

شناسایی و تحلیل سیнопیتیکی امواج گرمایی کلانشهر اهواز

سوفیا خزایی کوهپر^۱، غلامرضا جانبازقبادی^{۲*}، صدرالدین متولی^۳

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.

۲. دانشیار گروه جغرافیا، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.

۳. دانشیار گروه جغرافیا، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: gh_janbazghobadi@iaunour.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۰۲ آذر ۱۴۰۲

چکیده

مقدمه: با پیدایش و شدت رو به افزایش پدیده تغییر اقلیم و تبع آن گرمایش جهانی در سال‌های اخیر وقوع امواج گرمایی همواره رو به افزایش بوده است. موج‌های گرمایی شدید از مهمترین بلایای آب و هوایی بوده که تأثیرات گسترده‌ای بر فعالیت‌های مختلف انسانی دارند و زمانی که از شدت و فراوانی بالایی برخوردار شوند می‌توانند معضلات عمده‌ای تولید نمایند.

هدف: هدف اصلی این پژوهش، تحلیل سینوپتیکی شهر اهواز در زمان رخداد امواج گرم می‌باشد.

روش شناسی: در این راستا، از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک کلانشهر اهواز طی دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۹) برای استخراج موج گرم استفاده شده و روند سری زمانی آنها با استفاده از دو آمار ناپارامتریک تخمینگر شیب sen و من کندال مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های به دست آمده برای تحلیل و بررسی الگوهای جوی هم‌دید مولد امواج گرم که شامل ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای جوی، ۵۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح زمین، و الگوی ضخامت ارتفاع ژئوپتانسیل بین سطوح ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی بار، از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده اخذ گردید استفاده شد. مراحل پردازش این داده‌ها در محیط نرم افزار GRADS قرار گرفت.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: شهر اهواز در استان خوزستان

یافته‌ها و بحث: یافته‌ها در این ایستگاه، بیانگر وجود یک روند افزایشی هم در فراوانی رخدادها و هم در تعداد روزهای گرم کلانشهر اهواز بوده است. در این پژوهش، ۳ موج گرم (موج گرم ۱۸-۱۴ تیر ۱۳۸۹، موج گرم ۱۴-۸ مرداد ۱۳۹۱ و موج گرم ۱۱-۶ تیر ۱۳۹۶) در شهر اهواز شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: نتایج آن، با توجه به تحلیل‌های سینوپتیکی موج‌های گرم شهر اهواز در ترازهای بالا حاکمیت پرفشار جنب حاره‌ای آזור شرایط را برای تابش شدید فراهم کرده و در سطح پایین نیز گسترش کم فشار عربستان باعث گرمایش شدید منطقه شده و توده هوای گرم عربستان را مکش می‌کند.

کلیدواژه‌ها: امواج گرم، تحلیل سینوپتیک، شهر اهواز، پرفشار جنب حاره آזור.

مقدمه

امروزه فعالیت‌های صنعتی بشری باعث ایجاد ناهنجاری‌های شدیدی در اقلیم سراسر جهان شده است که این ناهنجاری‌ها تحت عنوان پدیده تغییر اقلیم، به‌صورت‌های مختلفی از قبیل خشکسالی، سیل، امواج گرم و سرد، جابجایی زمانی و مکانی بارش، و ... ظاهر شده است (IPCC، ۲۰۱۴). یافته‌های پژوهشگران علوم جوی نشان می‌دهد که تغییرات شدید رفتار سنج‌های جوی به‌ویژه طی قرن بیستم و بیست‌ویکم بیانگر نشانه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم است. علاوه بر تغییرات در میانگین، مقادیر فرین نیز دستخوش تغییرات شده اند (دارند، ۱۳۹۳). امواج گرم که از دو دهه قبل به یکی از مهم‌ترین و جدی‌ترین مخاطرات اقلیمی به ویژه در اقلیم شهری بدل شده است، تأثیرات وسیع این مخاطره جوی در مرگ و میرهای ناشی از تنش‌های گرمایی و گرم‌زدگی، عود و تشدید برخی علایم بیماران قلبی و عروقی، سکنه‌ها، از دست رفتن آب بدن، همگی از مظاهر این مخاطره اقلیم شهری هستند که نظر به میزان چشمگیر تلفات جانی ناشی از موج گرم و گرم‌زدگی به عنوان یکی از مخاطرات نوظهور در اقلیم شهری (نسبت به سیل، خشکسالی و طوفان) در نواحی مختلف جهان این پدیده مورد بررسی قرار گرفته است.

در حال حاضر پدیده‌های جوی اقلیم در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند؛ کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی مرهون شناسایی عوامل ایجادکننده امواج و شناسایی رفتارهای اقلیمی امواج گرما است. پیش‌بینی و برآورد احتمالات رخداد امواج گرما می‌تواند به عنوان یک سیستم هشداردهنده کارآمد در کاهش این اثرات ویرانگر و ضررهای اقتصادی هنگفت ناشی از اثرات سوء آن بسیار مفید باشد. سابقه‌ی مطالعات مرتبط با امواج گرمایی به بیش از یکی دو دهه نمی‌رسد.

آسترا و باندلا^۱ (۲۰۱۷)، رخدادهای مرگ و میر مرتبط با دماهای فرین حدی گرم را در شهرهای بیابانی اسنوران^۲ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرکانس رخداد امواج گرم از سال ۱۹۹۰ به-صورت معنی‌داری افزایش یافته است. این افزایش مرگ و میرهای مرتبط با گرم‌زدگی و بیماری‌های مرتبط با گرما در مورد ایالت‌هایی که تراکم جمعیتی بیشتری دارند و در بافت‌های شهری بوده‌اند، بالاتر بود. جکسون^۳ و همکاران (۲۰۱۹)، اقدام به ارزیابی میزان دموگرافیکی شهر پورتلند ایالات متحده در برابر موج گرما نمودند. ایشان با توسعه شاخص شدت آسیب‌پذیری گرمایی شهری که در آن مؤلفه‌هایی از قبیل تراکم جمعیت و تراکم مسکونی، تراکم رده‌های سنی آسیب‌پذیر، میانگین و دمای بیشینه شهر، و نیز میزان دسترسی به مراکز درمانی، دخیل بودند، نشان دادند که افرادی که از لحاظ قدرت اقتصادی در طبقات پایین‌تری قرار دارند، عموماً بیشتر در معرض ریسک گرم‌زدگی قرار دارند. این نتیجه کلی شامل این بود که این افراد، در نواحی متراکم شهری، که در آن تراکم جمعیت بالاتر از متوسط کل شهر بود ساکن بودند و میزان دسترسی آنان به فوریت‌های پزشکی کمتر بوده است.

از آنجا که موج گرم حاصل شرایط سینوپتیکی خاصی است، آشکارسازی الگوهای همدیدی مؤلفه‌های امواج گرم، یکی دیگر از رویکردهایی است که در زمینه تحلیل موج گرم بررسی شده است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰؛ قویدل رحیمی و رضایی، ۱۳۹۴؛ مجرد و همکاران، ۱۳۹۴)، در همین راستا تحلیل آماری سری زمانی موج گرم (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴)، یا آشکارسازی امواج گرم (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲)، نیز مورد بررسی پژوهشگران بوده است. رخداد موج گرم اگرچه به صورت اولیه حاصل شرایط جوی و اتمسفری است، اما ویژگی‌های کاربری اراضی و تغییرات آن و نیز توزیع و سرانه فضای سبز شهری می‌تواند تأثیر چشمگیری در تشدید و یا کاهش تنش‌های حرارتی ناشی از موج گرم داشته باشد.

