

صص ۱۷-۳۵

الگویابی و تحلیل همدیدی امواج گرمایی استان اردبیل

برومند صلاحی*

استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مهناز صابر

پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

فاطمه وطن پرست قلعه جوق

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی امواج گرمایی استان اردبیل و واکاوی الگوهای همدیدی آنها به روش محیطی به گردشی انجام گرفته است. برای این منظور، از داده روزانه متوسط حداکثر دمای ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، پارس‌آباد و مشکین‌شهر در دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۲۰ استفاده شد. شاخص صدک ۹۵ ام به‌عنوان معیار شناسایی روز گرم تعیین و تداوم حداقل ۳ روزه آن به‌عنوان مبنای تعریف موج گرم در نظر گرفته شد. بررسی روند SLP، HGT و Tmax این موج‌ها نشان داد در گرم‌ترین روزهای امواج گرمایی، روند SLP نزولی و روند HGT و Tmax صعودی است. خوشه‌بندی الگوهای مولد امواج گرمایی بر مبنای داده‌های بازتحلیل فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و روش خوشه‌بندی Ward به شناسایی ۵ خوشه منجر شد که در دو گروه اصلی ارائه شدند. در الگوی اول، کم‌فشار در سطح زمین و پرارتفاع در تراز میانی جو و در الگوی دوم، قرارگیری منطقه مورد مطالعه در غرب بلوکنینگ شبه‌امگایی غرب روسیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان عوامل سینوپتیکی ایجاد امواج گرمایی استان اردبیل شناسایی شدند. وجه مشترک هر دو الگو، ضخامت زیاد جو بر روی منطقه در روزهای وقوع این رخداد است.

واژگان کلیدی: امواج گرمایی، استان اردبیل، تحلیل همدید، خوشه‌بندی.

مقدمه

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ابعاد و جنبه‌های مختلف زندگی بشری در دهه‌های اخیر در کانون توجه پژوهشگران در سراسر جهان قرار گرفته است. مخاطرات آب و هوایی نظیر امواج گرمایی جزو پیامدها و نمودهای تغییرات آب و هوایی به حساب می‌آیند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶، ۷۰). موج‌های گرمایی قسمتی از وقایع حدی اتمسفر می‌باشند که موجب خسارت شدید و تخریب محیط‌زیست می‌شوند (Keggenhoff, 2015; NOAA, 2007). علاوه بر این، اثرات سوء و مخاطره‌آمیزی در بخش‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی می‌گذارد و بر روی حیات و بیماری‌ها اثرگذار هستند. فراتر رفتن درجه حرارت هوا

از آستانه تحمل بشر موجب تأثیرات منفی بر روی سلامتی انسان شده و تبعات وخیم‌تر آن شامل فوت و آسیب‌دیدگی گروه‌های آسیب‌پذیر و سالمندان می‌گردد. کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده در گرو شناخت ساز و کار امواج گرمایی، سامانه‌های جوی ایجادکننده آن‌ها و همچنین شناخت مناطق آسیب‌پذیر از امواج گرمایی است (Kovats & Ebi, 2006).

موج گرمایی دوره‌ای است گرم که چند روز تا چند هفته پایداری و تداوم داشته و ممکن است با رطوبت شدید نیز همراه باشد (کرم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۶۴). امروزه ثابت شده است که تغییرات روزمره هوا و به تبع آن شرایط محیطی، توسط الگوهای گردشی جو توجیه می‌شوند. قرارگیری منطقه در جلوی جبهه گرم، گسترش پرفشارها و وجود تاوایی منفی از جمله مشترکات وقوع امواج گرمایی در یک مکان بخصوص است. از جمله روش‌های شناسایی امواج گرمایی می‌توان به شاخص Fumiaki، شاخص بالدی، شاخص روزانه بزرگی موج گرما (HWMId)، شاخص صدک ۹۵ یا ۹۹ ام، نمره استاندارد +۲، استفاده از زنجیره مارکوف جهت برآورد امواج گرم، تابع توزیع گمبل، روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، شاخص انحراف نرمال شده دما یا (NTD) و الگوبندی همیدی اشاره نمود. همچنین از روش‌های تحلیل فرین شامل تئوری تعمیم‌یافته مقدار فرین (GEV) که روش حداکثر بلوک‌ها (Block maxima) نیز نامیده می‌شود و روش نوین تعیین داده‌های فرین یا همان روش فراتر از آستانه (POT) نیز برای شناسایی و طبقه‌بندی و تحلیل امواج گرمایی استفاده شده است (قویدل و همکاران، ۱۳۹۸). اخیراً رخدادهای فرین اقلیمی در کانون توجه محققان قرار گرفته و در زمینه شناسایی امواج گرمایی پژوهش‌های گسترده‌ای انجام گرفته است.

کامپتلا و روستی کیوسی (Campetella & Rusticucci, 1998) الگوی مولد موج فرا گرم آرژانتین در مارس ۱۹۸۰ را گردش و اچرخندی در ترازهای مختلف جو پایینی و حاکمیت وضعیت پایدار جوی معرفی کردند. فتودال و شوکلا (Feudale & Shukla, 2011) علت سینوپتیکی موج گرمای سال ۲۰۰۳ در اروپا را استقرار سامانه بلوکینگ در ترازهای مختلف جو شناسایی نمودند. سلوچی و همکاران (Seluchi et al. 2006) حاکمیت جو باروتروپیک و فرارفت گرم و مرطوب به امریکای جنوبی را عامل سینوپتیکی تشدیدکننده امواج گرمایی معرفی کردند. بامباکو و همکاران (Bumbaco et al, 2013) به تحلیل همیدی امواج گرمایی در شمال غربی اقیانوس آرام پرداخته‌اند و نتایج نشان داد که فراوانی امواج گرمایی در بیشتر قسمت‌های ایالات متحده در حال افزایش است. روسو و همکاران (Russo et al, 2015) در پژوهشی امواج گرمایی اروپا در دوره آماری (۲۰۱۴ - ۱۹۵۰) را با شاخص روزانه بزرگی موج گرما (HWMId) بررسی و به این نتیجه رسیدند که موج گرمایی سال ۱۹۷۲ در فنلاند از نظر وسعت مکانی و بزرگ‌مقیاس بودن قابل مقایسه با امواج گرمایی رخ داده در اروپا در طول سال ۲۰۰۳ است. زمپیری و همکاران (Zampieri et al, 2016) به بررسی رخداد امواج گرما در رشته‌کوه‌های آلپ با شاخص HWMId پرداخته‌اند و نتایج نشان داد امواج گرما نسبت به اوایل قرن بیستم تقریباً سه برابر شده است. کرویتورو و همکاران (Croitoru et al, 2016) به بررسی تغییرات شاخص امواج گرما در رومانی طی دوره آماری (۲۰۱۵ - ۱۹۹۶) پرداختند و نتایج نشان داد همه شاخص‌ها دارای روند افزایش معنی‌دار هستند. دوسیو (Dosio

(et al, 2017) با استفاده از داده‌های پروژه CORDEX و شاخص HWMId وقایع حدی در آفریقا را مورد پژوهش و بررسی قرار داد و نتایج پیش‌یابی حاکی از این بود که دما در قسمت‌های مختلف آفریقا بین ۳/۵ تا ۶ درجه گرم‌تر خواهد شد. روهینی و همکاران (Rohini et al, 2019) به بررسی امواج گرمایی در هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند و نتایج نشان از وقوع امواج گرمایی بلندمدت برای دهه‌های آتی دارد.

