطالعه‌ی مرگ و میر ناشی از موج گرمای تابستان ۲۰۰۳ در ایتالیا پرداخته و نشان داد که در مقایسه با سال قبل تعداد مرگ و میر ۳۱۳۴ نفر افزایش داشته است. هم‌چنین ۹۲ درصد این مرگ و میرها مربوط به افراد مسن بوده است. روبین و همکاران (۲۰۰۸: ۱۷۱) به تلفات موج گرمای تابستان ۲۰۰۳ در اروپا پرداخته و دریافتند که در تابستان ۲۰۰۳ بر شمار مرگ و میر، بیش از ۷۰ هزار نفر افزوده شده بود. فیودل و شوکلا (۲۰۱۱: ۱۷۰۵) به تأثیر دمای سطح آب بر وقوع موج گرمای تابستان ۲۰۰۳ در اروپا پرداختند. آن‌ها ناهنجاری‌های دمای سطح آب در منطقه دریای مدیترانه که موجب بروز افزایش پایداری هوا و تقویت سامانه بلوکینگ شده، عامل این پدیده دانسته‌اند. در ایران نیز مطالعات اندکی در این زمینه صورت گرفته است. از جمله براتی و موسوی (۱۳۸۴: ۴۱) به بررسی مکانی موج‌های زمستانی گرما در ایران پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هسته‌های گرما عموماً در ایستگاه‌های درونی کشور به‌ویژه در محورهای کوهستانی زاگرس و البرز نمایان شده‌اند. هم‌چنین روند افزایش دما در ایستگاه‌های مناطق کوهستانی و برفگیر شمالغرب، شمال و تا حدودی غرب از مناطق جنوب کشور بیش‌تر است. احمدی و احمدآبادی (۱۳۸۴: ۱۱۵) در رابطه با بررسی و شناخت الگوهای سینوپتیکی امواج گرما، حاکمیت بر ارتفاع عربی و نفوذ کم فشارحرارتی را در تقویت امواج گرمایی مؤثر دانسته‌اند. حدادی (۱۳۸۸: ۱) به بررسی ویژگی‌های زمانی- مکانی وقوع امواج گرمایی در ایران پرداخته و نشان داده که اولاً امواج گرمایی در طی دهه‌های اخیر روند رو به رشدی داشته‌اند و ثانیاً از نظر مکانی نیز تابع دو عامل ارتفاع و رطوبت می‌باشند. هم‌چنین مناطق ساحلی بیش‌ترین تعداد روزهای با موج گرما را داشته‌اند. قویدل رحیمی (۱۳۹۰: ۸۵) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای وارد، موج گرمای تابستان ۱۳۸۹ را به سه طبقه موج گرم، گرم شدید و ابرگرم تقسیم نموده است، وی دلیل وقوع این پدیده را وزش هوای گرم و خشک آفریقا و عربستان به‌سوی ایران دانسته است. تحلیل روند حداکثر دمای استان کرمان

نشان داده که بیش‌ترین موج گرمایی رخ داده در ماه آوریل و می بوده و این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته‌اند (یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰). اسماعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) از ماتریس انحراف نرمال شده دما ۲۸۲ موج گرمای ۲ تا ۲۵ روزه را شناسایی و دسته‌بندی کرده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در شمال و شمال غرب، مرکز و سواحل جنوب رخدادهای موج گرما بیش‌تر از سایر مناطق ایران است. هم‌چنین فراوانی وقوع امواج گرمایی در دوره آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های اخیر بسیار بیش‌تر رخ داده‌اند.

علی‌رغم موقعیت جنب حاره‌ای استان کرمان و قرارگیری آن در معرض مخاطره امواج گرمایی، در زمینه مطالعه آن تاکنون اقدامی انجام نگرفته است. این مطالعه سعی دارد، ضمن شناسایی و طبقه‌بندی شدت امواج گرمایی به‌وقوع پیوسته در گرم‌ترین ماه سال (ژوئیه)، زمینه‌ها و ابعاد سینوپتیک وقوع آن را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر جهت شناسایی امواج گرمایی، از دو دسته داده استفاده شده است. دسته اول داده‌های روزانه حداکثر دمای ماه ژوئیه (تیر ماه) ۴ ایستگاه سینوپتیک سیرجان، کرمان، بم و انار در یک دوره آماری ۲۴ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۹) که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده‌اند. دسته دوم، داده‌های مربوط به داده‌های جو بالا که شامل: الف) داده‌های چند ترانه: از جمله دما، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، ارتفاع ژئوپتانسیل و ب) داده‌های تک ترانه: فشار سطح دریا، دمای حداکثر در دو متری سطح زمین و دمای سطح پوست است. داده‌های مذکور که همگی از وب‌سایت «مرکز پیش‌بینی محیطی» در NOAA اخذ شده دارای توان تفکیک فضایی ۲/۵ در ۲/۵ درجه می‌باشند. به‌جز نقشه‌های میانگین، زمان انجام تحلیل‌های سینوپتیک مقارن با ساعت ۱۲ زولو به وقت گرینویچ که برابر است با ۱۵:۳۰ به وقت محلی (مقارن با گرم‌ترین موقع روز) انتخاب شده است. در شکل ۲ توزیع فضایی و در جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۲) موقعیت جغرافیایی استان کرمان در ایران و پراکنش فضایی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان

ایستگاه	طول جغرافیایی شرقی	عرض جغرافیایی شمالی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
انار	۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه	۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه	۱۴۰۸/۸
بم	۵۸ درجه و ۱۲ دقیقه	۲۹ درجه و ۶ دقیقه	۱۰۶۶/۹
سیرجان	۵۵ درجه و ۴۱ دقیقه	۲۹ درجه و ۸۲ دقیقه	۱۷۳۹ /۴
کرمان	۵۶ درجه و ۸۵ دقیقه	۳۰ درجه و ۵۱ دقیقه	۱۷۵۳/۸