الماسی و همکاران (۱۳۹۵) واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز را بررسی کردند. در این تحقیق از داده‌های دمای بیشینه روزانه ایستگاه اهواز در دوره ۱۳۸۶-۱۳۴۰ و ماتریس استاندارد شده داده‌ها استفاده کردند سپس به کمک نمایه فومیایکی، ماتریس انحراف دمای بهنجار شده اهواز (NTD) تهیه کردند. بدین ترتیب ۸۷

^۱ Astera & Bandella

^۲ Snoran

^۳ Jakson

موج ۳ تا ۱۴ روزه شناسایی و دسته‌بندی کردند؛ در نهایت، تداوم امواج گرمایی شهر اهواز بر اساس قوانین احتمالی به صورت فرایندهای تصادفی و با استفاده از تکنیک زنجیره مارکوف مورد تحلیل قرار دادند نتایج نشان داد که امواج گرمایی کوتاه مدت بسامد رخداد بیشتری داشته است با افزایش طول تداوم‌های امواج گرمایی، رخدادها کاهش می‌یابد. یآوری و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به تحلیل فضایی آسیب‌پذیری شهر کرمانشاه در زمان رخداد امواج گرم پرداختند و از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰ استفاده کردند.

از میان امواج گرم، موج گرم ۷ تا ۱۳ جولای ۲۰۱۵ را انتخاب کردند. با استفاده از تحلیل آمار فضایی لکه‌های داغ، نواحی بحرانی شهر کرمانشاه حین رخداد موج گرم شناسایی و میزان جمعیت در معرض خطر از بلوک‌های جمعیتی سرشماری ۱۳۹۵ با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع به‌دست آوردند، نتایج نشان داد که شش منطقه از شهر کرمانشاه با مساحتی برابر ۳۰۷۲ هکتار یک هسته گرمایی بحرانی را تشکیل داده‌اند.

رخدادهای حدی اقلیمی از جمله امواج گرم، امروزه به مثابه یکی از تظاهرات اصلی تغییر اقلیم، به مخاطرات مهم اقلیمی تبدیل شده‌اند. موج‌های گرمایی شدید از مهم‌ترین بلایای آب و هوایی بوده که هر سال پیامدهای زیست محیطی مخربی را در طبیعت به جای می‌گذارند (امام‌قلی و همکاران، ۱۴۰۰)

روش شناسایی

به طور کلی از این داده‌ها برای بررسی استفاده شده است که در این بخش معرفی می‌گردد:

۱- داده‌های روزانه مربوط به دمای مشاهداتی روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سطح کلان شهر اهواز. این داده‌ها دمای اندازه‌گیری شده هوای سطح شهر را در موقعیت ایستگاه‌ها، برای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۸، ارائه می‌دهند. از دیدبانی ساعت ۰۹ به وقت UTC که برابر ساعت ۱۳/۳۰ ظهر به وقت محلی شهر اهواز است، برای بررسی و استخراج امواج گرم استفاده شد. این داده‌ها در مقیاس دیدبانی‌های روزانه از ایستگاه سینوپتیک شهر اهواز گرفته شده است.

۲- دسته دوم از داده‌ها، داده‌های مربوط به توزیع فضایی دمای سطح زمین در سطح کلان شهر اهواز در طی حاکمیت موج گرم در سطح شهر اهواز بود. برای بررسی توزیع فضایی ساختار دمایی سطح زمین کلان شهر اهواز در حین حاکمیت موج گرم، از داده‌های سنجش از دوری تصویر ماهواره ای سنجنده‌های ماهواره لندست استفاده شد. از آنجا که داده‌های ماهواره لندست ۷ یعنی سنجنده EMT+ با مشکل گپ یا فقدان ۲۱ درصد از داده‌ها مواجه شده است بنابراین از تصاویر ماهواره ای لندست ۵ یعنی سنجنده TM بجای آن استفاده شد. در لندست ۸ نیز از سنجنده TIRS برای استخراج ویژگی‌های دمایی سطح زمین بهره گرفته شد.

۳- دسته سوم از داده‌ها، الگوهای جوی هم‌دید مولد امواج گرم که از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده NOAA اخذ گردید بهره گرفته شد.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در تحقیق

داده	منبع اخذ	دوره آماری	دقت زمانی - مکانی
داده‌های هواشناسی	ایستگاه سینوپتیک سطح شهر اهواز	۱۹۶۱-۲۰۱۸	دیدبانی‌های روزانه
داده‌های دمای سطح زمین	تصاویر ماهواره‌ای لندست	روزهای موج گرم نمونه موردی	۳۰ متر برای تصاویر لندست
داده‌های تحلیل سینوپتیک سامانه‌های مولد موج گرم	پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده NOAA	داده‌های درون‌یابی شده ترازهای جوی	۲/۵ درجه قوسی

در پژوهش پیش رو برای شناسایی رخدادهای حدی گرم، پس از محاسبه مقدار متوسط بیشینه دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر اهواز، برای محاسبه و تفکیک روزهای همراه با دماهای فرین از روش فومیاکی^۱ و همکاران

^۱ Fumiaki

(۲۰۰۷) که از آن با نام شاخص یا آستانه «انحراف نرمال شده دما-NTD» یا شاخص فومیایکی نیز یاد می‌شود، استفاده شد. برای اینکه مقدار شاخص NTD برای کلیه روزهای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۸ ایستگاه اهواز محاسبه شود، ابتدا میانگین دمای هر کدام از روزهای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۸ ایستگاه اهواز برای دیدبانی ساعت ۰۹ UTC که برابر ساعت ۱۳ ظهر است محاسبه شد. آنگاه میزان اختلاف دمای این دیدبانی برای کلیه روزها از این میانگین روزانه محاسبه گردید. شاخص انحراف نرمال شده دما براساس پژوهش فومیایکی و همکاران (۲۰۰۷)، به شرح رابطه ۱ مدل بندی می‌شود:

رابطه ۱ (شاخص فومیایکی)

$$NTD_{ijn} = \Delta T_{max_{ijn}} / \bar{\sigma}$$

که در آن NTD: انحراف نرمال شده دما؛ N: مجموع تعداد روزهای سال؛ Tmax: انحراف از میانگین دمای روزانه ایستگاه؛ i: در روز؛ j: از سال؛ n و σ: نیز انحراف معیار میانگین بلندمدت ایستگاه i در روز j است که به صورت رابطه ۲ به دست می‌آید:

رابطه ۲ (شاخص انحراف نرمال شده)

$$\Delta T_{max_{ijn}} = \Delta T_{max_{ijn}} - \overline{T_{max_{ij}}}$$

با توجه به شدت و ضعف مقادیر شاخص یادشده در روزهای مختلف، مقادیر ۱ تا ۲ به مثابه روزهای گرم، مقادیر ۲ تا ۳ روزهای بسیار گرم و مقادیر بالاتر از ۳، به منزله روزهای آبرگرم طبقه بندی شده است (جدول ۲):

جدول ۲. طبقات شاخص انحراف نرمال شده جهت آشکارسازی رخداد های گرم

طبقه	مقدار شاخص انحراف نرمال شده
گرم	۱-۲
بسیار گرم	۲-۳
داغ	بالاتر از ۳

برای آشکارسازی روند داده های میانگین فضایی دمای سالانه شهر اهواز از آزمون ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens استفاده گردید که به صورت رابطه ۱ ارائه شده است (سن، ۱۹۶۶):

$$Q = \text{Median} \left(\frac{W_j - W_i}{j - i} \right), \quad A_j > i \quad \text{رابطه ۱ (تخمینگر شیب)}$$

در رابطه بالا Q برآوردگر شیب خط روند و W_j و W_i به ترتیب میانگین دمای شهر اهواز در سال i ام و j ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) Q نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است (زمانی و همکاران، ۲۰۱۴). بعد از آشکارسازی شیب روند سری زمانی داده های میانگین، اقدام به بررسی این موضوع گردید که آیا روند آشکار شده در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value=0.05$) معنی دار است یا خیر. در این راستا از تست ناپارامتریک Man-Kendal استفاده گردید. آماره T آزمون من-کندال با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{4p}{n(n-1)} \quad \text{رابطه ۲ (تست من کندال)}$$

رابطه ۲، T آماره کندال، n تعداد کل سال های آماری و P مجموع تعداد رتبه های بزرگتر از ردیف n_i است که بعد از آن قرار می‌گیرد که صورت زیر بدست می‌آید:

$$P = \sum_{n=1}^n (n_i) \quad \text{رابطه ۳}$$

در این معادلات n شماره ردیفی است که برای هر سال تعریف شده است (چوبین و همکاران، ۲۰۱۲).