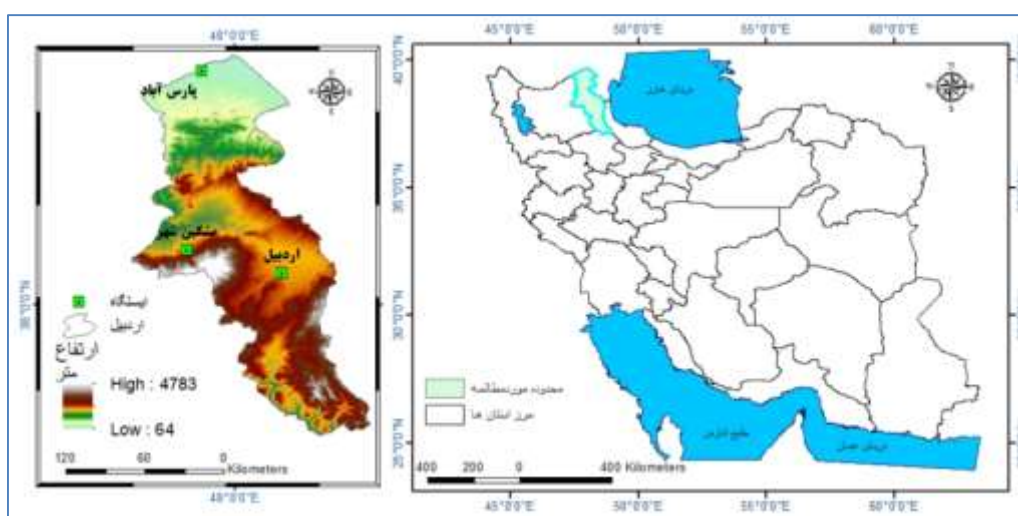
قویدل رحیمی (۱۳۹۰) عامل رخداد دماهای ابرگرم ایران را وزش هوای گرم و خشک آفریقا و عراق می‌داند. قویدل رحیمی و رضایی (۱۳۹۴) در تحلیل سینوپتیک امواج ابرگرم استان کرمان دریافتند استقرار کم‌فشار گنگ در سطح زمین و پراارتفاع آزر در سطح بالا و ضخامت زیاد جو علت اصلی وقوع این امواج هستند. قویدل رحیمی (۱۳۹۴) الگوی مولد موج ابرگرم سال ۱۳۸۹ استان خوزستان را استقرار کم‌فشار سطح زمین و پرفشار تراز میانی جو و منشأ ورود گرما به ایران را صحرای آفریقا و عربستان و عراق شناسایی نمود. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) الگوی مولد موج گرم جولای ۲۰۰۰ در استان خوزستان را وجود کم‌فشار با منشأ حرارتی در سطح و پراارتفاع مستقل غرب آسیا در تراز میانی جو و فرارفت هوای گرم از نواحی بیابانی به این منطقه معرفی نمودند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۶) در غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، باد مداری و نصف‌النهاری در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌بار شرایط هم‌دید موج‌های گرمایی را بررسی کردند و نتایج نشان داد استقرار سامانه کم‌فشار حرارتی خلیج فارس و گنگ همراه با رطوبت و گسترش پرفشار آزر، تاوایی منفی سبب تداوم امواج گرمایی به مدت بیش از ۵ روز در محدوده مورد پژوهش شده است. کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) امواج گرمایی در ایلام، لرستان، خوزستان و کرمانشاه را تحلیل سینوپتیکی کرده‌اند و نتایج پژوهش آن‌ها گویای آن است که منطقه در زمان رخداد امواج گرم در جلوی جبهه گرم قرار داشته و نفوذ هوای گرم به منطقه سبب گرما شده است. صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷) به پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی در استان زنجان با استفاده از مدل LARS-WG و شاخص بالدی در دو بازه زمانی (۱۴۰۹ - ۱۳۹۰) و (۱۴۴۴ - ۱۴۲۵) پرداخته و به این نتیجه رسیدند که موج گرمایی کوتاه در بازه زمانی اول روند افزایش تندتری نسبت به بازه زمانی دوم دارد. بهاروندی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از شاخص HWMId، امواج گرمایی ایران را در طی دوره آماری (۲۰۱۵ - ۱۹۸۵) بررسی کردند و نتایج بیانگر وقوع شدیدترین امواج گرمایی در زمستان‌های سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ بوده است. خسروی و اسمعیل نژاد (۱۳۹۹) به شناسایی هم‌دید امواج گرمایی ایران در دوره آماری (۱۳۹۰ - ۱۳۶۰) پرداخته‌اند و نتایج نشان داد کم‌فشار عربستان و پاکستان مهم‌ترین سامانه‌های رخداد این گرما بوده‌اند. ظرافتی و همکاران (۱۴۰۳) در تحلیل الگوهای مولد دماهای فرین بالای ۵۰ درجه در منطقه غرب آسیا دریافتند کم‌فشار با منشأ حرارتی الگوی سطح زمین و قرارگیری پراارتفاع غرب آسیا در تراز میانی جو و فرارفت هوای گرم از بیابان‌های اطراف مسبب بروز این دماها هستند. پژوهشگران دیگری چون قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) به تحلیل هم‌دید امواج گرمایی در غرب ایران پرداخته‌اند.

امواج گرمایی هر ساله خسارات و آسیب‌های زیادی در مناطق جغرافیایی مختلف بر جای می‌گذارند که مطالعات محققانی نظیر اعتمادیان و همکاران (۱۳۹۹) نشان می‌دهد مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای طی دهه‌های گذشته بیشترین

فراوانی را در رخداد امواج گرما داشته‌اند که به تبع استان اردبیل از این مناطق و مخاطره استثنا نیست و در طول سال در مواجهه با این مخاطره متحمل خساراتی می‌شود. لذا این پژوهش به منظور بررسی امواج گرمایی در استان اردبیل و استخراج الگوهای مولد و تحلیل همبندی آن‌ها انجام گردید.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از منطقه شمال غرب ایران یعنی استان اردبیل و سه ایستگاه سینوپتیک منتخب آن شامل: ایستگاه‌های پارس‌آباد، اردبیل و مشکین‌شهر است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده و پراکنش ایستگاه‌ها آورده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق، به منظور واکاوی همبندی امواج گرمایی استان اردبیل و استخراج الگوهای منجر به آن، داده‌های روزانه حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل از سازمان هواشناسی برای دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۰) دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از داده‌های جوئی پایگاه داده NCEP/NCAR شامل نقشه‌های فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT)، دمای اتمسفر (Air Temperature)، باد مداری (Uwnd) و باد نصف‌النهاری (Vwnd) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده گردید. رویکرد تحقیق سینوپتیکی در این پژوهش، رویکرد محیطی به گردشی است بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از داده‌های دمای حداکثر ایستگاه‌ها و شاخص صدک ۹۵ ام در هر ماه از سال، آستانه‌های دمایی برای تعیین روز گرم در هر یک از ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. در گام بعدی، تداوم دمای حداکثر روزانه فراتر از این آستانه‌ها به مدت حداقل ۳ روز به عنوان مرجع شناسایی موج گرم تعریف شد. سپس امواج گرما بر حسب تداوم و استمرارشان، از موج ۳ روزه تا ۱۰ روزه دسته‌بندی شده و با توجه به تعداد بالای این امواج، برای استخراج الگوی

مولد امواج گرم، موج‌های با طول حداقل ۵ روز انتخاب و متعاقب آن به خوشه‌بندی و تعیین الگوها با استفاده از داده‌های بازتحلیل جوی مرکز پیش‌بینی محیطی (NCEP) شامل ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا اقدام گردید. الگوبندی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و روش خوشه‌بندی وارد و فاصله اقلیدسی انجام شد. هدف روش وارد در هر مرحله از خوشه‌بندی، یافتن حداقل مربعات خطا در گروه در دو خوشه‌ای است که با هم ادغام می‌شوند.

بحث و یافته‌ها

بررسی صدک ۹۵ ام متوسط حداکثر دما در سه ایستگاه منتخب طی ۱۲ ماه سال نشان می‌دهد (جدول ۱) سیر این متغیر از ژانویه تا اوت صعودی و متعاقب آن نزولی می‌شود. بالاترین مقادیر این صدک در اردیبهیل و مشکین‌شهر در ماه اوت (۳۲/۶) و در پارس‌آباد در ژوئیه (۳۸/۲) مشاهده می‌شود.

جدول ۱: صدک ۹۵ ام متوسط حداکثر دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۱۲ ماه (بر حسب درجه سانتی‌گراد)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اردبیل	۱۲	۱۴/۴	۲۰	۲۵/۸	۲۸/۴	۳۰/۸	۳۱/۸	۳۲/۶۷	۳۱/۶	۲۷	۱۹/۸	۱۵
پارس‌آباد	۱۶/۶	۱۹	۲۲/۵	۲۷/۸	۳۲/۴	۳۷	۳۸/۲	۳۷/۴	۳۳/۶	۲۸	۲۱/۶	۱۷/۴
مشکین‌شهر	۱۱/۸	۱۳/۵	۱۹/۶	۲۴	۲۶/۶	۳۰/۴	۳۲/۲	۳۲/۶	۲۹/۴	۲۵/۳	۱۸/۲	۱۴/۸

توزیع فراوانی ماهانه امواج گرمایی

فراوانی ماهانه رخداد امواج گرمایی با طول حداقل ۳ روز در اردبیل (جدول ۲) نشان می‌دهد که دسامبر با ۱۱ موج بیشترین فراوانی ماهانه موج گرم را به خود اختصاص داده و ژوئن، سپتامبر و نوامبر هر کدام با ۲ موج کمترین فراوانی موج گرم را در بین ماه‌ها دارند. بررسی دقیق‌تر این امواج بر حسب تداوم آن‌ها گویای این است که تعداد امواج گرم با ماندگاری ۳ روز در مجموع ۳۹ موج است که بیشینه آن در دسامبر (۷ موج) و کمینه آن در ژوئن و ژوئیه (در هر کدام ۱ موج) ثبت شده است. طی دوره مورد مطالعه در نوامبر موج گرمایی ۳ روزه رخ نداده است. موج گرمایی با تداوم ۴ روزه در اردبیل ۱۲ موج را شامل می‌شود که نیمی از این امواج در فوریه و ژوئیه اتفاق افتاده و در ژانویه و اوت هر کدام ۲ موج و در آوریل و ژوئن هر کدام ۱ موج رخ داده است. فراوانی موج گرمایی ۵ روزه در اردبیل ۶ مورد بوده که بیشینه آن (۳ موج) در دسامبر و ۳ موج دیگر در مارس، اوت و نوامبر به‌وقوع پیوسته است. موج گرمایی با تداوم ۶ روزه در این ایستگاه ۲ موج بوده که در نوامبر و دسامبر رخ داده‌اند. طی دوره مورد مطالعه ۲ موج گرمایی ۷ روزه در اردبیل و هر دو در مارس مشاهده شده است. نکته جالب توجه در خصوص ۱۰ موج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روز در اردبیل این است که تنها ۱ مورد از این موج‌ها در ماه گرم اوت و بقیه در ماه‌های سرد رخ داده است. در مجموع ۶۱ موج گرم با تداوم حداقل ۳ روزه در این دوره در ایستگاه اردبیل ثبت شده که در مقیاس فصلی بیشترین فراوانی به تعداد ۲۱ موج به زمستان تعلق دارد و در مراتب بعدی پاییز با ۱۷ موج و تابستان با ۱۲ موج و بهار با ۱۱ موج قرار دارند.