جهت تعیین بازه زمانی امواج گرما، آستانه دمایی شروع موج گرم برای هر ایستگاه محاسبه شد. به این ترتیب که با استاندارد کردن دمای ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص Z ، مقادیر آنومالی بالاترین دمای ماه ژوئیه مورد محاسبه قرار گرفت (رابطه ۱). سپس، با توجه به شدت و ضعف امواج گرمایی، با استفاده از مقادیر نمره Z آن‌ها، در ۳ طبقه موج گرم، گرم شدید و ابر گرم تقسیم شدند. جدول ۲ طبقه‌بندی امواج گرمایی را نشان می‌دهد.

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

در معادله فوق: Z ، آنومالی بالاترین دمای ماه ژوئیه هر ایستگاه در سال n ام، n بالاترین دمای رخ داده در ماه ژوئیه سال n ام بر حسب درجه سانتی‌گراد، \bar{m} میانگین بالاترین دمای ماه ژوئیه هر ایستگاه در دوره ۲۴ ساله بر حسب درجه سانتی‌گراد، σ انحراف از معیار هر ایستگاه در دوره ۲۴ ساله می‌باشند.

جدول (۲) طبقه‌بندی شدت امواج گرمایی بر اساس شاخص نمرات استاندارد شده

نوع موج	مقادیر آنومالی
گرم	۰ تا ۰/۷۵
گرم شدید	۱/۵ تا ۰/۷۵
ابر گرم	بالاتر از ۱/۵

از نظر روش‌شناسی تحلیل‌های سینوپتیک این پژوهش بر اساس نگرش رایج محیطی به گردشی انجام شده است. در این مطالعه روزهایی که دمای هوا از میانگین بالاترین دمای ماه ژوئیه فراتر رفته و حداقل ۲ روز تداوم داشته، به‌عنوان موج گرم شناخته شده است.

یافته‌ها و بحث

۱- آستانه‌های دمایی امواج گرمایی

با توجه به طبقه‌بندی حاصل از نمره Z امواج گرمایی ماه ژوئیه به سه دسته تقسیم شد. با توجه به نمرات Z ، آستانه دمایی موج‌های گرما به تفکیک برای هر ایستگاه مورد محاسبه قرار گرفت. میزان آستانه مذکور برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه متفاوت بوده و مقدار آن در ایستگاه‌های بم و کرمان به ترتیب ۴۴ و ۳۹/۴ درجه سانتی‌گراد برای شناسایی آستانه امواج گرم مورد محاسبه قرار گرفته است. جدول ۲ آستانه دمایی موج‌های گرما را به تفکیک برای هر ایستگاه نشان می‌دهد.

جدول (۲) آستانه دمایی موج‌های گرما (درجه سانتی‌گراد) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

متوسط ایستگاه‌ها	کرمان	سیرجان	بم	انار	آستانه دمایی شناسایی موج گرما
۴۱/۲	۳۹/۴	۳۹/۵	۴۴	۴۱/۹	موج گرم
۴۲/۲	۴۰/۴	۴۰/۴	۴۵/۱	۴۲/۹	موج گرمایی شدید
۴۳/۱	۴۱/۴	۴۱/۲	۴۶/۲	۴۳/۸	ابر گرم

۲- امواج گرمایی شناسایی شده

۲-۱- موج گرم

جدول ۳، ویژگی‌های امواج گرمایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در طی دوره آماری ۷ موج گرم مورد شناسایی قرار گرفت که از نظر استمرار زمانی، موج ۱۱ روزه سال ۲۰۰۱ و از نظر شدت موج گرمایی ۱۹۹۸ قابل توجه می‌باشند.

جدول (۳) مشخصات موج‌های گرمایی شناسایی شده (ماه ژوئیه) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره موج	سال	روز	متوسط دمای مجموع ایستگاه‌ها به درجه سانتی‌گراد	طول موج به روز	میانگین دما در طول موج به درجه سانتی‌گراد
۱	۱۹۹۱	۹	۴۱/۴	۴	۴۱/۹
		۱۰	۴۲/۲		
		۱۱	۴۲/۸		
		۱۲	۴۱/۱		
۲	۱۹۹۷	۱۷	۴۱/۶	۲	۴۱/۶
		۱۸	۴۱/۶		
۳	۱۹۹۸	۶	۴۱/۴	۶	۴۲/۶
		۷	۴۲/۱		
		۸	۴۳/۵		
		۹	۴۲/۹		
		۱۰	۴۳		
		۱۱	۴۲/۸		
۴	۱۹۹۹	۶	۴۱/۵	۴	۴۱/۱۶
		۷	۴۱/۳		
		۸	۴۰/۳		
		۹	۴۱/۵		
۵	۲۰۰۱	۳	۴۱/۵	۱۱	۴۱/۳
		۴	۴۱/۳		
		۵	۴۱		
		۶	۴۰/۹		

		۷	۴۰/۰۵		
		۸	۴۱/۲		
		۹	۴۰/۸		
		۱۰	۴۱/۲		
		۱۱	۴۲/۳		
		۱۲	۴۲		
		۱۳	۴۱/۴		
۶	۲۰۰۵	۱۵	۴۱/۵	۲	۴۱/۳۵
		۱۶	۴۱/۲		
۷	۲۰۰۸	۶	۴۱/۳	۲	۴۱/۳۵
		۷	۴۱/۴		

موج‌های گرمایی شدید

با توجه به آستانه ۴۲/۲ درجه سانتی‌گراد، از بین هفت موج گرمایی، سه موج گرم شدید شناسایی شد. جدول شماره ۴ ویژگی‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. از لحاظ شدت و مدت موج گرمای سال ۱۹۹۸ شدیدتر و طولانی‌تر از دو موج دیگر بوده است.