معنی داری آماره T نیز توسط رابطه ۴ آزمون می شود.

$$T_t = \pm t_g \sqrt{\frac{4n + 10}{9n(n - 1)}} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، t_g مقدار بحرانی توزیع نرمال است. این مقدار در سطح ۰/۰۵ برای آزمون دو دامنه برابر با ۱/۹۶ است.

اگر $-T_t < T < +T_t$ هیچگونه روند مهمی در سری ها مشاهده نمی شود و سری ها تصادفی هستند. همچنین اگر $+T_t < T$ نشان دهنده روند مثبت در سری ها و در صورتی که $-T_t > T$ باشد، روند منفی در سری ها غالب خواهد بود.

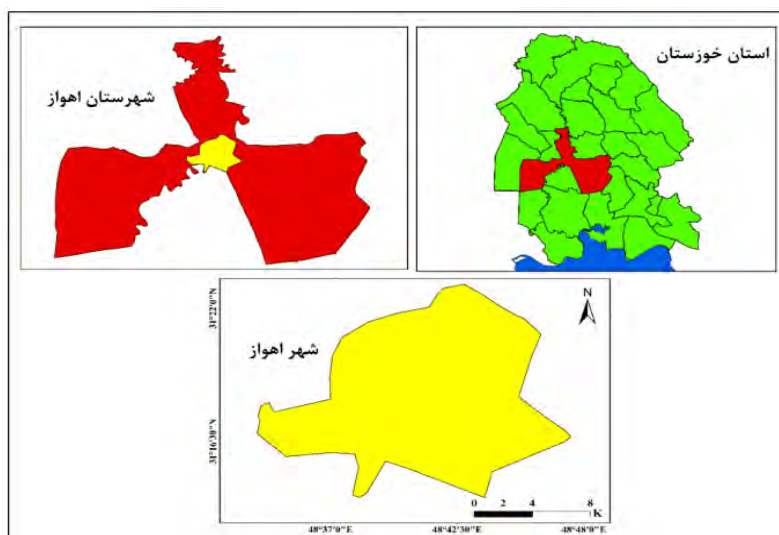
داده های مورد استفاده برای تحلیل و بررسی الگوهای جوی همدید مولد امواج گرم که شامل ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای جوی ۵۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح زمین، و الگوی ضخامت ارتفاع ژئوپتانسیل بین سطوح ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی بار، از پایگاه جوی اقیانوسی ابالات متحده^۱ اخذ گردید. مراحل پردازش این داده ها در محیط نرم افزار GRADS انجام گرفت.

قلمرو جغرافیایی پژوهش

در شکل شماره ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. شهر اهواز از کلانشهرهای ایران است که در بخش مرکزی و به عنوان مرکز استان خوزستان شناخته میشود. از شهر های پرجمعیت ایران به شمار می آید. اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است. شهر اهواز با مساحت ۱۸۶۵۰ هکتار، به عنوان یکی از شهرهای وسیع ایران (سومین شهر بزرگ ایران) محسوب میشود. شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب که بزرگترین تولیدکننده نفت ایران به شمار می آید، در اهواز مستقر میباشد، برخی از بزرگترین کارخانه های مادر کشور در این شهر جای دارند. رودخانه کارون پرآب ترین رودخانه ایران، با سرچشمه گرفتن از کوه های بختیاری، با ورود به اهواز، این شهر را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم میکند.

سرانه فضای سبز شهر اهواز با توجه به جمعیت ۱,۳۰۳,۰۰۰ نفری شهر و میزان مساحتی که کاربری فضای سبز اشغال کرده است (معادل ۱۱ متر) در مقایسه با استانداردهای جهانی ذکر شده، کمبود قابل توجهی را نشان می دهد. این مساله زمانی حادتر میشود که بدانیم شهر اهواز به عنوان یک کلانشهر بزرگ و صنعتی دارای جایگاه ویژه ای در سطح ملی می باشد. لازم به ذکر است سرانه فضای سبز شهر اهواز به علت مسائل عنوان شده اعم از آلودگی های مختلف با توجه به حداکثر استاندارد می بایست حداقل به ۲۵ متر برسد.

¹ NOAA



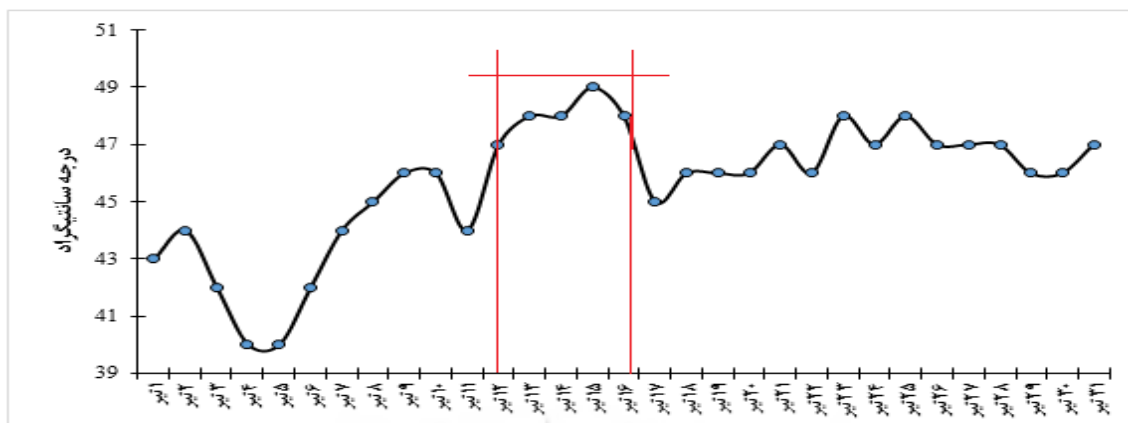
شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها و بحث