فراوانی ماهانه وقوع امواج گرمایی با تداوم حداقل ۳ روز در پارس‌آباد (جدول ۳) نشان‌دهنده این است که ژوئیه با ۱۱ موج بیشترین فراوانی و فوریه با یک موج کمترین فراوانی ماهانه این امواج را به خود اختصاص داده‌اند. ۳۱ موج با ماندگاری ۳ روز در این ایستگاه ثبت شده که بیشینه ماهانه آن به ژوئیه با ۷ موج تعلق دارد و در این ایستگاه هیچ موج گرم ۳ روزه‌ای در ژانویه مشاهده نشده است. در این ایستگاه ۱۹ موج گرم با تداوم ۴ روزه ثبت شده که بیشینه فراوانی آن با ۴ موج در آوریل قرار دارد و دوسوم کل امواج گرم ۴ روزه در نیمه نخست سال رخ داده است. فراوانی موج گرمایی ۵ روزه در پارس‌آباد ۷ موج بوده که ۵ موج در تابستان و ۲ موج دیگر در پاییز به وقوع پیوسته است. ۲ موج گرمایی با ماندگاری ۶ روزه در ژوئیه و اوت و ۲ موج گرمایی ۷ روزه در می و اوت مشاهده شده است. امواج گرمایی با طول ۵، ۶ و ۷ روزه در این ایستگاه در فصول زمستان و بهار رخ نداده است. برخلاف ایستگاه اردبیل، در این ایستگاه از ۱۱ موج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه به‌جز ۲ موج بقیه در ماه‌های گرم سال رخ داده‌اند. طی دوره مورد مطالعه در مجموع ۶۱ موج گرم با طول حداقل ۳ روز در ایستگاه پارس‌آباد ثبت شده که در مقیاس فصلی، بیشترین فراوانی با ۲۵ موج متعلق به تابستان است و بهار با ۱۷ موج در مرتبه دوم قرار دارد. همچنین ۱۴ موج در پاییز و ۵ موج در زمستان به‌وقوع پیوسته است.

جدول ۲: توزیع فراوانی ماهانه امواج گرمایی با تداوم حداقل ۳ روز در ایستگاه اردبیل طی دوره مورد مطالعه

طول موج	تعداد موج	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
موج ۳ روزه	۳۹ موج	۶	۴	۳	۳	۵	۱	۱	۳	۲	۴		۷
موج ۴ روزه	۱۲ موج	۲	۳		۱		۱	۳	۲				
موج ۵ روزه	۶ موج			۱					۱			۱	۳
موج ۶ روزه	۲ موج											۱	۱
موج ۷ روزه	۲ موج			۲									
مجموع	۶۱ موج	۸	۷	۶	۴	۵	۲	۴	۶	۲	۴	۲	۱۱

جدول ۳: توزیع فراوانی ماهانه امواج گرمایی با تداوم حداقل ۳ روز در ایستگاه پارس‌آباد طی دوره مورد مطالعه

طول موج	تعداد موج	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
موج ۳ روزه	۳۱ موج		۱	۱	۱	۱	۳	۷	۲	۵	۳	۴	۲
موج ۴ روزه	۱۹ موج	۲		۱	۴	۳	۲	۲		۲		۲	۱
موج ۵ روزه	۷ موج						۲	۱	۲	۱	۱		
موج ۶ روزه	۲ موج							۱	۱				
موج ۷ روزه	۲ موج					۱			۱				
مجموع	۶۱ موج	۲	۱	۲	۵	۵	۷	۱۱	۶	۸	۴	۶	۴

فراوانی ماهانه وقوع امواج گرمایی بر حسب تداوم امواج به مدت حداقل ۳ روز در ایستگاه مشکین شهر (جدول ۴) نشان می‌دهد بیشینه فراوانی ماهانه امواج گرمایی به صورت مشترک در دو ماه مارس و ژوئیه (هر کدام با ۶ موج) مشاهده می‌گردد و حداقل فراوانی ماهانه به تعداد ۲ موج در ژوئن ثبت شده است. بر حسب طول موج، فراوانی امواج گرم ۳ روزه در این ایستگاه ۳۴ مورد بوده که بیشینه ماهانه آن به مارس (با ۵ موج) تعلق دارد. ۸ موج با تداوم ۴ روزه در ایستگاه ثبت شده که نیمی از آن در ژانویه و اوت رخ داده است. در این ایستگاه ۲ موج ۵ روزه در اکتبر و دسامبر و ۴ موج ۶ روزه در مارس، آوریل، ژوئیه و نوامبر و ۱ موج با تداوم ۱۰ روزه در دسامبر به ثبت رسیده است. در این ایستگاه نیز همانند ایستگاه اردبیل اغلب امواج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه در دوره سرد سال رخ داده است. طی دوره مورد مطالعه در کل ۴۹ موج با تداوم حداقل ۳ روزه در ایستگاه مشکین شهر رخ داده که در مقیاس فصلی، بیشینه فراوانی با ۱۴ موج در زمستان و تابستان مشترک است و پاییز با ۱۱ موج در مرتبه بعدی قرار دارند همچنین بهار با داشتن ۱۰ موج گرم کمترین فراوانی را در بین فصول دارد.

جدول ۴: توزیع فراوانی ماهانه امواج گرمایی با تداوم حداقل ۳ روز در ایستگاه مشکین شهر طی دوره مورد مطالعه

طول موج	تعداد موج	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مئ	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
موج ۳ روزه	موج ۳۴	۲	۳	۵	۳	۳	۲	۴	۳	۳	۱	۲	۳
موج ۴ روزه	موج ۸	۲	۱			۱		۱	۲		۱		
موج ۵ روزه	موج ۲										۱		۱
موج ۶ روزه	موج ۴				۱			۱				۱	
موج ۱۰ روزه	موج ۱												۱
مجموع	موج ۴۹	۴	۴	۶	۴	۴	۲	۶	۵	۳	۳	۳	۵

شناسایی امواج گرمایی

با توجه به فراوانی بیشتر امواج گرمایی ۳ روزه بر مبنای شاخص صدک ۹۵ام حداکثر دما در استان اردبیل مقرر گردید امواج گرمایی با ماندگاری حداقل ۵ روز مبنای گزینش موج‌ها جهت انجام خوشه‌بندی قرار گیرد. بر این اساس و با لحاظ شرط تداوم موج به مدت حداقل ۵ روز، در مجموع ۲۷ موج در استان اردبیل شناسایی گردید که ویژگی‌های زمانی و مکانی این امواج در جدول (۵) قید شده است. مهم‌ترین ویژگی‌های زمانی امواج گرمایی در این استان به شرح زیر است: از ۲۷ موج گرمایی رخ داده، ماه‌های دسامبر و اوت هر کدام با ۵ موج بیشترین فراوانی موج گرمایی را داشته‌اند. در مارس ۴ موج، در نوامبر و جولای هر کدام ۳ موج، در ژوئن و نوامبر هر کدام ۲ موج و در ماه آوریل، می و سپتامبر هر کدام ۱ موج گرم به وقوع پیوسته است. موج ردیف ۲۰ (۱ الی ۱۰ دسامبر ۲۰۱۰) با طول ۱۰ روز و حاکمیت بر روی مشکین شهر به‌عنوان طولانی‌ترین موج گرم استان اردبیل در طول دوره آماری ۴۰ ساله شناسایی شد. همچنین شدیدترین موج گرمایی ثبت شده با دمای ۴۲/۲ درجه در اواخر دوره و در ایستگاه پارس‌آباد مشاهده شده است. نکته جالب توجه دیگر شیب امواج

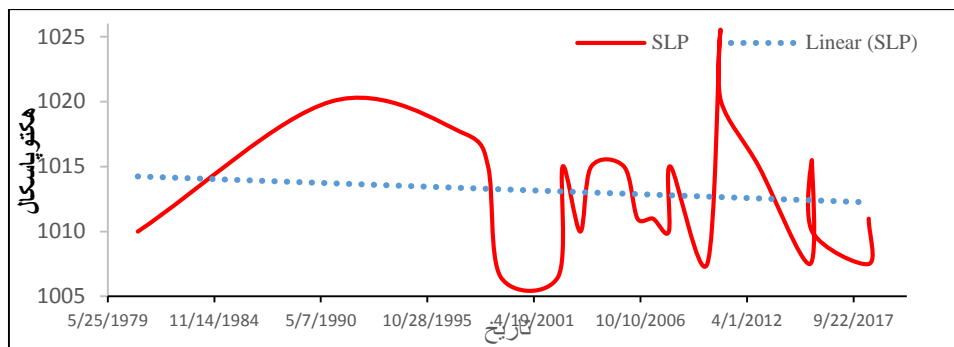
گرمایی اواخر دوره به سمت ماه‌های گرم سال و تمرکز مکانی آن‌ها بر روی پارس‌آباد است که می‌تواند هشدار دهنده در خصوص تغییرات الگوهای حاکم بر جریان‌های هوا و احتمالاً تغییر اقلیم باشد.

لازم به ذکر است از بین ۲۷ موج گرمایی، ۸ موج دوه‌دو همپوشانی زمانی داشته و یا دو ایستگاه را پوشش داده‌اند بنابراین در خوشه‌بندی ۲۳ موج گرمایی و گرم‌ترین روزهای آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل‌های (۲ تا ۴) مقادیر فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و حداکثر دما برای این ۲۳ موج در قالب نمودار به‌منظور ارزیابی تغییرات زمانی این سه متغیر در گرم‌ترین روز امواج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه در استان اردبیل طی دوره مورد مطالعه ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود روند SLP گرم‌ترین روزهای امواج گرمایی کاهش و روند HGT و Tmax افزایشی است. از بررسی منحنی‌ها چند نکته دریافت می‌شود از جمله این که مقایسه ۳ منحنی در نیمه نخست دوره نشان می‌دهد به احتمال زیاد عمده سامانه موجد امواج گرم در استان اردبیل از نوع حرارتی بوده و در سطح زمین پرفشار و در تراز میانی جو کم‌فشار حاکم بوده ولی در نیمه دوم دوره این الگو به هم خورده و بالاتر رفتن ارتفاع ژئوپتانسیل بیانگر حاکمیت سیستم دینامیکی و قرارگیری پراارتفاع در سطح بالا و پرفشار در سطح زمین است. هم‌چنین دمای امواج گرم متعاقب میل این امواج به سمت ماه‌های گرم، به‌مرور مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است.