جدول (۴) مشخصات موج‌های گرمایی شدید شناسایی شده (ماه ژوئیه) استان کرمان

نوع موج	شماره موج	سال	روز	متوسط دمای مجموع ایستگاه‌ها به درجه سانتی‌گراد	طول موج به روز	میانگین دما در طول موج به درجه سانتی‌گراد
امواج گرمایی شدید	۱	۱۹۹۱	۱۰	۴۲/۲	۲ روز	۴۲/۵
			۱۱	۴۲/۸		
	۲	۱۹۹۸	۸	۴۳/۵	۴ روز	۴۳/۰۵
			۹	۴۲/۹		
			۱۰	۴۳		
			۱۱	۴۲/۸		
	۳	۲۰۰۱	۱۱	۴۲/۳	۲ روز	۴۲/۱۵
			۱۲	۴۲		

موج ابر گرم

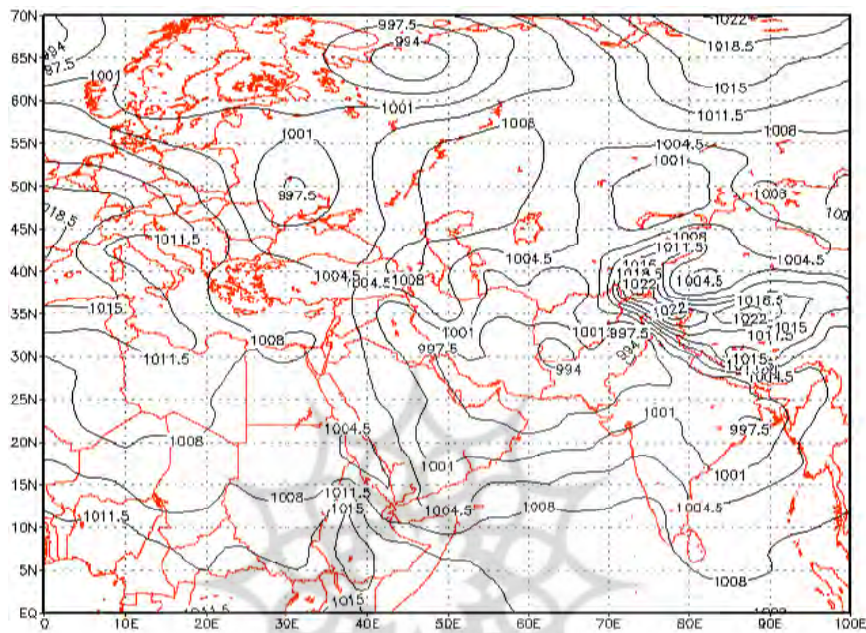
تنها موج ابر گرم شناسایی شده موج سه روزه سال ۱۹۹۸ می‌باشد. شدت گرمای موج سه روزه مذکور در منطقه مورد مطالعه بی‌سابقه بوده است. میانگین دمای ایستگاه‌ها در طول استیلای این موج به ۴۳/۱۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بالاترین دماهای ثبت شده در روز اوج این موج (۱۷ تیر) به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های بم و انار به میزان ۴۶/۶ و ۴۴/۸ بوده است. بر این اساس، این موج جهت تحلیل سینوپتیک انتخاب شد. جدول ۵ مشخصات موج ابر گرم تیر ماه ۱۳۷۷ را نشان می‌دهد.

جدول (۴) مشخصات موج ابر گرم شناسایی شده (ماه ژوئیه) در منطقه مورد مطالعه

نوع موج	سال	روز	متوسط دمای مجموع ایستگاه‌ها به سانتی‌گراد	طول موج به روز	میانگین دما در طول موج سانتی‌گراد
ابر گرم	۱۹۹۸	۸	۴۳/۵	۳ روز	۴۳/۱۱
		۹	۴۲/۹		
		۰۱	۴۳		

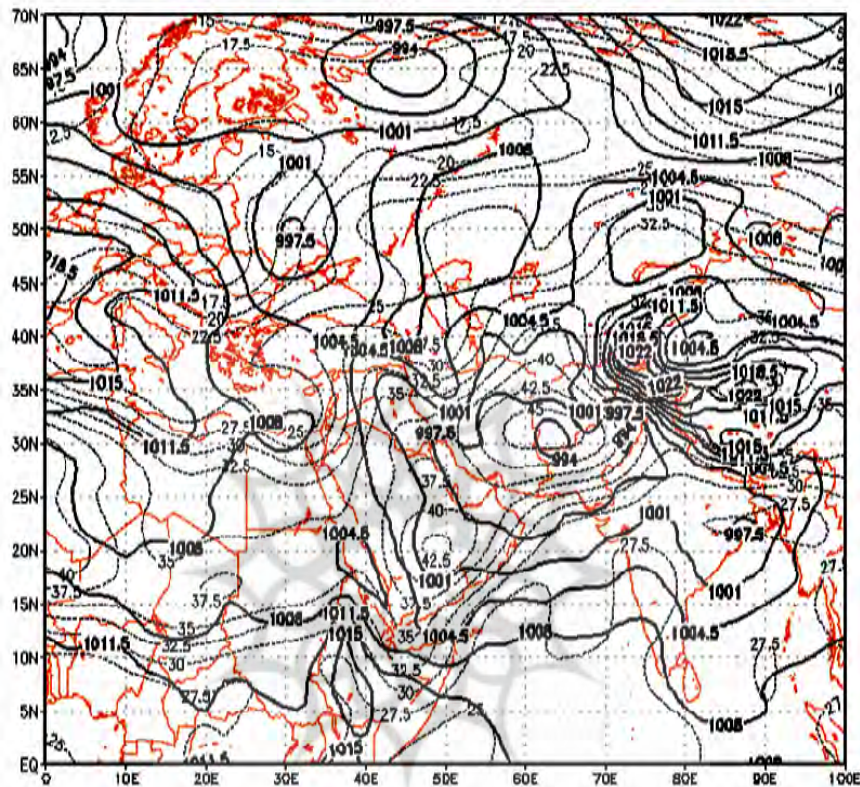
تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم

جهت تحلیل همدید، موج ابر گرم سال ۱۹۹۸ (تیر ماه ۱۳۷۷) انتخاب شد. شکل ۳ الگوی متوسط ۳ روزه فشار تراز دریا در طی رخداد موج ابر گرم، استیلای سامانه کم‌فشاری را نشان می‌دهد که هسته اصلی آن با فشار مرکزی ۹۹۵ هکتوپاسکال بر روی کشور پاکستان واقع شده است. زبانه‌های این کم‌فشار غالب نقاط کشورمان (به‌ویژه منطقه مورد مطالعه) و شبه‌جزیره عربستان را در بر گرفته و موجب حاکمیت هوای گرم در منطقه شده است. بدیهی است که سامانه مذکور کم‌فشار حرارتی گنگ است که در دوره گرم سال شکل می‌گیرد.



شکل (۳) آرایش متوسط الگوی توزیع فشار سطح دریا طی استیلای موج ابر گرم (۱۷ تا ۱۹ تیرماه)

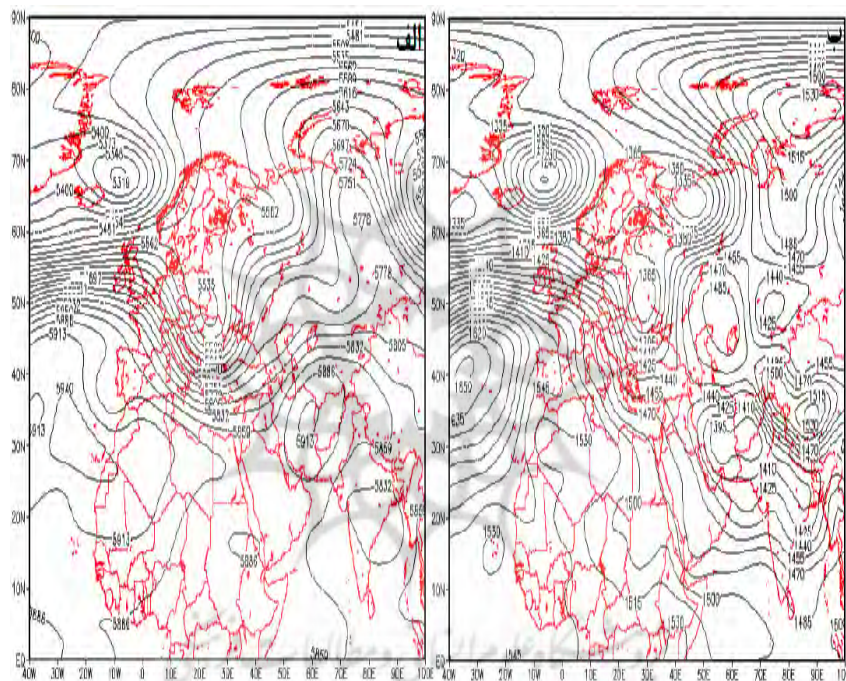
نکته جالب توجه در نقشه سطح زمین انطباق نسبتاً دقیق بیشینه دمای ۲ متری سطح زمین به میزان ۴۵ درجه سانتی‌گراد با هسته کم فشار ۹۹۴ هکتوپاسکال است که به وضوح حرارت بالای مرکز کم فشار را تأیید می‌کند. شکل ۴ ترکیب هم‌هنگ الگوهای فشار سطح زمین و بیشینه دمای ۲ متری بالای زمین را در طی استیلای موج ابر گرم (۱۷ تا ۱۹ تیرماه) نشان می‌دهد.



شکل (۴) الگوی ترکیبی فشار سطح زمین و بیشینه دمای ۲ متری بالای زمین در طی استیلای موج ابر گرم (۱۷ تا ۱۹ تیرماه)

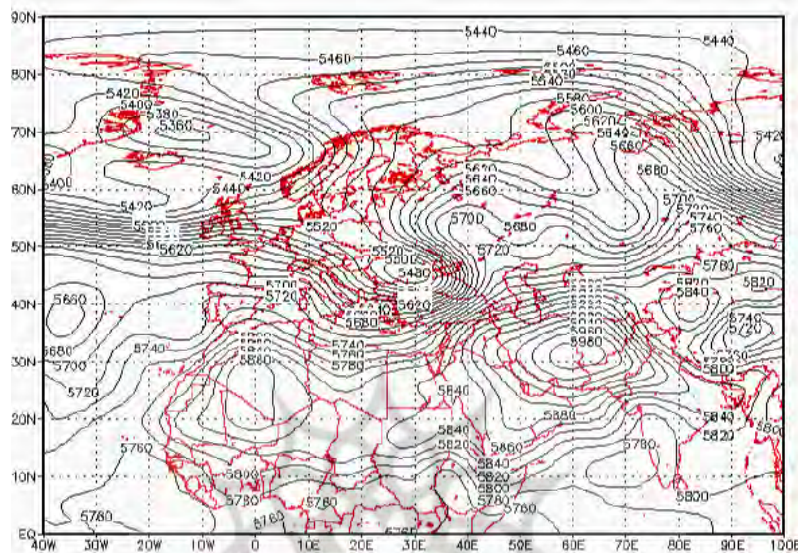
هم‌چنین الگوی متوسط تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در طول موج گرما (شکل ۵) نشان‌دهنده وجود دو هسته کم ارتفاع است که منطبق بر کم فشار سطح زمین بر روی منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. هم‌چنین قرارگیری دو مرکز پراارتفاع بر روی شمال دریاچه آرال و شرق مدیترانه موجب انتقال جریانات هوا به سمت کم ارتفاع مستقر بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال متفاوت بوده و نشان‌دهنده حاکمیت پراارتفاع آזור بر روی کشورمان است. منحنی پربند با ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر ارتفاع

بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، این پراارتفاع موجب گرمایش بی درو و ایجاد پایداری با هوای گرم و خشک در مناطق وسیعی از کشورمان و استان کرمان شده است. در شکل ۵ نقشه مربوط به آرایش متوسط الگوی ارتفاع ژئوتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال را در بازه زمانی موج ابر گرم نشان داده شده است.



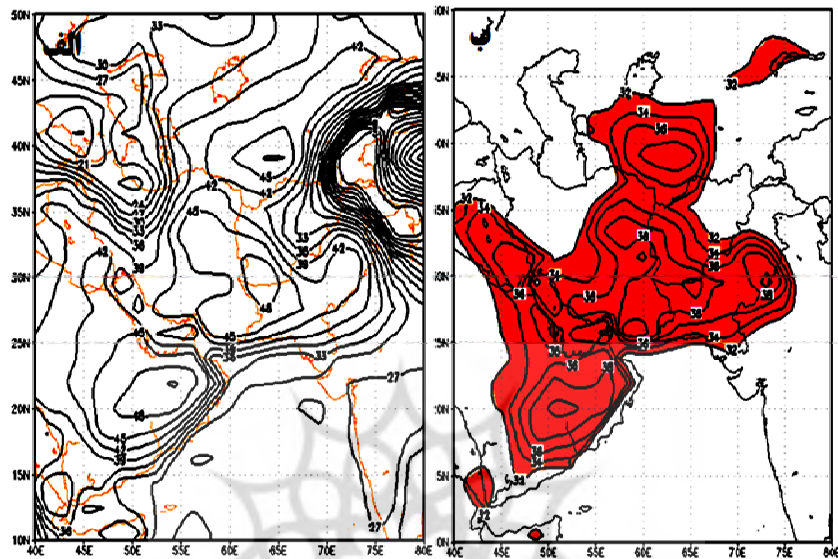
شکل (۵) الگوی متوسط توزیع ارتفاع ژئوتانسیل در طی استیلای موج ابر گرم الف) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

نقشه ضخامت جو نیز در طی روزهای ۱۷ تا ۱۹ تیر ماه تیر حاکی از استقرار بیشینه ضخامت جو کشور و کل منطقه به میزان ۵۹۶۰ تا ۵۹۸۰ ژئوتانسیل متر بر روی محدوده مورد مطالعه دارد که این امر به خوبی نشان می‌دهد که محدوده مورد مطالعه مواجهه شدیدی با فرونشینی هوا و افزایش دما دارد (شکل ۶).



شکل (۶) وضعیت متوسط ضخامت جو (ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰) در طول موج ابر گرما (۱۷ تا ۱۹ تیر ۱۳۷۷)

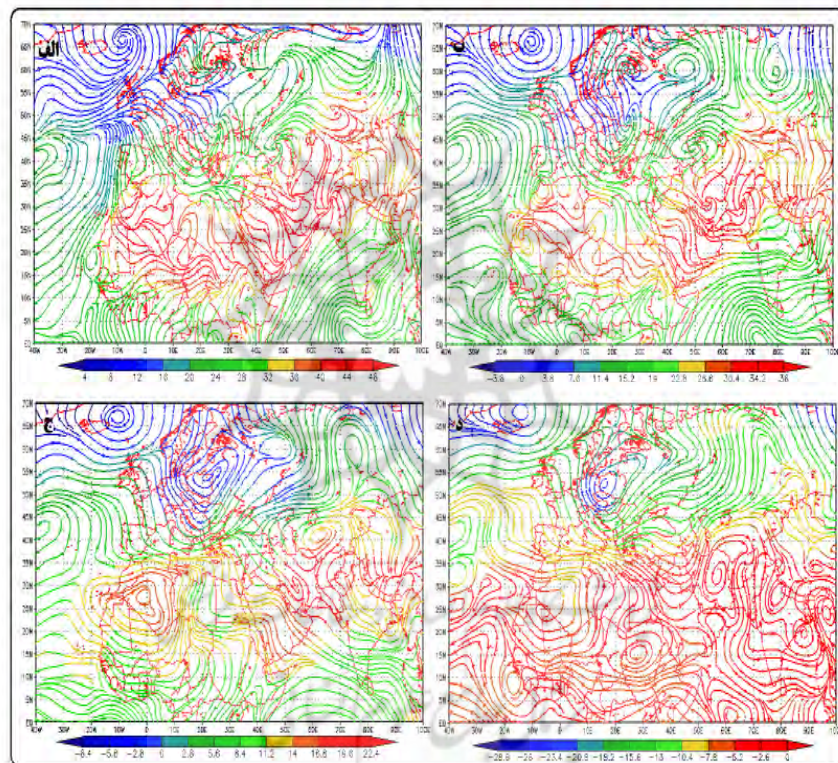
با توجه به نقشه دمای بیشینه بالای دومتري سطح زمين (شکل ۷ الف) که برای ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه روز ۱۷ تیر (روز اوج استیلای موج ابر گرم) ترسیم شده معلوم می‌شود که تمرکز و شدت بیشینه دما در منطقه جنوب شرق کشور و منطبق بر کم‌فشار سطح زمين می‌باشد. هسته بیشینه دمای دو متری به میزان ۴۸ درجه سانتی‌گراد در غرب کشور پاکستان قرار گرفته و زبانه ۴۵ درجه سانتی‌گرادی محدوده مورد مطالعه را دربر گرفته است. تفاوت دمایی مشاهده شده بین این دما و دمای ثبت شده ایستگاه‌ها به علت ناهمزمانی ساعت نقشه با زمان ثبت دمای ایستگاه‌ها و همچنین اختلاف ۲ متری برداشت داده‌ها در نقشه‌های ترسیمی نسبت به تراز ایستگاه‌ها است. همچنین نقشه مناطق نامساعد دمایی برای پوست (شکل ۷ ب) نشان می‌دهد، در ساعت ۱۵:۳۰ این روز غالب مناطق کشورمان از شرایط دمایی نامساعدی برخوردار می‌باشند. هسته بیشینه مقادیر دمای پوست در جنوب شرق کشور و منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و شرایط را برای گرمادگی موجودات زنده به ویژه در استان کرمان مهیا ساخته است.