در این بخش اقدام به بررسی و تحلیل سری زمانی فراوانی امواج گرم و ابرگرم، یعنی فراوانی رخداد‌های حدی گرم و ابرگرم دو یا بیش از دو روز در سطح شهر اهواز پرداخته می‌شود. ملاک تقسیم امواج گرم و ابرگرم میانگین دمای امواج گرم طی دوره حاکمیت آن‌ها بوده است. میانگین دما به علاوه انحراف معیار، ملاک تفکیک امواج گرم و ابرگرم در نظر گرفته شده است. فراوانی سالانه، امواج گرم و ابرگرم، در این استان، ویژگی‌های آماری تعداد روزهای موج گرم و ابرگرم در سطح شهر اهواز ارائه شده است، طی دوره مورد بررسی، بالاترین تعداد موج‌های گرم، مربوط به سال ۱۹۹۸ می‌باشد که ۸ موج گرم در این سال ثبت شده است و کم‌ترین تعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال‌های ۱۹۶۲، ۱۹۶۴، ۱۹۶۹، ۱۹۷۰، ۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ۱۹۷۶، ۱۹۷۷، ۱۹۸۱ و ۱۹۸۴ بوده که در این سال‌ها ۱ موج گرم ثبت شده است. نتایج حاصل از تحلیل روند ۶۹ ساله رخداد‌های امواج گرم نیز بیانگر وجود روند افزایشی در سری زمانی امواج گرم بوده است که این نتایج با استفاده از دو آزمون ناپارامتریک من کندال و تخمینگر شیب Sen استخراج شده است. در این بخش برای آگاهی از الگوهای هم‌دید مولد موج گرم در شهر اهواز، اقدام به بررسی ویژگی‌های جو بالا و جو پایین در هنگام حاکمیت امواج گرم و ابرگرم می‌گردد. داده‌های مورد نیاز برای این تحلیل، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای جوی ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال، دمای ترازهای مذکور و فشار سطح زمین که از سایت مرکز ملی جوی اقیانوسی ایالات متحده (NOAA) که مورد بررسی قرار گرفت اخذ گردید. ۳ روز تیپیک که به صورت غالبی امواج گرم حاکمیت داشته است به عنوان نماینده امواج گرم انتخاب گردید. ۳ نمونه از رخداد‌های موج گرم و ابرگرم فراگیر در سطح شهر اهواز، با تداوم بیش از ۳ روز ثبت شده است، انتخاب شد و از هر کدام از این موج‌ها یک روز برای تحلیل شرایط سینوپتیک جو بالا، جو میانی و جو پایین انتخاب شد. براساس تحلیل فراوانی امواج گرم ثبت شده در ایستگاه اهواز، موج گرم مربوط به ۵ تا ۹ جولای سال ۲۰۱۰ (۱۴ تا ۱۸ تیر سال ۱۳۸۹)، موج دوم ۲۹ جولای ۲۰۱۲ تا ۴ آگوست ۲۰۱۲ (۸ تا ۴ مرداد ۱۳۹۱)، و موج سوم ۲۷ تا ۳۰ ژوئن ۲۰۱۸ (۱۱ تا ۶ تیر ۱۳۹۶) مورد بررسی قرار گرفت. این ۳ موج گرم از تیپیک‌ترین و گرم‌ترین امواج گرم ثبت شده شهر اهواز بوده‌اند در ادامه ابتدا ویژگی‌های حرارتی و آماری این امواج گرم مورد بررسی قرار گرفته و الگوهای سینوپتیک مولد این امواج گرم در اتمسفر سطح زمین و سطوح میانی جو، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در موج گرمایی جولای سال ۲۰۱۰، بخش وسیعی از نواحی مرکزی و غربی کشور، تحت حاکمیت یک موج گرم. میانگین دمای هوای شهر اهواز براساس رکوردهای ساعتی ایستگاه‌های

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

مورد بررسی، برای دیدبانی ساعت ۰۹ به وقت UTC که برابر ساعت ۱۲/۳۰ به وقت محلی است، در شکل شماره ۲ ارائه شده است. سری زمانی دمای ساعتی روزانه ایستگاه اهواز، بیانگر آن است که اوج حاکمیت موج گرم در این ماه در بازه زمانی بین ۱۴ تیر ماه تا ۱۸ تیر ماه بوده است. در این بازه میانگین دمای شهر اهواز بیش از ۴۸ درجه سانتیگراد بوده است. گرمترین روز دوره حاکمیت موج گرم این سال، روز ۱۵ تیر بوده است که دمای دیدبانی شده ایستگاه شهر اهواز به طور متوسط ۴۹ درجه سانتیگراد بوده است در حالی که در سایر روزهای همین ماه دما به طور چشمگیری پایینتر از این دوره حاکمیت موج گرم بوده است



شکل ۲. دمای دیدبانی شده ساعت ۱۲ به وقت محلی، متوسط ایستگاه شهر اهواز در ماه تیر سال ۱۳۸۹ دوره حاکمیت موج گرم

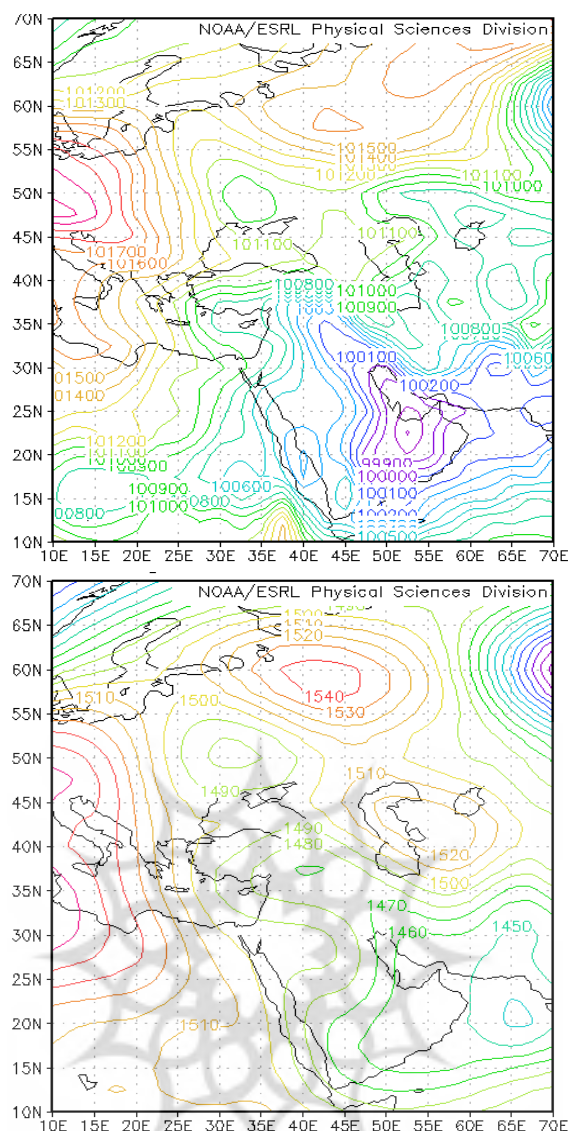
دمای دیدبانی شده روزهای مورد بررسی در دوره حاکمیت موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیر ماه سال ۱۳۸۹ (۵ جولای تا ۹ جولای سال ۲۰۱۰) در جدول شماره ۳ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده میشود، در دوره حاکمیت موج گرمایی دمای ثبت شده ساعت ۱۲ در روز ۱۴ تیر برابر ۴۸ درجه و در روز ۱۵ تیر برابر ۴۹ درجه سانتیگراد بوده است. در حالیکه در ۱۷ و ۱۸ تیر دما کاهش یافته و به ترتیب برابر با ۴۷ درجه سانتیگراد بوده است.

جدول ۳. دمای دیدبانی ۰۹ UTC شهر اهواز در دوره حاکمیت موج گرم تیرماه ۱۳۸۹ (۱۴ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۹)

ایستگاه	دما-درجه سانتیگراد
۱۴ تیر	۴۸
۱۵ تیر	۴۹
۱۶ تیر	۴۸
۱۷ تیر	۴۷
۱۸ تیر	۴۷

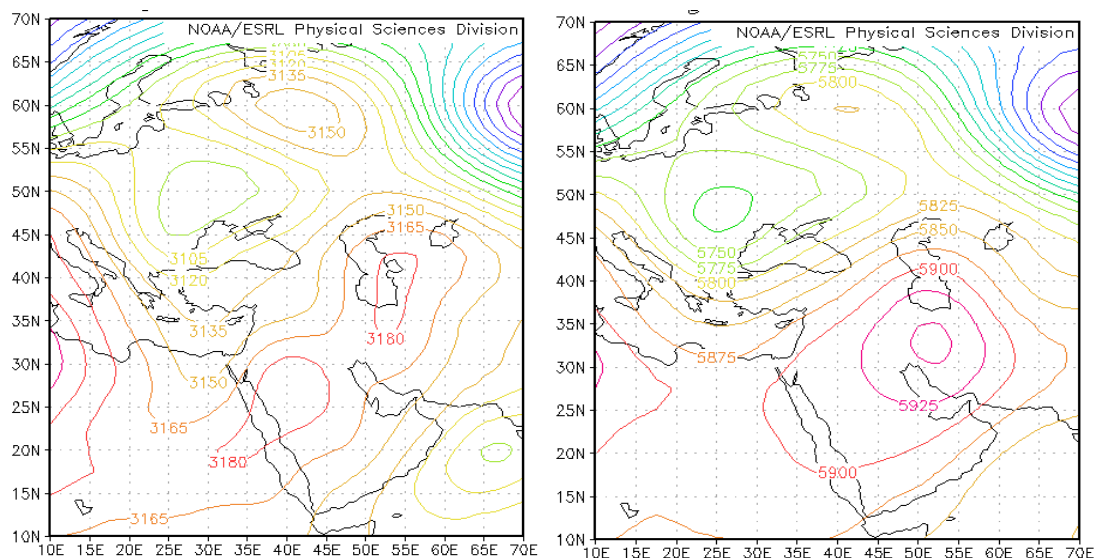
در ادامه الگوی سینوپتیک مولد این موج گرم با تداوم ۴ روزه با استفاده از داده های جو بالای مرکز ملی جوی اقیانوسی ایالات متحده مورد بررسی قرار میگیرد، تا الگوها و سامانه های همدیدی دخیل در ایجاد این تنش حرارتی شدید، در اتمسفر سطح زمین و جو بالا مشخص گردد.