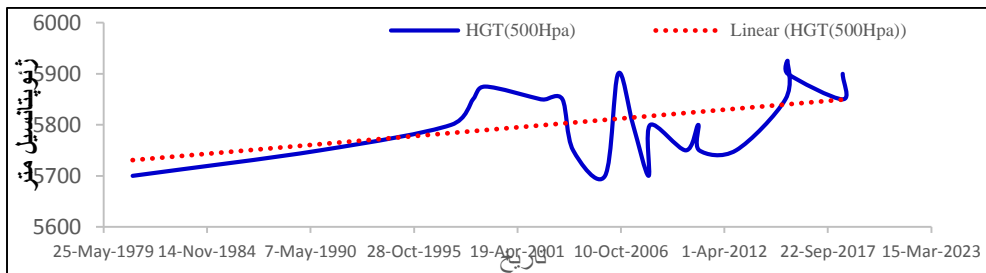
جدول ۵: ویژگی‌های امواج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روز در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۰ در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل

ردیف	زمان موج	تداوم موج	متوسط دمای موج	گرم‌ترین روز موج	دما در گرم‌ترین روز موج	ایستگاه متأثر از موج
۱	۴ الی ۸ دسامبر ۱۹۸۰	۵ روز	۱۷/۲	۶ دسامبر ۱۹۸۰	۲۰	اردبیل
۲	۳ الی ۷ نوامبر ۱۹۹۰	۵ روز	۲۱/۵	۶ نوامبر ۱۹۹۰	۲۲/۶	اردبیل
۳	۱۲ الی ۱۶ اکتبر ۱۹۹۷	۵ روز	۲۹/۷	۱۴ اکتبر ۱۹۹۷	۳۳	پارس‌آباد
۴	۷ الی ۱۱ دسامبر ۱۹۹۸	۵ روز	۱۹	۱۰ دسامبر ۱۹۹۸	۲۱/۲	اردبیل
			۱۸/۱		۲۰/۴	مشکین‌شهر
۵	۱ الی ۵ اوت ۱۹۹۹	۵ روز	۳۳	۴ و ۵ اوت ۱۹۹۹	۳۳/۲	اردبیل
۶	۱ الی ۶ اوت ۱۹۹۹	۶ روز	۳۹	۴ اوت ۱۹۹۹	۴۰/۴	پارس‌آباد
۷	۱۲ الی ۱۷ جولای ۲۰۰۲	۶ روز	۳۸/۵	۱۴ و ۱۵ جولای ۲۰۰۲	۳۹	پارس‌آباد
۸	۸ الی ۱۲ اکتبر ۲۰۰۲	۵ روز	۲۶/۹	۹ اکتبر ۲۰۰۲	۲۹/۶	مشکین‌شهر
۹	۱ الی ۵ سپتامبر ۲۰۰۳	۵ روز	۳۵/۳	۴ سپتامبر ۲۰۰۳	۳۵/۸	پارس‌آباد
۱۰	۲۴ الی ۳۰ مارس ۲۰۰۴	۷ روز	۲۲/۳	۲۸ مارس ۲۰۰۴	۲۴/۶	اردبیل
۱۱	۲ الی ۶ دسامبر ۲۰۰۵	۵ روز	۱۶/۶	۵ دسامبر ۲۰۰۵	۱۸/۶	اردبیل
۱۲	۹ الی ۱۵ اوت ۲۰۰۶	۷ روز	۳۸/۷	۱۴ اوت ۲۰۰۶	۴۰	پارس‌آباد
۱۳	۲۵ الی ۳۱ می ۲۰۰۷	۷ روز	۳۴	۳۰ می ۲۰۰۷	۳۵/۴	پارس‌آباد
۱۴	۲۲ الی ۲۷ مارس ۲۰۰۸	۶ روز	۲۲/۹	۲۴ مارس ۲۰۰۸	۲۵	مشکین‌شهر
۱۵	۲۱ الی ۲۷ مارس ۲۰۰۸	۷ روز	۲۳/۸	۲۵ مارس ۲۰۰۸	۲۶/۲	اردبیل
۱۶	۲۳ الی ۲۸ آوریل ۲۰۰۸	۶ روز	۲۹/۷	۲۷ آوریل ۲۰۰۸	۳۲	اردبیل
			۲۷/۵	۲۵ آوریل ۲۰۰۸	۲۹	مشکین‌شهر
۱۷	۱۲ الی ۱۶ مارس ۲۰۱۰	۵ روز	۲۴/۱	۱۵ مارس ۲۰۱۰	۲۷/۲	اردبیل
۱۸	۶ الی ۱۱ نوامبر ۲۰۱۰	۶ روز	۲۰/۴	۱۰ نوامبر ۲۰۱۰	۲۱/۲	اردبیل

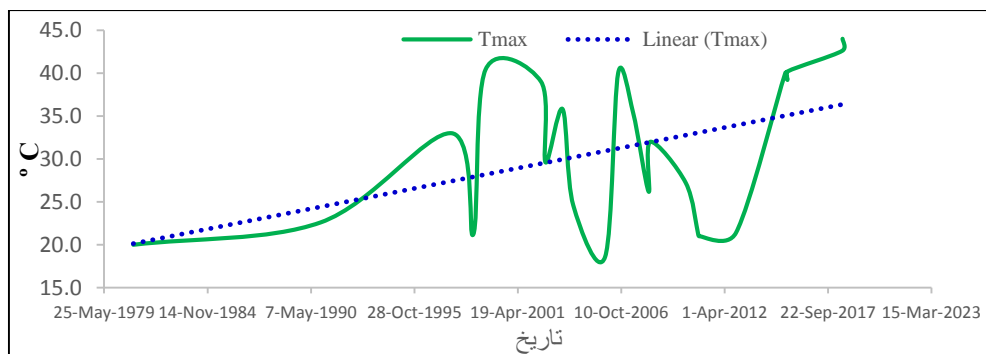
اردبیل	۲۱	۱ دسامبر ۲۰۱۰	۱۹/۳	۶ روز	۱ الی ۶ دسامبر ۲۰۱۰	۱۹
مشکین شهر	۲۰/۴	۲ دسامبر ۲۰۱۰	۱۷	۱۰ روز	۱ الی ۱۰ دسامبر ۲۰۱۰	۲۰
مشکین شهر	۲۱/۴	۱۰ نوامبر ۲۰۱۲	۱۹/۵	۶ روز	۶ الی ۱۱ نوامبر ۲۰۱۲	۲۱
پارس آباد	۴۰	۲۲ ژوئن ۲۰۱۵	۳۸/۶	۵ روز	۲۱ الی ۲۵ ژوئن ۲۰۱۵	۲۲
پارس آباد	۳۹/۲	۳ اوت ۲۰۱۵	۳۸/۷	۵ روز	۱ الی ۵ اوت ۲۰۱۵	۲۳
پارس آباد	۴۰/۲	۷ اوت ۲۰۱۷	۳۸/۹	۵ روز	۶ الی ۱۰ اوت ۲۰۱۷	۲۴
پارس آباد	۴۲/۶	۲۸ ژوئن ۲۰۱۸	۳۹/۵	۵ روز	۲۶ الی ۳۰ ژوئن ۲۰۱۸	۲۵
پارس آباد	۴۴	۴ جولای ۲۰۱۸	۴۲/۲	۵ روز	۱ الی ۵ جولای ۲۰۱۸	۲۶
مشکین شهر	۳۶	۱ جولای ۲۰۱۸	۳۴/۱	۶ روز	۱ الی ۶ جولای ۲۰۱۸	۲۷



شکل ۲: فشار سطح دریا در گرم‌ترین روزهای ۲۳ موج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه در استان اردبیل



شکل ۳: ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو در گرم‌ترین روزهای ۲۳ موج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه در استان اردبیل