شکل (۷) الف) بیشینه دمای دومتري سطح زمين. ب) دمای پوست در روز ۱۷ تير

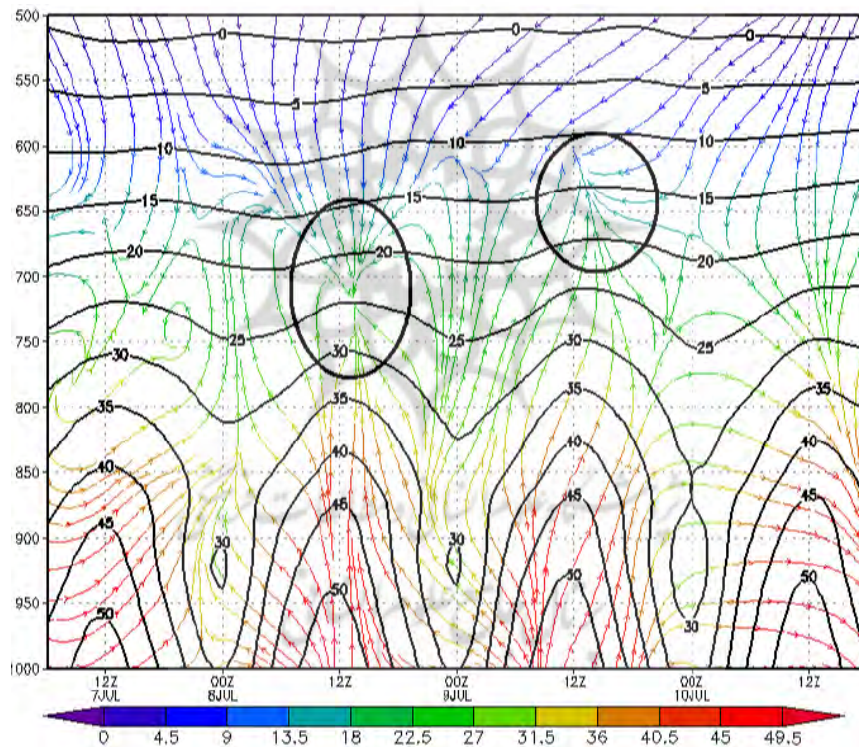
بررسی وضعیت وزش دمایی در ترازهای مختلف حاکی از همگرا شدن جریان هوا بر روی کشورمان و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه در ترازهای ۱۰۰۰ (شکل ۸ الف) و ۸۵۰ (شکل ۸ ب) هکتوپاسکال می‌باشد. به‌دلیل نمایان تر بودن هسته کم‌ارتفاع تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که بازتابی از کم‌فشار سطح زمین است، همگرایی دمایی بیشینه بر روی استان کرمان تا تراز مذکور با وضوح بیشتری مشاهده می‌شود. این جریانات با عبور از روی خشکی‌های عربستان و عراق گرم و سوزان شده و در منطقه همگرایی به اوج حرارت خود رسیده است. در شکل ۸ نقشه‌های وزش دما در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، ساعت ۱۲ زولو برابر با ۱۵:۳۰ دقیقه روز ۱۷ تیر به‌عنوان گرم‌ترین روز موج ابر گرم ترسیم و نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که از شکل بر می‌آید در هر ۳ تراز ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال جهت وزش دما شمالی بوده و جریان حالت شرقی دارد. در ترازهای یاد شده هوای گرم و سوزان صحرای قره قوم ترکمنستان به‌واسطه جریان شمال شرقی باد به سمت مرکز ایران

به‌ویژه استان کرمان انتقال یافته و شرایط گرم و خشک صحرای قره‌قوم را به استان کرمان تحمیل کرده است. تنها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸ د) است که جریان باد غربی و نصف‌النهاری بوده و بردار باد نصف‌النهاری جهت جنوبی دارد که این امر به معنای وزش هوای گرم عرض‌های پایین جغرافیایی به سمت استان کرمان است.