شکل شماره ۳ فشار تراز دریا را طی موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیرماه ۱۳۸۹ نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود طی موج گرم ۴ روزه تیرماه ۱۳۸۹ الگوی فشاری سطح دریا حاکمیت شرایط کم فشاری را نشان می دهد که با هسته مرکزی ۹۹۷ هکتوپاسکال بر روی شبه جزیره عربستان مستقر بوده و زبانه حاصل از این کم فشار از شمال غربی به استان خوزستان وارد شده است.



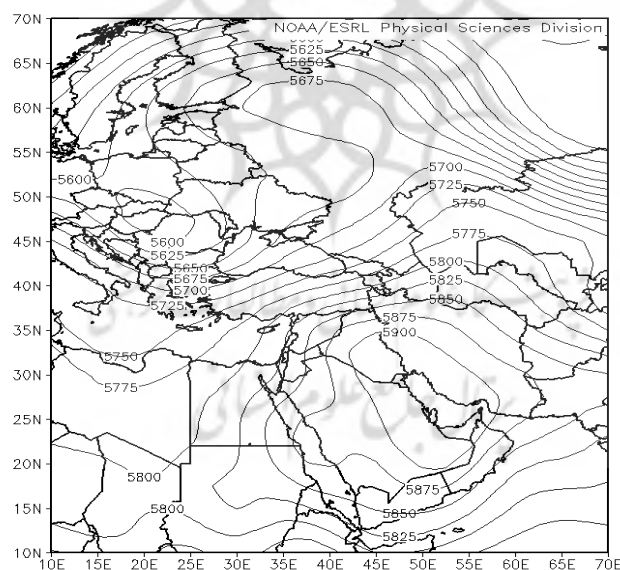
شکل ۳. نقشه فشار تراز دریا و نقشه فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۹

شکل ۴ نقشه های تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای موج گرم ۱۴ تا ۱۸ مرداد ۱۳۸۹ نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود در تراز میانی جو (۷۰۰ و ۵۰۰) حاکمیت پرفشار حاره ای آזור طی این موج گرم مشاهده می شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پربند ۵۹۴۰ ژئوپتانسیل متری بر روی استان خوزستان و شهر اهواز مستقر شده و الگوی حاصل از این پراارتفاع باعث شده که در منطقه زیرین آن یعنی استان خوزستان، فرونشینی هوا رخ دهد که گرمایش بیش از حد را در خوزستان به دنبال داشته است.



شکل ۴. نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیر ۱۳۸۹

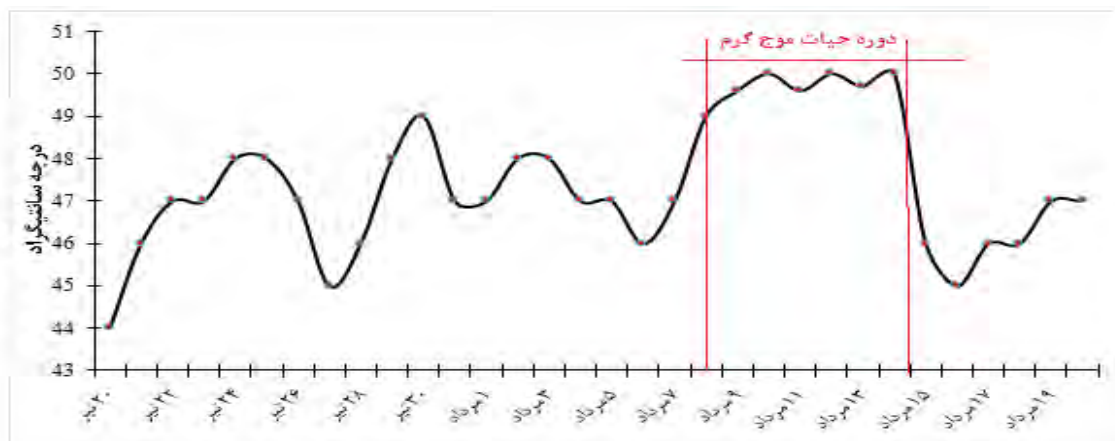
در شکل شماره ۵ ضخامت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال طی موج گرم ۱۴ تا ۱۸ سال ۱۳۸۹ ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود در جنوب و جنوب غرب استان خوزستان حاکمیت با پربند ۵۹۲۵ ژئوپتاسیل متری می باشد که این پربند بر روی خلیج فارس و عربستان مستقر شده که فرونشینی و گرمایش بیش از حد سطح زمین را فراهم کرده است. بنابراین عامل اصلی موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیر ماه ۱۳۸۹ افزایش ضخامت جو و همچنین انتقال هوای گرم و خشک آفریقا و عربستان از طریق کشور عراق به استان خوزستان و شهر اهواز می باشد.



شکل ۵. الگوی متوسط ضخامت جو ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال موج گرم ۱۴ تا ۱۸ تیر ۱۳۸۹

موج گرم دوم در بازه زمانی ۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱، بر منطقه حاکم شده است، در این دوره حاکمیت، موج گرم، در همه ایستگاه های استان خوزستان و شهر اهواز ثبت شده است. در نمودار شماره ۲ روند سری دوره حاکمیت موج گرم از ۸ تا ۱۴ مرداد ماه سال ۱۳۹۱ ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، میانگین دمای سطح شهر اهواز طی حاکمیت این موج گرم بیشتر از ۴۸/۵ درجه سانتیگراد بوده است. بررسی روند دما شکل ۴-۶ در ماه های تیر و مرداد سال ۱۳۹۱ نشان داد که طی این دوماه چند موج گرمایی تشکیل شده که با تضعیف یکی موج دیگری

شدت یافته است. در روزهای ۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱ حاکمیت موج گرم در سطح شهر اهواز به اوج رسیده است به طوری که دمای ساعت ۱۲ در روز ۱۲ مرداد به ۵۰ درجه سانتیگراد رسیده است.



شکل ۶. دمای دیدبانی شده ساعت ۱۲ بوقت محلی متوسط ایستگاه اهواز طی دوره حاکمیت موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد ۱۳۹۱

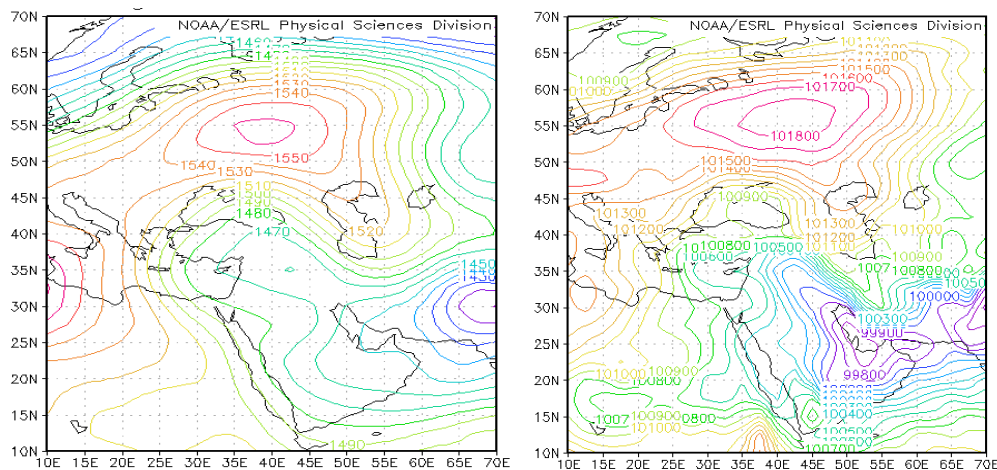
در جدول شماره ۴ دمای دیدبانی شده میانگین دمای ساعت ۱۲ شهر اهواز در دوره حاکمیت موج گرم مرداد ۱۳۹۱ (۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱) ارائه شده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌گردد، دمای دیدبانی شده ساعت ۱۲ روزهای ۸ تا ۱۴ مرداد برابر ۴۸ تا ۴۹ درجه سانتیگراد بوده است درحالیکه در روز ۱۲ مرداد که روز اوج موج گرم می‌باشد، دما برابر ۵۰ درجه سانتیگراد بوده است.