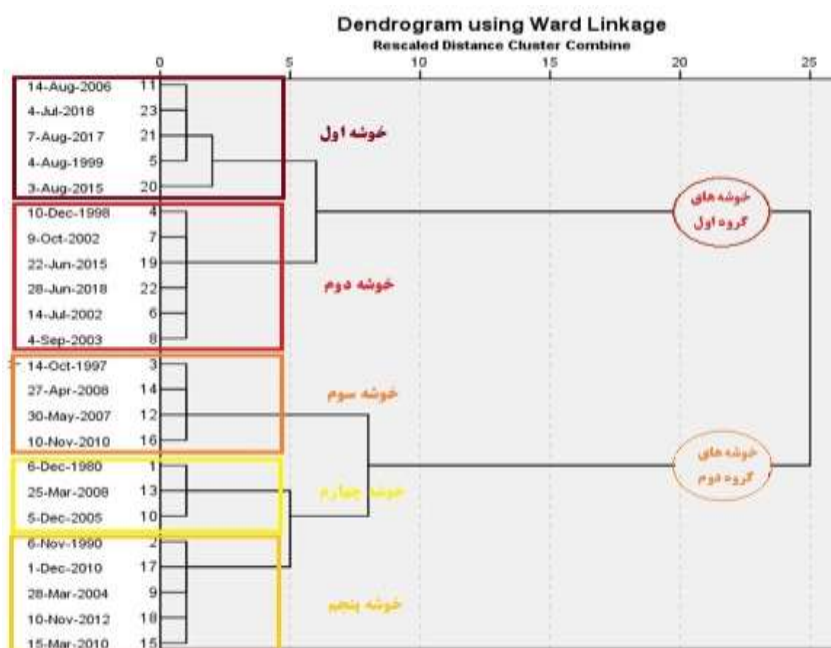


شکل ۴: دمای گرم‌ترین روزهای ۲۳ موج گرمایی با تداوم حداقل ۵ روزه در استان اردبیل

خوشه‌بندی امواج گرمایی استان اردبیل

با خوشه‌بندی گرم‌ترین روزهای ۲۳ موج گرم استان اردبیل طی دوره مورد مطالعه با استفاده از روش وارد و فاصله اقلیدسی، ۵ خوشه شناسایی شد که ۲ خوشه اول در گروه اول و ۳ خوشه در گروه دوم قرار گرفتند و به تحلیل همبندی الگوی دو روز شاخص در این دو گروه به‌عنوان نماینده گروه‌ها پرداخته شد. در خوشه اول که ۵ موج گرم را شامل می‌شود تماماً در تابستان بروز پیدا کرده است و بالاترین میزان دما به این خوشه تعلق دارد. میانگین دمای موج در این خوشه $40/76$ درجه سانتی‌گراد است. ارتفاع ژئوپتانسیل در این خوشه بالاترین مقدار مشاهداتی در محدوده مورد مطالعه یعنی 5900 متر و فشار سطح دریا در آن $1010/8$ هکتوپاسکال است. بررسی نقشه‌های همبندی حاکی از استیلای پرفشار جنب حاره و تسلط کامل آن بر عرض‌های میانی است که علت دمای بالای امواج در این خوشه همین مسئله است. خوشه دوم با داشتن ۶ موج، میانگین HGT 5850 متر و SLP $1010/2$ هکتوپاسکال، متوسط دمای موج‌ها در آن $34/7$ درجه سانتی‌گراد است. پدیده سینوپتیکی غالب در امواج این خوشه، استقرار سامانه‌های بندالی امگا و حلقه جریان آتش شکن در شرق اروپا تا روسیه است که نمود محسوس اثرات آن‌ها در محدوده مورد مطالعه، ایجاد و تداوم موج گرم است.

در خوشه سوم ۴ موج گرم قرار دارد. ارتفاع ژئوپتانسیل این خوشه کمتر از دو خوشه گروه اول و بیشتر از خوشه‌های چهارم و پنجم و فشار سطح دریا در آن بالاترین میزان ($1017/1$ هکتوپاسکال) را در بین همه خوشه‌ها دارد. بستگی به زمان سال این الگو با فراهم بودن شرایط و نفوذ پرفشار جنب حاره تا سطوح میانی جو در عرض‌های میانی با ایجاد شرایط پایداری به بروز موج گرم منتهی می‌شود. موج‌های واقع در خوشه‌های چهارم و پنجم تنها در ماه‌های سرد سال و در مارس، نوامبر و دسامبر به‌وقوع پیوسته‌اند و به‌تبع آن میانگین دمای امواج در آن‌ها $21/6$ و $23/4$ درجه سانتی‌گراد است. کمترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل خوشه‌ها به خوشه چهارم (به میزان 5700 متر) تعلق دارد.



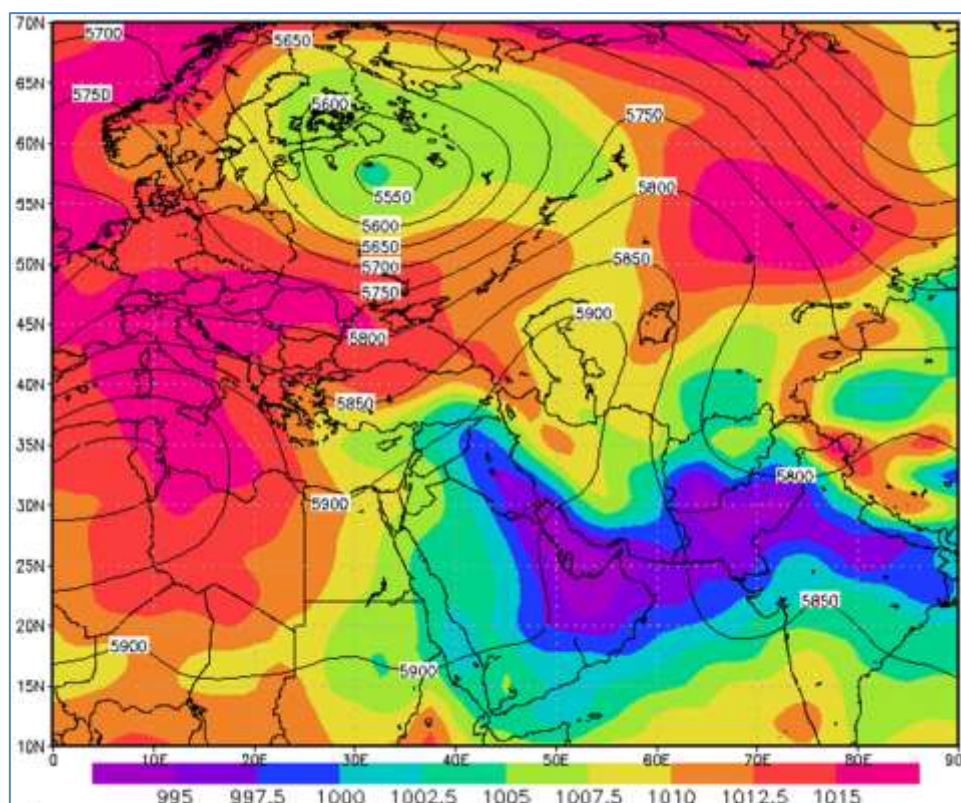
شکل ۵: نمودار دندروگرام گرم‌ترین روزهای امواج گرمایی با طول حداقل ۵ روزه در استان اردبیل

تحلیل همدیدی الگوی روز گرم شاخص خوشه‌های واقع در گروه اول

بررسی نقشه‌های فشار سطح زمین در روز ۴ جولای سال ۲۰۱۸ (شکل ۶) نشان می‌دهد پرفشار وسیعی بر روی مدیترانه و شمال آفریقا مستقر است که ضمن گسترش در جنوب اروپا، در حال ادغام با پرفشار مستقر در شمال دریاچه‌های آرال و بایکال روسیه است. زبانه شرق‌سوی پرفشار مستقر بر روی مدیترانه و شمال آفریقا از ترکیه و منطقه قفقاز وارد شمال غرب ایران شده و کم‌فشار غرب روسیه با فشار مرکزی ۱۰۰۲/۵ هکتوپاسکال را احاطه نموده است. کم‌فشار غرب روسیه یکپارچگی پرفشارهای مذکور را به هم زده و زبانه جنوب‌سوی آن از شمال خزر وارد ایران شده است. در این روز همچنین کم‌فشاری قوی‌تر در خلیج فارس و شبه‌جزیره عربستان با فشار مرکزی ۹۹۵ هکتوپاسکال شکل گرفته که با کم‌فشار حرارتی پاکستان (گنگ) ادغام شده است. در این الگو، استان اردبیل در مرز بیرونی سیستم‌های ذکر شده قرار داشته و از هر دو سامانه متأثر شده است. شیو فشار ایجاد شده موجب افزایش سرعت بادهای شمال شرقی و شرقی به استان اردبیل شده است (شکل ۸). حاکمیت کم‌فشار حرارتی با منشأ خلیج فارس و شبه‌جزیره عربستان در سطح زمین و استقرار پراارتفاع در غرب آسیا با منشأ آزور در تراز میانی جو منجر به انتقال هوای گرم از بیابان‌های عربستان و عراق به منطقه مورد مطالعه شده و رخداد موج گرمایی را در پی داشته است. جریان هوا با حرکت پادساعت از کم‌فشار خلیج فارس و شبه‌جزیره عربستان در راستای جنوب غربی-شمال شرقی به منطقه مورد مطالعه کشیده شده و به دلیل عبور از نواحی خشک و بیابان‌های عرض‌های پایین، هوای گرم و خشک را به منطقه مورد مطالعه منتقل کرده است. این مکش هوا و همگرایی هوای گرم از اطراف به منطقه مورد مطالعه در همراهی با افزایش دمای ناشی از نزول آدیاباتیک هوا به دلیل جریان و اچرخندی در زیر پراارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، گرمایش سطح زمین را تقویت و تشدید نموده و گرمایش زیاد سطح، متقابلاً ارتفاع ژئوپتانسیل را بالاتر برده است.