شکل (۸) وزش دمایی و همگرایی دماهای بیشینه (به درجه سانتی‌گراد) در ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه روز ۱۷ تیرماه ۱۳۷۷. الف: تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ب: تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، د: تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در شکل ۹ نمودار هاف مولر دما و فرارفت هوای گرم جو بالای استان کرمان در طول حاکمیت موج ابر گرم بین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ساعت ۱۲ زولو روزهای ۸ و ۹ ژوئیه، به ترتیب ترازهای ۷۰۰ و ۶۵۰ هکتوپاسکال، مناطق همگرایی جریان هوای گرم هستند که این امر مبین فرارفت هوای گرم نشأت گرفته از کم‌فشار حرارتی سطح زمین از یک سو و فرونشینی بی‌درو جریان هوا از پرفشار جنب حاره‌ای آزور واقع در ترازهای میانی جو از سوی دیگر می‌باشد، ترازهایی که دما در آن به حالت همگرایی تمایل پیدا کرده‌اند در شکل با دایره مشخص شده‌اند.



شکل (۹) نیمرخ هاف مولر ترکیبی دما و فرارفت هوای گرم جو بالای نقطه ۳۰ درجه عرض شمالی و ۵۵ درجه طول شرقی در طول موج ابر گرم (۱۷ تا ۱۹ تیر ۱۳۷۷)

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر شاخصی برای طبقه‌بندی امواج گرمایی ماه ژوئیه استان کرمان ارایه گردید. مبنای این شاخص استاندارد کردن حداکثر دمای ماهانه قرار گرفت و امواج گرمایی به سه دسته طبقه‌بندی شد. بر اساس نتایج حاصله روش مذکور جهت طبقه‌بندی امواج گرمایی از قابلیت‌های بالایی برخوردار است. بر اساس تحلیل‌های آماری، دمای $41/2$ درجه سانتی‌گراد برای میانگین ایستگاه‌ها، آستانه رخداد موج گرما تعیین گردید و حداقل تفاوت آن دو روز مد نظر قرار گرفت. بر این اساس در طی دوره مورد مطالعه ۷ موج گرم شناخته شد که در بین آن‌ها ۳ موج گرم شدید و ۱ موج ابرگرم شناسایی شد. با توجه به این که در امواج ابرگرمایی و سایر رخداد‌های ابر فرین شدت مشارکت پدیده‌های جوی بیش‌تر بوده و الگوهای جوی بسیار مشخص و بارزتر هستند، موج ابر گرم تیر ماه ۱۳۷۷ جهت تحلیل‌های سینوپتیک انتخاب شد. موج مذکور شدیدترین موج گرمایی رخ داده در طول دوره آماری بوده و از روز ۱۷ تا ۲۰ تیر ماه تداوم داشته است. میانگین دمای ایستگاه‌ها در طول این موج به $43/11$ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در روز اوج این موج (۱۷ تیر) حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارقام بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل سینوپتیک در طول دوره استیلاي موج ابر گرم نشان داد که سامانه کم‌فشار گنگ با فشار مرکزی ۹۹۵ هکتوپاسکال در کشور پاکستان قرار گرفته است و زیانه‌های آن منطقه مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داده و در سطوح میانی جو نیز پرفشار جنب حاره‌ای آزرور بر روی استان کرمان حاکمیت داشته است. نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در طی دوره موج ابرگرم حاکی از استقرار پراتفاح بسته‌ای بر روی محدوده مورد مطالعه است که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ارتفاع آن به ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است. پراتفاح مذکور به دلیل گرمایش بی‌درو و ایجاد پایداری و فرونشینی هوا شرایط بسیار داغ و سوزانی را در کشور و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه به‌وجود آورده است. هم‌چنین بر اساس نقشه دمای پوست، در طی حاکمیت این موج شرایط نامناسب زیست اقلیمی برای ارگانسیم انسانی خصوصاً پوست انسان حکفرما بوده است، که بالتبع این شرایط موجب گرم‌زدگی و تشدید بیماری‌های قلبی

به‌ویژه در افراد مسن ساکن در استان کرمان شده است. این مطالعه نشان داد علاوه بر نفوذ کم‌فشار حرارتی عربستان که موجب بروز موج گرما در جنوب غرب ایران می‌شود، کم‌فشار حرارتی گنگ عامل رخداد این پدیده در جنوب شرق کشور و استان کرمان می‌باشد. نکته بسیار جالبی که در خصوص موج ابر گرم رخ داده در روزهای ۱۷ تا ۲۰ تیرماه ۱۳۷۷ استان کرمان مشاهده گردید این است که منبع اصلی انتقال گرما به استان کرمان در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال صحرای قره‌قوم ترکمنستان است که به‌واسطه جریان باد شرقی و وزش شمال موجب انتقال هوای داغ و سوزان صحرای قره‌قوم به استان کرمان شده اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جهت جریان غربی بوده و وزش جنوبی گرم عامل انتقال و افزایش دما در طول دوره موج ابر گرم بوده است و براین اساس منبع گرمای موج ابر گرم مذکور در درجه اول صحرای قره‌قوم و در درجه دوم هوای گرم و سوزان شبه جزیره عربستان بوده است. بنابراین همانند مطالعه بالدا و همکاران (۲۰۰۴)، نصرالله و همکاران (۲۰۰۴)، چن و کنراد (۲۰۰۶)، بیبیانا و کارولینا (۲۰۰۷) و قویدل رحیمی (۱۳۹۰: ۸۵)، در این پژوهش نیز حاکمیت پرارتفاع و فرونشینی هوا در هنگام بروز امواج گرمایی مورد تایید واقع شد. در پژوهش بالدا و همکاران (۲۰۰۴)، (در ناحیه مدیترانه) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز پرفشار جنب حاره‌ای وجود داشته، اما در وقوع امواج گرمایی استان کرمان در این تراز کم‌ارتفاع حرارتی گنگ ملاحظه می‌شود که این امر در تشدید وقوع امواج گرمایی این منطقه از کشور اثرگذار می‌باشد. همچنین این مطالعه نشان داد علاوه بر نفوذ کم‌فشار حرارتی عربستان که موجب بروز موج گرما در جنوب غرب ایران می‌شود (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰)، کم‌فشار حرارتی گنگ عامل رخداد این پدیده در جنوب شرق کشور و استان کرمان می‌باشد. با شناسایی ساز و کار و نحوه رخداد امواج گرمایی می‌توان این پدیده را شناسایی کرد و با اندیشیدن تمهیداتی از خسارات احتمالی ناشی از این مخاطره اقلیمی اجتناب نمود.