جدول ۴. میانگین دمای ساعت ۱۲ شهر اهواز در دوره حاکمیت موج گرم مرداد ۱۳۹۱ (۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱)

ایستگاه	روز ۸ مرداد	روز ۹ مرداد	روز ۱۰ مرداد	روز ۱۱ مرداد	روز ۱۲ مرداد	روز ۱۳ مرداد	روز ۱۴ مرداد
میانگین دما	۴۹	۴۹/۷	۵۰	۴۹/۵	۵۰	۴۹	۴۸

در ادامه الگوی سینوپتیک مولد این موج گرم با تداوم ۷ روزه، با استفاده از داده های جو بالای مرکز ملی جوی اقیانوسی ایالات متحده مورد بررسی قرار می‌گیرد، تا الگوها و سامانه های همدیدی دخیل در ایجاد این تنش حرارتی شدید، در اتمسفر سطح زمین و جو بالا مشخص گردد. شکل شماره ۷ نقشه فشار تراز دریا موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد.

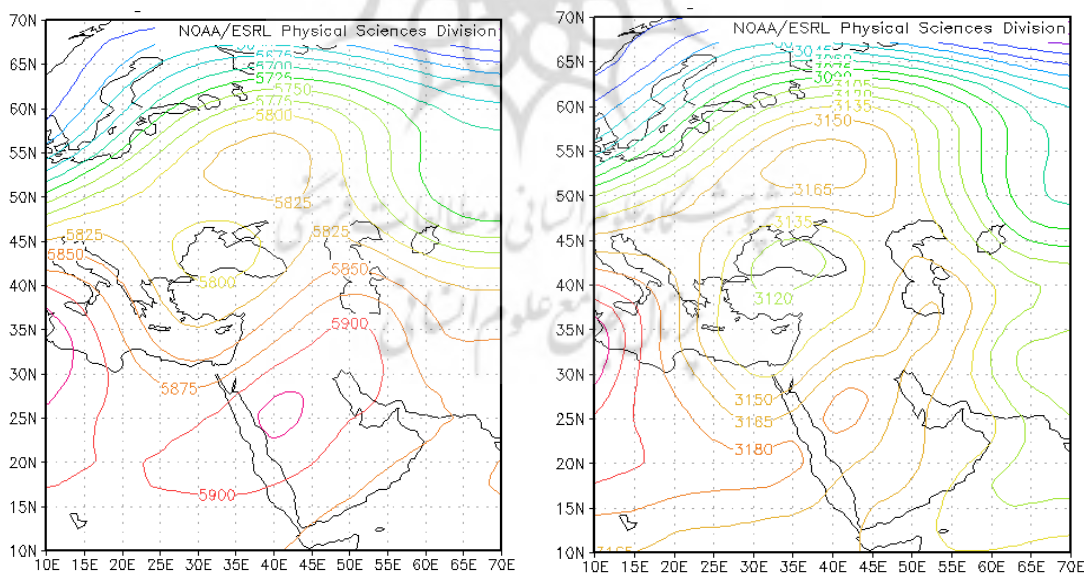
همانطور که مشاهده می شود الگوی حاکم در این تراز کم فشار می باشد که باتوجه به دوره گرم سال این کم فشار از نوع حرارتی می باشد که بر اثر جذب انرژی تابشی زیاد شکل گرفته است. این کم فشار با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال از روی خلیج فارس بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است. شکل شماره ۷ نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد ۱۳۹۱ را نشان می دهد. این تراز انعکاسی از فشار تراز دریا است . باتوجه به شکل همانطور که دیده می شود در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جنوب ایران تحت حاکمیت پرفشاری پاکستان می باشد و زبانه های کم ارتفاع پاکستان تا استان خوزستان کشیده شده است .



شکل ۷. نقشه فشار تراز دریا و نقشه فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد ۱۳۹۱

شکل ۸ نقشه فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال را نشان می دهد همانطور که در شکل مشاهده می شود زبانه هایی از پرفشار جنب حاره ای آזור از جنوب غرب وارد ایران شده و بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است و تا شمال شرق کشور گسترش یافته است .

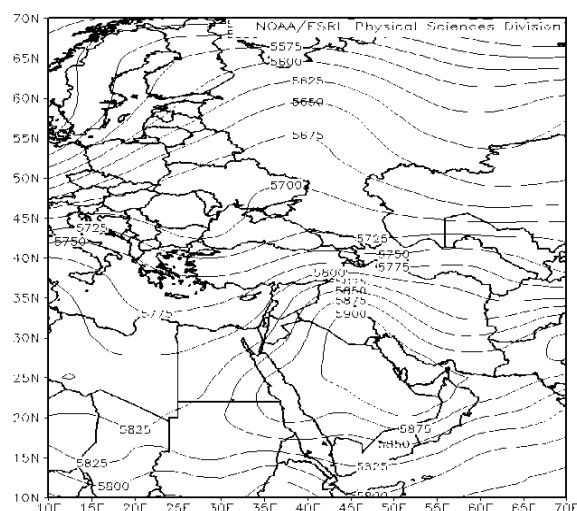
در شکل شماره ۸ نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد ۱۳۹۱ مشاهده می شود همانطور که در شکل مشاهده می شود در این تراز نیز به وضوح گسترش پرتافتع جنب حاره ای آזור تا بخش هایی از شمال شرق کشور دیده می شود که باتوجه به گسترش آن از دریای سرخ و کشیده شدن زبانه های آن روی بخش های غربی ایران باعث شده تمامی ایران را تحت سیطره خود درآورد و زمینه را برای موج گرمایی شدید ۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱ فراهم کرده است.



شکل ۸. نقشه فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موج گرمایی ۸ تا ۱۴ مرداد

در شکل ۹ ضخامت تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال طی موج گرم ۸ تا ۱۴ مردادماه سال ۱۳۹۱ ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود در جنوب و جنوب غرب استان خوزستان حاکمیت با پربند ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متری می باشد که این پربند بر روی خلیج فارس و عربستان مستقر شده که فرونشینی و گرمایش بیش از حد سطح زمین را فراهم کرده است .

باتوجه به حاکمیت پرفشاری تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که مقادیر مثبت آن بخش های جنوب غربی کشور را تحت سیطره دارد نشان از گسترش موج گرمایی از صحرای آفریقا به استان خوزستان و شهر اهواز دارد.