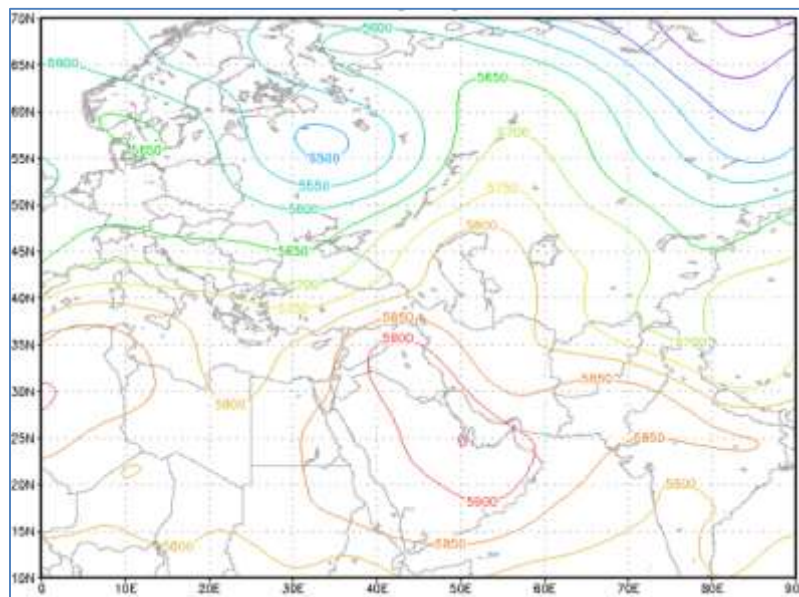
آرایش توپوگرافی تراز میانی جو نشان می‌دهد پربندی با ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی خزر و غرب ایران تا شمال قاره آفریقا بسته شده است. هم‌زمان یک ناوه در امتداد نصف‌النهار ۳۰ درجه طول شرقی با ارتفاع مرکزی ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر شکل گرفته که محور آن از غرب روسیه و شرق اروپا تا شمال مصر کشیده شده است. حرکت و اچرخندی ذیل زبانه پراارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر موجب ورود بادهای جنوب غربی در تراز میانی جو (شکل ۶) و نفوذ زبانه‌های پرفشار سطحی موجب ورود بادهای جنوب شرقی و شمال شرقی در سطح زمین (شکل ۸) به منطقه مورد مطالعه شده است. وزش بادهای جنوب غربی در سطح بالای جو حامل هوای بسیار گرم نواحی بیابانی شمال آفریقا و شبه‌جزیره عربستان و عراق به منطقه مورد مطالعه است. آرایش توپوگرافی پراارتفاع غرب آسیا و گردش و اچرخندی آن با نزول و فرونشینی هوا در زیر و افزایش بی‌درروی دما و تقویت و تشدید گرمایش سطحی و نیز انتقال هوای گرم بیابان‌های گرم عرض‌های پایین به نواحی بیابانی ایران به منطقه مورد مطالعه به همراه همگرایی سطحی در کم‌فشار، به بالا رفتن غیرمتعارف دمای هوا و افزایش ضخامت جو و وقوع موج گرم در استان اردبیل منجر شده است. با حاکمیت پراارتفاع غرب آسیا در تراز میانی جو، امکان صعود هوای گرم به دلیل فرونشینی هوا فراهم نشده و تشدید گرمایش سطحی با استمرار چندروزه این الگو، دما در

استان اردبیل فراتر از آستانه صدک ۹۵ ام باقی مانده و موج گرمایی به وجود آمده است. نقشه ضخامت جو نیز در روز ۴ جولای سال ۲۰۱۸ (شکل ۷) حاکی از استقرار بیشینه ضخامت جو و استخر هوای گرم در عربستان و عراق با ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر است که زبانه ۵۸۵۰ متری آن شمال غرب ایران و منطقه مورد مطالعه را تحت سیطره خود درآورده است که نشانه فرونشست هوا و گرمایش غیرمعمول آن به دلیل نزول آدیاباتیک هوا در منطقه است.

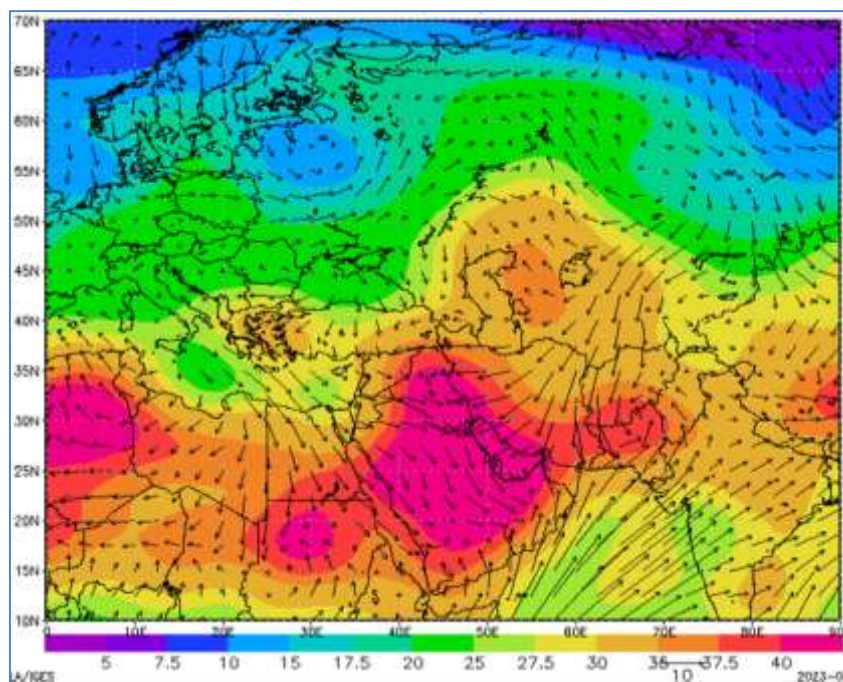


شکل ۶: وضعیت متوسط همیدی در روز شاخص الگوی گروه اول (۴ جولای سال ۲۰۱۸): متوسط فشار سطح دریا (رنگها بر حسب هکتوپاسکال)؛ متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کتورها بر حسب ژئوپتانسیل متر).

بررسی نقشه متوسط دمای سطح دریا (شکل ۸) نشان می‌دهد که یک هسته بیشینه هوای گرم در عربستان، خلیج فارس و عراق شکل گرفته که ادامه مرکز بیشینه دمای دو هسته‌ای افریقا بوده و منحنی هم‌دمای ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد آن به محدوده مورد مطالعه کشیده شده است. البته دمای ثبت شده ایستگاه پارس‌آباد در این روز رقم بی‌سابقه ۴۴ درجه سانتی‌گراد بوده است و این تفاوت ارقام به دلیل ارتفاع کم ایستگاه ناهمزمانی ساعت ترسیم نقشه دما با ساعت ثبت دما در ایستگاه می‌باشد. تطبیق نقشه متوسط دمای سطح دریا با نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل و نقشه ضخامت جو نشان می‌دهد که علت وقوع موج گرم در استان اردبیل، حاکمیت پراارتفاع غرب آسیا و به تبع آن، فرارفت هوای بسیار گرم و خشک شمال افریقا و عربستان و عراق به منطقه مورد مطالعه است. فرونشینی هوا، پایداری جو و گرمایش بی‌درروی هوای در حال نزول به افزایش گرمایش سطحی و افزایش ضخامت جو منجر شده که تشکیل کم‌فشار حرارتی سطحی حاصل آن است.



شکل ۷: وضعیت متوسط ضخامت جو (ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰) در روز شاخص الگوی گروه اول (۴ جولای سال ۲۰۱۸)

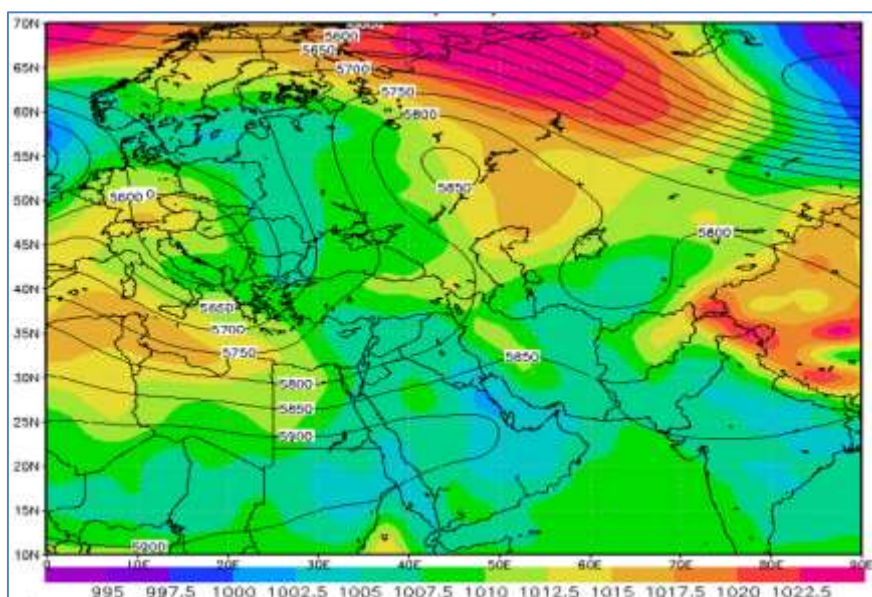


شکل ۸: وضعیت متوسط دمای سطح دریا در روز گرم شاخص الگوی گروه اول (۴ جولای سال ۲۰۱۸): (رنگها بر حسب درجه سانتی‌گراد)؛ خطوط جریان باد در تراز سطح زمین (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد هستند).

تحلیل همدیدی روز نماینده خوشه‌های گروه دوم

بررسی نقشه‌های فشار سطح زمین در روز ۳۰ می سال ۲۰۰۷ (شکل ۹) نشان‌دهنده فعالیت یک سیستم پرفشار در سبیری با فشار مرکزی ۱۰۲۲/۵ هکتوپاسکال است که زبانه جنوب غرب سوی آن روانه ایران شده است. در نقشه ژئوپتانسیل تراز میانی جو، یک فراز بلند در شمال غرب دریای خزر مستقر شده و تمام گستره ایران را متأثر نموده است. این فراز در غرب