منابع

- احمدآبادی، علی، احمدی، محمد (۱۳۸۴)، «بررسی و شناخت الگوهای سینوپتیک تقویت امواج گرمایی روی ایران»، مجموعه مقالات کنفرانس اقلیم پزشکی همدان-ملاپیر، انجمن معلمان، صص ۱۱۵-۱۲۲.
- اسمعیل‌نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۲)، «شناسایی امواج گرمایی ایران» جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۲، صص ۳۹-۵۴.
- براتی، غلامرضا؛ موسوی، سیدشفیع (۱۳۸۴)، «جابه‌جایی مکانی موج‌های گرمای زمستانی در ایران»، جغرافیا و توسعه، سال سوم، شماره ۵، بهار و تابستان ۱۳۸۴، صص ۴۱-۵۲.
- حدادی، حسین (۱۳۸۸)، «تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما در ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین؛ تقی‌پور، افسانه (۱۳۸۰)، «روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره (۱۹۵۱-۲۰۰۳)»، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳، صص ۱۱۹-۱۴۳.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)، «شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ ایران»، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۳، صص ۸۵-۱۰۰.
- یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ علیزاده، تیمور (۱۳۹۰)، «برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکوف»، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، صص ۵۱-۷۲.
- Bell, M.; A. Giannini, E. Grover, M. Hopp, B. Lyon, A. Seth (2003). "Climate impact", IRI Climate Digest (The Earth Institute). Retrieved 2006-07-28.
- Bibiana, S, Carolina, S. Vera, B., Liebmann (2006), "The Nature of a Heat Wave in Eastern Argentina Occurring during SALLJEX", Monthly Weather Review, Vol. 135, no. 3, pp. 1165-1174.

- Chen, F; CKonrad, (2006), "A Synoptic climatology of summertime heat and humidity in the Piedmont region of North Carolina", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45: 674-685.
- Feudale, L; J.Shukla. (2011), "Influence of sea surface temperature on the European heat wave of 2003 summer. Part I: An observational study." *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-010-0788-0.
- Fischera, Paul H. Brunekreef, Bert. Lebreta, Erik. (2005), "Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, *Atmospheric Environment*", 38, 1083-1085.
- Frich, A.; L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G. Klein Tank, and T. Peterson (2002), "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century", *Climate Research*, 19: 193-212.
- Hanson, C.; J., P., Palutikof; M., Livermore; L., Barring; M., Bindi; J., Corte-Real; R., Durao; C., Giannakopoulos; P., Good; T., Holt; Z., Kundzewicz; G., C., Leckebusch; M., Moriondo; M., Radziejewski; J., Santos; P., Schlyter; M., Schwarb; I., Stjernquist; U, Ulbrich (2007), "Modelling the impact of climate extremes: an overview of the MICE project", *Climatic Change*, 81: 163-177.
- Hassan Ali Nasrallah, Elena Nieplova, Essa Ramadan (2004) "Warm season extreme temperature events in Kuwait", *Journal of Arid Environments*, 56, 357-371.
- Kalkstein, L., S.S, Greene, D.M., Mills, A. Perrin, J. Jason P. Samenow, Cohen (2008), "Analog European Heat waves for U.S Cities To Analyze impacts on heat-Related mortality", *American Meteorological Society*, 1-11.
- Laurence S. Kalkstein, J. Scott greene, David, m. Mills, A. Perrin, J. Jason P. Samenow, Cohen (2008), "Analog European Heat waves for U.S Cities to Analyze impacts on heat-Related mortality" *American Meteorological Society*: 1-11.

- Mary P. Naughton, Alden Henderson, Maria C. Mirabelli (2002), "**Heat-Related Mortality During a 1999 Heat Wave in Chicago**", Published by Elsevier Science Inc. 0749-3797.
- Robine, Jean-Marie; SiuLan K. Cheung, Sophie Le Roy, Herman Van Oyen, Clare Griffiths, Jean-Pierre Michel, François Richard Herrmann (2008). "Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003", *Comptes Rendus Biologies* 331 (2): 171–178.
- Smith, J. (2006), "**Dictionary of weather and Climate, the Facts on File publications**", Market House Books Ltd, New York.
- Smoyer Karen E (1998), "A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis Missouri-1980 and 1995", *Int J Biometeorol* ,42:44-50.
- Susanna, Conti. Masocco, Maria. Meli, Paola. Minelli, Giada. Palummeri, Ernesto. Solimini, Renata. Toccaceli, Virgilia. Vichi, Monica. (2007), "General and specific mortality among the elderly during the 2003 heat wave in Genoa (Italy)", *Environmental Research* 103, 267–274.
- Trenberthk, Meehl J., Masters, J, Somerville, R., (2012), "Heat Waves and Climate Change, A Science Update from Climate Communication".