شکل ۹. الگوی متوسط ضخامت جو ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال موج گرم ۸ تا ۱۴ مرداد سال ۱۳۹۱

در موج گرمایی ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶، کل استان خوزستان تحت حاکمیت یک موج گرم قرارگرفت میانگین دمای هوای شهر اهواز براساس رکوردهای ساعتی روزهای مورد بررسی، برای دیدبانی ساعت ۱۲ به وقت UTC که برابر ساعت ۳/۳۰ به وقت محلی است، در شکل شماره ۱۰ ارائه شده است. سری زمانی دمای ساعتی روزانه میانگین ۶ روزه موج گرم مورد بررسی، بیانگر آن است که اوج حاکمیت موج گرم در این ماه در بازه زمانی بین ۶ تیر ماه تا ۱۱ تیر ماه بوده است. در این بازه میانگین دمای شهر اهواز بیش از ۵۱/۲ درجه سانتیگراد بوده است. گرمترین روز دوره حاکمیت موج گرم این سال، روز ۸ تیر بوده است که دمای دیدبانی شده ایستگاه های سطح شهر اهواز به طور متوسط در این روز به ۵۳ درجه سانتیگراد رسید در حالی که در روز ۱۱ تیر ماه دما به ۴۹ درجه سانتیگراد کاهش داشته است.



شکل ۱۰. دمای دیدبانی شده ساعت ۳/۳۰ به وقت محلی، متوسط ایستگاه شهر اهواز در ۶ تا ۱۱ ماه تیر سال ۱۳۹۶ دوره موج گرم (۲۷ ژوئن تا ۲ جولای سال ۲۰۱۸)

دمای دیدبانی شده ایستگاه های مورد بررسی در دوره حاکمیت موج گرم سال ۱۳۹۶، در جدول شماره ۵ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده میشود، در دوره حاکمیت موج گرمایی دمای ثبت شده ساعت ۱۲ در روز ۶ تیر برابر ۴۹ درجه و در روزهای ۷ و ۸ تیرماه که برابر با روزهای اوج موج گرمایی بودند به ترتیب برابر با ۵۱ و ۵۳ درجه سانتیگراد بوده است در حالیکه در روز ۹ تیرماه دما به ۵۲/۶ درجه سانتیگراد کاهش یافته است.

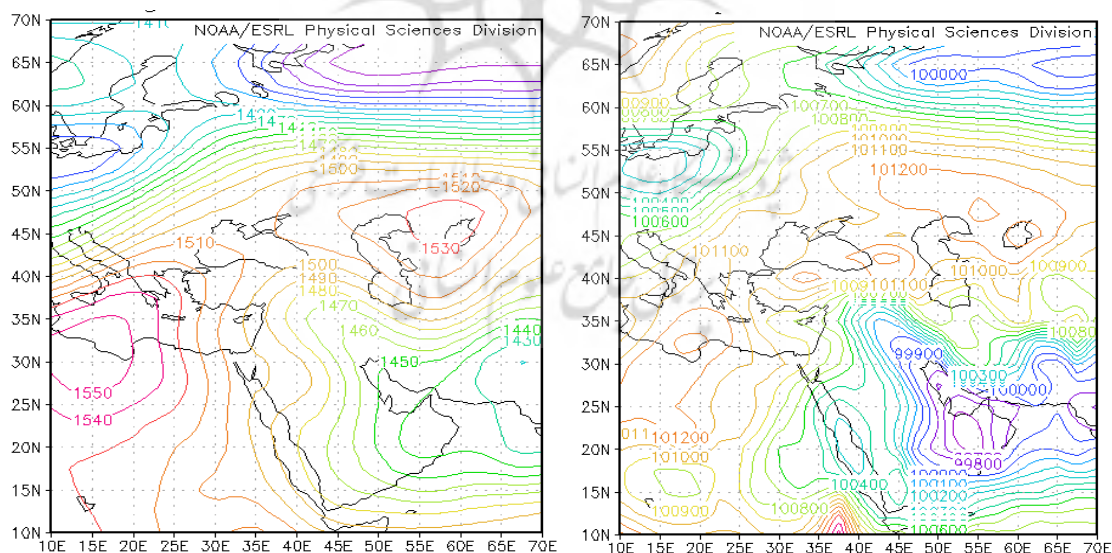
جدول ۵. میانگین دمای ساعت ۱۲ / ایستگاههای شهر اهواز در دوره حاکمیت موج گرم تیرماه ۱۳۹۶ (۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶)

ایستگاه	۶ تیر	۷ تیر	۸ تیر	۹ تیر	۱۰ تیر	۱۱ تیر
میانگین دما	۴۹	۵۱	۵۳	۵۲,۶	۵۱,۵	۵۰

در ادامه الگوی سینوپتیک مولد این موج گرم با تداوم ۶ روزه با استفاده از داده های جو بالای مرکز ملی جوی اقیانوسی ایالات متحده مورد بررسی قرار میگردد، تا الگوها و سامانه های همدیدی دخیل در ایجاد این تنش حرارتی شدید، در اتمسفر سطح زمین و جو بالا مشخص گردد.

در شکل شماره ۱۱ نقشه فشار تراز دریا موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، الگوی متوسط فشار تراز دریا در طی این موج گرم حاکمیت سامانه کم فشاری می باشد. این کم فشار با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال از روی خلیج فارس بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است مرکز اصلی این کم فشار بر روی شبه جزیره عربستان و جنوب خلیج فارس قرار دارد.

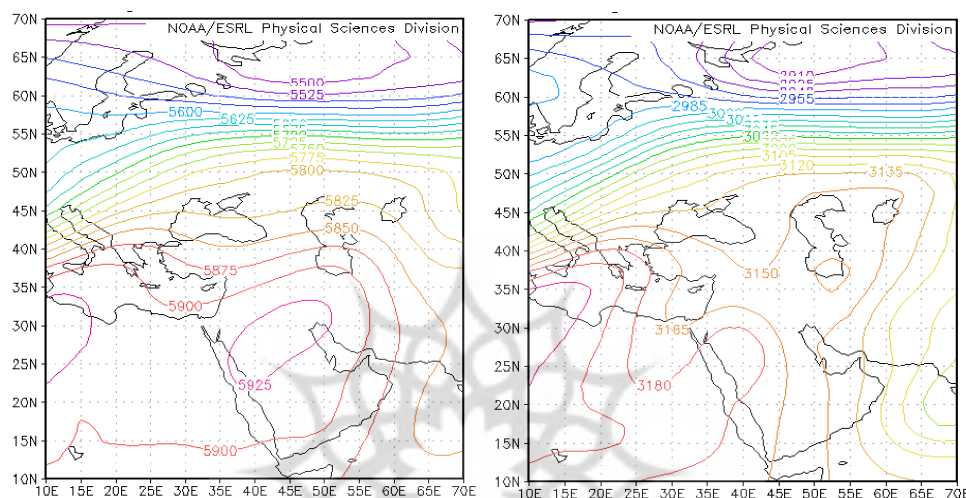
با توجه به موقعیت قرارگیری کم فشار و همچنین این فصل از سال (تابستان) مشخص است که این کم فشار، کم فشار حرارتی عربستان می باشد و گسترش این کم فشار به داخل ایران، هوای گرم و سوزان را به همراه داشته است. شکل شماره ۱۱ نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه را نشان می دهد. این تراز انعکاسی از فشار تراز دریا است. باتوجه به شکل همانطور که دیده می شود در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جنوب ایران تحت حاکمیت پرفشار پاکستان می باشد و زبانه های کم ارتفاع پاکستان تا استان خوزستان کشیده شده است.