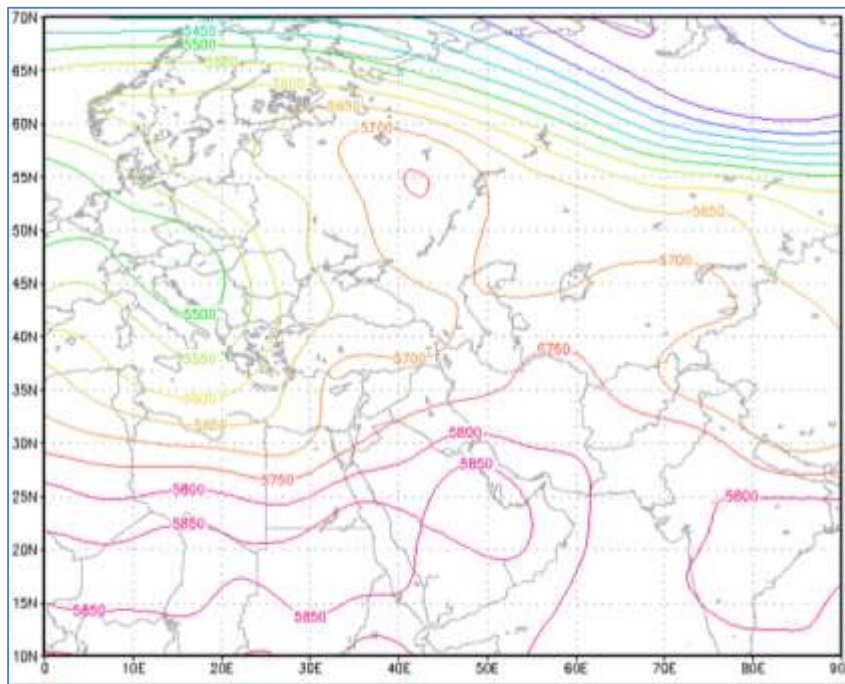
روسیه با پربند ژئوپتانسیل ۵۸۵۰ متر به صورت فراز بسته درآمده است. آرایش منحنی‌های هم‌ارتفاع در این تراز نشان‌دهنده الگوی بلوکنینگ شبه‌امگایی با حاکمیت بیشتر در گستره نیمه شمالی ایران تا غرب روسیه است و منطقه مورد مطالعه در نیمه غربی فراز مانع و بلوکنینگ شبه‌امگایی واقع شده است. استقرار این الگو موجب تداوم گردش واپرخندی و پخش و نزول هوای گرم به دام افتاده در عرض‌های بالا، انتقال هوای بسیار گرم با منشأ نواحی بیابان‌های گرم و وزش گرم (فرارفت گرم) به منطقه مورد مطالعه شده و نزول آدیاباتیک هوا در زیر این سامانه بندالی به افزایش دمای هوای در حال فرونشینی و ایجاد شرایط پایداری در منطقه مورد مطالعه منجر شده است. فرونشینی هوا با توجه به صاف و آفتابی بودن هوا و به طبع آن، دریافت بیشتر انرژی تابش خورشیدی موجب افزایش گرمایش سطح زمین شده و همین گرمایش سطحی با وجود پراارتفاع غرب آسیا به بالا رفتن فزاینده درجه حرارت منطقه منجر شده که نتیجه و اثر آن افزایش ضخامت جو است (شکل ۱۰). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از سمت غرب بلوکنینگ، هوای گرم عرض‌های پایین از روی صحرای گرم شمال آفریقا و عربستان و عراق به محدوده مورد مطالعه وارد شده (شکل ۱۱) و به جهت عبور از خشکی‌ها، حامل هوای گرم و خشک به این منطقه بوده است. استقرار پرفشار سطح زمین و پراارتفاع تراز میانی با ایجاد شرایط پایداری و حرکت پایین‌سوی هوا، ضمن انتقال هوای گرم به منطقه مورد مطالعه و افزایش دمای هوای در حال نزول، مانع صعود و تخلیه هوای گرم از منطقه شده و موجبات ایجاد ناهنجاری شدید دمایی و وقوع موج گرم در این منطقه را فراهم نموده است.



شکل ۹: وضعیت متوسط هم‌مدیدی در روز گرم شاخص الگوی گروه دوم (۳۰ می سال ۲۰۰۷): متوسط فشار سطح دریا (رنگ‌ها بر حسب هکتوپاسکال)؛ متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کنورها بر حسب ژئوپتانسیل متر).

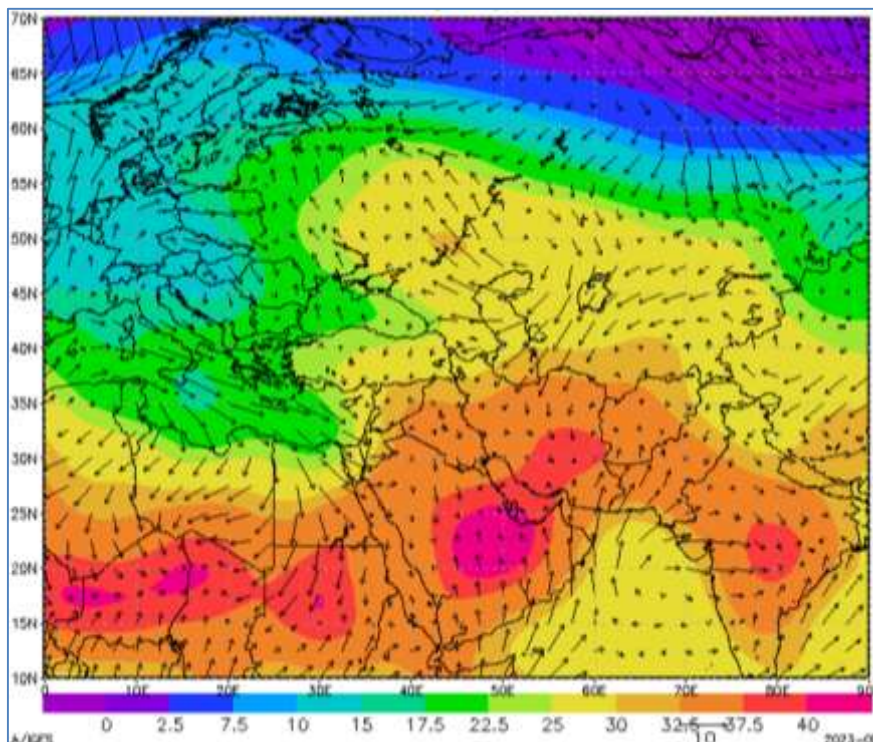
نقشه ضخامت جو نیز طی روز ۳۰ می سال ۲۰۰۷ (شکل ۱۰) حاکی از استقرار بیشینه ضخامت جو در ایران و کل منطقه مورد مطالعه به میزان ۵۷۰۰ تا ۵۷۵۰ ژئوپتانسیل متر است که این امر به‌خوبی نشان می‌دهد که محدوده مورد

مطالعه در معرض فرونشینی هوا و افزایش دما قرار دارد. الگوی نقشه به خوبی نشانگر استقرار هسته پرضخامت در غرب روسیه با ارتفاع ۵۷۵۰ متر و هسته پرضخامت تر در خلیج فارس و شمال عربستان با ارتفاع ۵۸۵۰ متر است. وجود هسته های پرضخامت مذکور حاکی از غلبه هوای گرم عرض های پایین و نفوذ آن به عرض های بالاتر است. اثر هسته پرضخامت غرب روسیه در منطقه به واسطه واگرایی، پخش و فرونشینی هوای گرم و خشک نفوذ یافته از عرض های پایین بر روی مناطق تحت سیطره خود و منطقه مورد مطالعه نمود پیدا کرده و ضمن ممانعت از صعود هوا به تقویت فرونشست هوا و پایداری هوا کمک کرده و موجب افزایش دمای هوا و ایجاد موج گرم در منطقه مورد مطالعه شده است.



شکل ۱۰: وضعیت متوسط ضخامت جو (ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰) در روز گرم شاخص الگوی گروه دوم (۳۰ می ۲۰۰۷)

نقشه دمای سطح زمین (شکل ۱۱) نشان می دهد که تمرکز و شدت بیشینه دما در منطقه عربستان و خلیج فارس و منطبق بر نواحی استقرار کم فشار حرارتی سطح زمین می باشد. با در نظر گرفتن این که بیشینه دمای هوا در این روز در محدوده مورد مطالعه - که در مدار بالاتری قرار دارد - تا ۳۰ درجه سانتی گراد نیز رسیده و در عین حال دمای هوا در کل گستره ایران هماهنگ با کاهش عرض جغرافیایی، مقادیر بیشتری را نشان می دهد لذا در این روز غالب مناطق کشور ایران دارای شرایط دمایی نامساعد هستند و این احتمال که کل ایران در این روز شاهد بی هنجاری دمایی و نفوذ موج گرمایی باشد، زیاد است. جهات باد در نقشه ژئوپتانسیل تراز بالا و نقشه ضخامت و نیز نقشه دمای سطح دریا نشان دهنده نفوذ هوای بسیار گرم عرض های پایین از مناطق بیابانی به منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۱۱: وضعیت متوسط دمای سطح دریا در روز گرم ۳۰ می ۲۰۰۷ نماینده الگوی گروه دوم: (رنگ‌ها بر حسب درجه سانتی‌گراد)؛ خطوط جریان باد در تراز سطح زمین (پیکان‌ها جهت وزش باد و طول پیکان‌ها معرف سرعت باد هستند)

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در مجموع در دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۰)، تعداد ۶۱ موج گرم در اردبیل، ۶۱ موج در پارس‌آباد و ۴۹ موج در مشکین‌شهر شناسایی گردید. با توجه به فراوانی زیاد امواج گرمایی ۳ روزه بر مبنای شاخص صدک ۹۵ ام حداکثر دما در استان اردبیل مقرر گردید امواج گرمایی با ماندگاری حداقل ۵ روز مبنای گزینش موج‌ها جهت انجام خوشه‌بندی باشد. بر این اساس و با لحاظ شرط تداوم موج به مدت حداقل ۵ روز، در مجموع ۲۷ موج در استان اردبیل شناسایی گردید. از ۲۷ موج گرمایی رخ داده، ماه‌های دسامبر و اوت هر کدام با ۵ موج بیشترین فراوانی موج گرمایی را داشته‌اند. شدیدترین موج گرمایی ثبت شده با دمای $۴۲/۲$ درجه در اواخر دوره و در ایستگاه پارس‌آباد مشاهده شده است. نکته قابل توجه شیب امواج گرمایی اواخر دوره به سمت ماه‌های گرم سال و تمرکز مکانی آن‌ها بر روی پارس‌آباد است که می‌تواند هشدار در خصوص تغییرات الگوهای حاکم بر جریان‌های هوا و احتمالاً تغییر اقلیم باشد. در خوشه‌بندی ۲۳ موج گرمایی و گرم‌ترین روزهای آن‌ها مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفتند. روند SLP این روزها، کاهشی و روند HGT و Tmax افزایشی است. مقایسه ۳ منحنی در نیمه نخست دوره نشان می‌دهد به احتمال زیاد عمده سامانه موجد امواج گرم در استان اردبیل از نوع حرارتی بوده و در سطح زمین پرفشار و در تراز میانی جو کم‌فشار حاکم بوده ولی در نیمه دوم دوره این الگو به هم خورده و بالاتر رفتن ارتفاع ژئوپتانسیل بیان‌گر حاکمیت سیستم دینامیکی و قرارگیری پراتفاق در سطح بالا

و پرفشار در سطح زمین است. همچنین دمای امواج گرم متعاقب میل این امواج به سمت ماه‌های گرم، به مرور مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است.