شکل ۱۱. نقشه فشار تراز دریا و نقشه فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶

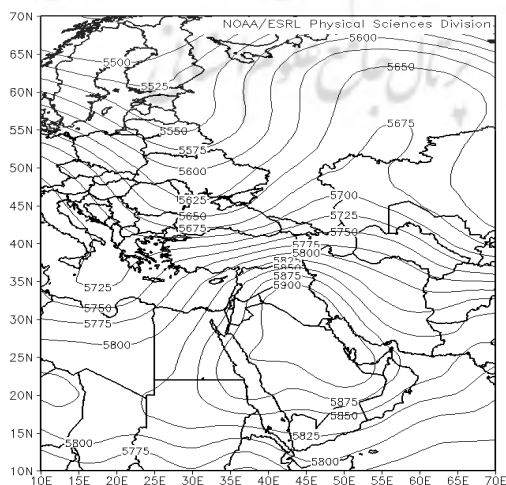
برای آگاهی دقیقتر و آشکارسازی واقعی تر الگوهای سینوپتیک مولد موج گرم، وضعیت متوسط جو بالای منطقه در سطح ۷۰۰ و ۵۰۰ میلیبار نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل شماره ۱۲ نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می دهد همانطور که در شکل مشاهده می شود در سطوح میانی جو بر پهنه ایران زبانه پرفشار جنب حاره ای آזור قرار

دارد و زبانه های حاصل از این پرفشار از جنوبغرب وارد ایران شده و بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است و تا شمال شرق کشور گسترش یافته است. باتوجه به اینکه پرفشارهای جنب حاره از نوع گرم هستند و اگر در سطوح میانی جو شکل گیرند فرونشینی هوا به داخل پرفشار باعث افزایش زیاد دمای هوا خواهد شد. بنابراین این گرمایش لایه های میانی تروپوسفر اجازه صعود هوا را از لایه پایینی فراهم نکرده است و گرمای ناشی از این سامانه با گرمای جذب خورشیدی ترکیب شده است و باعث افزایش دما شده که موج بسیارگرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶ را باعث شده است. در شکل شماره ۱۲ سمت راست نقشه فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال طی موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶ مشاهده می شود همانطور که در شکل مشاهده می شود در این تراز نیز به وضوح گسترش پراتفاع جنب حاره ای آזור تا بخش هایی از شمالشرق کشور دیده می شود که باتوجه به گسترش آن از دریای سرخ و کشیده شدن زبانه های آن روی بخش های غربی ایران باعث شده تمامی ایران را تحت سیطره خود درآورد و زمینه را برای موج گرمایی شدید شده است.



شکل ۱۲. نقشه فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موج گرمایی ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶

در شکل شماره ۱۳ الگوی ضخامت جو در ترازهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را طی حاکمیت موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶ ارائه شده است. طی این موج گرم ضخامت متوسط جو در زمان استقرار موج افزایش یافته است و خطوط پربندی ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متری بروی شهر اهواز مشاهده می شود. همانطور که در شکل شماره ۱۳ مشاهده میشود الگوی حاکم در طی دوره موج گرم مذکور، حاکمیت شرایط پراتفاعی می باشد که موجب فرونشینی هوا و گرمایش آن بویژه در جنوبغرب ایران و شهر اهواز شده است.



شکل ۱۳. الگوی متوسط ضخامت جو ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال موج گرم ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۹۶

نتیجه گیری

تحلیل سینوپتیکی امواج گرم تیپیک مورد بررسی بیانگر آن بود که در غالب این امواج در سطح زمین یک کم فشار حرارتی حاکم بوده است. این کم فشار با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال از روی خلیج فارس بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است مرکز اصلی این کم فشار بر روی شبه جزیره عربستان و جنوب خلیج فارس قرار دارد و باتوجه به موقعیت قرارگیری کم فشار و همچنین این فصل از سال (تابستان) مشخص است که این کم فشار، کم فشار حرارتی عربستان می باشد و گسترش این کم فشار به داخل ایران هوای گرم و سوزان را به همراه داشته است. برای آگاهی دقیقتر و آشکارسازی واقعی تر الگوهای سینوپتیک مولد موج گرم، وضعیت متوسط جو بالای منطقه در سطح ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی بار نیز مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل سینوپتیکی این سطوح میانی بیانگر آن بود که در سطوح میانی جو بر پهنه ایران زبانه پرفشار جنب حاره ای آזור قرار دارد و زبانه های حاصل از این پرفشار از جنوبغرب وارد ایران شده و بر روی استان خوزستان و شهر اهواز کشیده شده است و تا شمال شرق کشور گسترش یافته است. باتوجه به اینکه پرفشارهای جنب حاره از نوع گرم هستند و اگر در سطوح میانی جو شکل گیرند فرونشینی هوا به داخل پرفشار باعث افزایش زیاد دمای هوا خواهد شد بنابراین این گرمایش لایه های میانی تروپوسفر اجازه صعود هوا را از لایه پایینی فراهم نکرده است و گرمای ناشی از این سامانه با گرمای جذب خورشیدی ترکیب شده است و باعث افزایش دما شده که موج بسیارگرم را باعث شده است. بنابراین در حین حاکمیت این امواج گرم در ترازهای بالایی به ویژه تراز ۵۰۰ میلی بار پراتفاع جنب حاره ای آזור تا بخش هایی از شمالشرق کشور دیده می شود که باتوجه به گسترش آن از دریای سرخ و کشیده شدن زبانه های آن روی بخش های غربی ایران باعث شده تمامی ایران را تحت سیطره خود درآورد و زمینه را برای موج گرمایی شدید شده است. الگوی ضخامت جو در ترازهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را طی حاکمیت موج گرم نشان داد که ضخامت متوسط جو در زمان استقرار موج افزایش یافته است و خطوط پربندی ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متری بر روی شهر اهواز مشاهده می شود. بنابراین به طور کلی الگوی حاکم در طی دوره موج گرم حاکمیت شرایط پراتفاع ای می باشد که موجب فرونشینی هوا و گرمایش آن بویژه در جنوبغرب ایران و شهر اهواز شده است. بنابراین، با توجه به تحلیل های سینوپتیکی موج های گرم شهر اهواز در ترازهای بالا حاکمیت پرفشار جنب حاره ای آזור شرایط را برای تابش شدید فراهم کرده و در سطح پایین نیز گسترش کم فشار عربستان باعث گرمایش شدید منطقه شده و توده هوای گرم عربستان را مکش میکند. در این پژوهش پیشنهاد میگردد، تغییرات ارتفاع لایه مرزی در شهر اهواز هنگام حاکمیت موج گرم نسبت به روزهای عادی بررسی شده و تغییرات ایجاد شده در لایه مرزی در ارتباط با وجود و عدم وجود امواج گرم بررسی شود.

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری رشته اقلیم شناسی بوده که در گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور از آن دفاع شده است.

منابع

- الماسی، فائقه؛ طاوسی، تقی؛ حسین آبادی، نسرين، (۱۳۹۵)، واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۶ (۱۹)، ۱۵۰-۱۳۷.
- امامقلی شهرام، جانبازقبادی غلامرضا، رضایی پرویز، متولی صدرالدین. ارزیابی مخاطره بیوکلیمایی رخدادهای موج گرم در شهر تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲ (۶۶)، ۵۰-۶۲.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰) شناسایی، طبقه بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره ۳، صص ۸۵-۱۰۰.

- قویدل رحیمی، یوسف؛ رضایی، محمد (۱۳۹۴) جستاری پیرامون شناسایی، طبقه بندی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی استان کرمان، جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۹ (۵۴) صص ۲۷۳-۲۵۳
- مجرد، فیروز؛ معصومپور، جعفر؛ رستمی، طیب (۱۳۹۴) تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۳، صص ۴۱-۵۷
- یاوری حسین، کریمپور مصطفی، یاراحمدی داریوش، (۱۳۹۸)، تحلیل فضایی آسیبپذیری زیستاقليمی شهر کرمانشاه در مواجهه با مخاطرات اقليمي موج گرم، جغرافیا و پایداری محیط، ۹ (۱)، ۳۷-۵۰
- Austria P. F., Bandala, E. R. (2017). Temperature and heat-related mortality trends in the Sonoran and Mojave desert region. *Atmosphere*, 8 (53), 1-13
- Fumiaki, F., Nobuo, Y., Kenji, K., Hiroshi, N, 2007, Long-Term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan. *Meteorology and Geophysics Journal*, No 58, pp. 63-72.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Working Group II contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- nnn, P. .. (1968). Esiimssss of th rrgressom oofffeecass bdddd on nnn dlil's au. *Journ of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.