با خوشه‌بندی گرم‌ترین روزهای ۲۳ موج گرم استان اردبیل ۵ خوشه شناسایی شد که در دو گروه قرار گرفتند که نقش ارتفاع ژئوپتانسیل بارزتر از فشار سطح دریا بود. در ادامه به تحلیل همدیدی دو روز شاخص در این دو گروه به‌عنوان نماینده پرداخته شد. در الگوی اول در سطح زمین استقرار کم‌فشار حرارتی خلیج فارس و عربستان و ادغام آن با کم‌فشار پاکستان (گنگ) و استیلای پرارتفاع با پربند ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شمال افریقا و نیمه غربی ایران و تأثیرپذیری استان اردبیل از این سامانه‌ها، در قالب افزایش گردش و اچرخندی در تروپوسفر در حول پرارتفاع و فرونشینی هوا و افزایش درجه حرارت هوای نزولی و گرمایش آدیاباتیک و تشدید گرمایش سطحی ناشی از همگرایی کم‌فشار به‌علاوه بالا بودن ضخامت جو در بروز موج گرم در منطقه مورد مطالعه مؤثر بوده است. این یافته با نتایج پژوهش قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳)، قویدل رحیمی و رضایی (۱۳۹۴)، قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، رحیمی و همکاران (۱۳۹۶)، قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۸)، خسروی و اسمعیل‌نژاد (۱۳۹۹) و بیجندی و همکاران (۱۴۰۱)، چن و کنراد (Chen & Konrad, 2006)، بیبiana و همکاران (Bibiana et al. 2006) با کمی تفاوت همسویی و هماهنگی دارد و مؤید نتایج آنان است. در الگوی دوم که از نوع دینامیکی است ساختار حرارتی جو به هم ریخته و در سطح زمین نفوذ و استیلای زبانه‌ای از پرفشار سیبری و در تراز بالا استقرار پرارتفاع و سیستم مانع بر روی ایران و متأثر شدن منطقه از آن به جهت قرارگیری در پشت فراز و وزش گرم هوای مناطق بیابانی و فرونشینی هوا و گرمایش آدیاباتیک موجد امواج گرمایی با تداوم بیش از ۵ روز شده است. وجه مشترک الگوهای امواج گرمایی استان اردبیل ضخامت زیاد و ارتفاع بالای جو در روزهای وقوع این پدیده است که این عامل نشان‌دهنده فرونشینی شدید هوای گرم و افزایش دمای هوای نزولی طی آدیاباتیک بی‌دررو و متعاقب آن تشدید گرمایش سطحی ناشی از صاف و آفتابی بودن هوا و تجمع هوای بسیار گرم در محل و فراهم بودن شرایط برای ایجاد موج گرم می‌باشد.

منابع

- ۱- اعتمادیان، الهه؛ دوستان، رضا؛ زرین، آذر (۱۳۹۹)؛ نواحی امواج گرمایی ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال یازدهم، شماره چهل و دوم، صص ۳۰-۱۷.
- ۲- بهاروندی، نسیم؛ مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر (۱۳۹۹)؛ شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی-مکانی آن‌ها در ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره پنجاه و نهم، صص ۵۸-۳۹.
- ۳- بیجندی، مجید؛ دریاباری، سیدجمال‌الدین؛ رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ اربابی سزواری، آزاده (۱۴۰۱)؛ رخدادهای فرین امواج سرمایی و گرمایی مناطق شمال شرقی ایران طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال سیزدهم، شماره پنجاه، صص ۶۰-۴۱.

- ۴- خسروی، محمود؛ اسمعیل‌نژاد، مرتضی (۱۳۹۹)؛ واکاوی آماری - هم‌دیدگی موج گرمایی کم‌تداوم ایران، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، سال یکم، شماره دوم، صص ۳۳-۱۹.
- ۵- رحیمی، داریوش؛ میرهاشمی، حمید؛ علیزاده، تیمور (۱۳۹۶)؛ تحلیل ساختار امواج گرمایی در غرب و جنوب غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و هشتم، شماره بیست و سوم، صص ۸۰-۶۹.
- ۶- صلاحی، برومند؛ قدرتی، زینب (۱۳۹۷)؛ پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال یازدهم، شماره چهارم، صص ۴۸-۳۵.
- ۷- ظرافتی، هادی؛ قویدل رحیمی؛ فرج زاده اصل، منوچهر (۱۴۰۳)؛ واکاوی الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد دماهای فرین بالای ۵۰ درجه منطقه غرب آسیا، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۴، شماره ۷۲، صص ۴۴۶-۴۲۷.
- ۸- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)؛ شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۳، صص ۱۰۰-۸۵.
- ۹- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۴)؛ تحلیلی از مخاطره اقلیمی امواج ابر گرم سال ۱۳۸۹ استان خوزستان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۱، صص ۳۰۹-۲۸۹.
- ۱۰- قویدل رحیمی، یوسف؛ رضایی، محمد (۱۳۹۴)؛ جستاری پیرامون شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی استان کرمان. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره پنجاه و چهارم، صص ۲۷۷-۲۵۳.
- ۱۱- قویدل رحیمی، یوسف؛ سپه‌وند، راضیه؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۳)؛ شناسایی و تحلیل هم‌دیدگی امواج گرمایی فرین در غرب ایران، پژوهش‌های دانش زمین، سال پنجم، شماره هجدهم، صص ۱۰-۱.
- ۱۲- قویدل رحیمی، یوسف؛ ظرافتی، هادی؛ فرج زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۵)؛ کاربرد مدل RegCM4 در تحلیل ساختار سینوپتیک موج گرمای جولای ۲۰۰۰ استان خوزستان، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیستم، شماره ۱، صص ۲۸۶-۲۶۹.
- ۱۳- قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده اصل، منوچهر؛ قهرمانی، بشیر (۱۳۹۸)؛ کاربرد روش تحلیل مقادیر فرین در اقلیم‌شناسی مخاطره امواج گرمایی نیمه جنوبی ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره دوم، صص ۲۰-۱.
- ۱۴- کرم‌پور، مصطفی؛ رفیعی، جعفر؛ جعفری، ایوب (۱۳۹۶)؛ شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان و کرمانشاه)، مجله مدیریت مخاطرات محیطی، دوره چهارم، شماره سوم، صص ۲۷۹-۲۶۳.

- 15- Bibiana, S., Carolina, S., Vera, B., Liebmann, (2006): The Nature Of A Heat Wave In Eastern Argentina Occurring During SALLJEX. *Monthly Weather Review*, 135(3): 1165-1174.
- 16- Bumbaco, K., Nicholas, K., Dello, B. (2013): History Of Pacific Northwest Heat Waves, Synoptic Pattern And Trends, *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, 7, 1618-1631.
- 17- Campetella, C., Rusticucci, M. (1998): Synoptic Analysis Of An Extreme Heat Wave Over Argentina In March 1980. *Meteorological Applications*, 5: 217-226.
- 18- Chen, F., Konrad, C. (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.
- 19- Croitoru, A-E., Piticar, A., Ciupertea, A. F., Roșca, C. F. (2016): Changes In Heat Waves Indices In Romania Over The Period 1961–2015. *Global And Planetary Change*, 146, 109-121.
- 20- Dosio, A. (2017): Projection Of Temperature And Heat Waves For Africa With An Ensemble Of CORDEX Regional Climate Models. *Climate Dynamics*, 49 (1-2), 493-519.
- 21- Feudale, L., Shukla, JY. (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.
- 22- Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., King, L. (2015): Heat Wave Events Over Georgia Since 1961: Climatology, Changes And Severity. *Climate*, 3(2), 308-328.
- 23- Kovats, S. R., Ebi, L. K. (2006): Heat Waves And Public Health In Europe, *Eur. J. Public Health* 16. London.

- 24- NOAA. (2007): Natural Hazard Statistics, National Oceanic And Atmospheric Administration. Washington U.S.A
- 25- Rohini, P., Pajeevan, M., Mukhopahay, P. (2019): Future Projections Of Heat Waves Over India From CMIP5 Models. *Climate Dynamics*, 53, 975–988.
- 26- Russo, S., Sillmann, J., Fischer, E. M. (2015): Top Ten European Heatwaves Since 1950 And Their Occurrence In The Coming Decades. *Environmental Research Letters*, 10(12), 1- 15.
- 27- Seluchi, M., Norte, F., Gomes, J., Simonelli, S. (2006): Synoptic And Thermodynamic Analysis Of An Extreme Heat Wave Over Subtropical South America. *Proceedings Of 8 ICSHMO*, Foz Do Iguacu, Brazil, April 24-28, 2006, INPE, P 2009-2010.
- 28- Zampieri, M., Russo, S., Di Sabatino, S., Michetti, M., Scoccimarro, E., Gualdi, S. (2016): Global Assessment Of Heat Wave Magnitudes From 1901 To 2010 And Implications For The River Discharge Of The Alps. *Science Of The Total Environment*, 571, 1330-1339..