



Investigation and Synoptic Analysis of Heat Waves using some GCM Models in the Ardabil Plain

Zahra Imanzadeh Ajirlou¹, Bromand Salahi^{2*}

1. Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received Date: 22 February 2025 Accepted Date: 27 April 2025

Abstract

Background and Objective: Heat waves are among the most important climatic disasters that bring devastating environmental consequences every year. Heat waves are a very important climatic event that is likely to occur with greater frequency and intensity in the future. Therefore, in order to manage and reduce the effects of heat waves on a regional scale, it is necessary to analyze and predict changes related to heat waves. The aim of this paper is to identify, classify, and synoptically analyze heat waves and its long-term forecast in the Ardabil Plain.

Methodology: First, the 20-year long-term statistics of heat waves from 1995 to 2014 at the Ardabil synoptic station were prepared, and heat wave synoptic maps were extracted and analyzed using the Grads software. Using the LARS-WG model, possible heat waves were predicted in the next 38 years (2015-2050). The studies identified 25 heat waves during the 20-year period. To evaluate the model performance, observational and simulated data were compared in the base period (1995-2014).

Results and Findings: The results also showed that the usual time for the onset of heat waves is in early August. The results showed that the dominant patterns during the occurrence of heat waves include a zonal high pressure accompanied by a westerly wind wave ridge and a low pressure prevailing over the sea surface and the Pakistan and Saudi low pressure over the study area. The results also showed that the average annual maximum temperature of Ardabil during the statistical period from 2015 to 2050 will be about 13.68 degrees Celsius. According to the HadCM3 model, under the A1B scenario, the temperature is about 16.46, according to the IPCM4 model, under the B1 scenario, the temperature is about 16.54, and according to HADGEM, under the A2 scenario, the temperature is 16.55 degrees Celsius, with a difference of 0.01. The output of the aforementioned models showed that the temperature of the Ardabil plain will increase by an average of about 3 degrees Celsius by 2050.

Keywords GCMs, LARS-WG Model, Maximum Temperatures, Synoptic Analysis, Ardabil Plain.

* Corresponding Author: Salahi@uma.ac.ir

Cite this article: Imanzadeh Ajirlou, Z. and Salahi, B. (2026). Investigation and Synoptic Analysis of Heat Waves using some GCM Models in the Ardabil Plain. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(4), 434-448.

بررسی و تحلیل همدید امواج گرما با بهره‌گیری از برخی مدل‌های GCM در دشت اردبیل

زهرا ایمان زاده اجیرلو^۱ برومند صلاحی^{۲*}

۱. دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: امواج گرمایی از جمله مهم‌ترین بلایای آب و هوایی هستند که هر ساله پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را به همراه دارند. امواج گرمایی رویداد بسیار مهم اقلیمی هستند که احتمال دارد در آینده با فراوانی و شدت بیشتری به وقوع بپیوندند به همین دلیل به منظور مدیریت و کاهش اثرات امواج گرمایی در مقیاس منطقه‌ای، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات مربوط به موج گرمایی ضروری است هدف این مقاله شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل همدیدی امواج گرمایی و پیش‌بینی بلندمدت آن در دشت اردبیل می‌باشد.

روش‌شناسی: ابتدا آمار بلندمدت ۲۰ ساله ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ امواج گرمایی ایستگاه همدید اردبیل تهیه و نقشه‌های همدید موج‌های گرمایی با استفاده از نرم‌افزار گردس استخراج و تحلیل گردید. با استفاده از مدل LARS-WG امواج گرمایی احتمالی در ۳۸ سال آینده (۲۰۱۵-۲۰۵۰) پیش‌بینی گردید. برای ارزیابی عملکرد مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و یافته‌ها: بررسی‌ها تعداد ۲۵ موج گرمایی در طی دوره ۲۰ ساله را مشخص نمود. نتایج همچنین نشان داد که زمان معمول آغاز موج گرما در اوایل مردادماه است. نشان ثابت کرد که الگوهای غالب در زمان وقوع امواج گرمایی شامل پرفشار جنب‌حاره‌ای به همراهی پشته‌ی موج بادهای غربی و کم‌فشار حاکم بر سطح زمین و زبانه‌های فروبار پاکستان و عربستان بر روی منطقه مورد مطالعه است. همچنین نتایج نشان داد که میانگین دمای حداکثر سالانه‌ی اردبیل در طول دوره‌ی آماری ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ حدود ۱۳/۶۸ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد شد. بر اساس مدل HadCM3 تحت سناریوی A1B دما در حدود ۱۶/۴۶، بر اساس مدل IPCM4 تحت سناریوی B1 دما در حدود ۱۶/۵۴ و بر اساس HADGEM تحت سناریوی A2 نیز با ۰/۰۱ اختلاف عدد ۱۶/۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. خروجی مدل‌های مذکور نشان داد که دمای دشت اردبیل تا سال ۲۰۵۰ به‌طور متوسط حدود ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: دماهای حداکثر، تحلیل سینوپتیک، دشت اردبیل، گردش عمومی جو، مدل LARS-WG

* نویسنده مسئول: salahi@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: ایمان زاده اجیرلو، زهرا و صلاحی، برومند (۱۴۰۴). بررسی و تحلیل همدید امواج گرما با بهره‌گیری از برخی مدل‌های GCM در دشت اردبیل. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۴)، ۴۳۴-۴۴۸.

۱- مقدمه و بیان مسأله

براساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم میانگین دمای سطح زمین از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۱ به‌طور میانگین ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است که این نرخ افزایش دما از دهه ۱۹۷۰ شتاب گرفته است (Allen et al, 2018). همچنین پیش‌بینی می‌شود که این روند گرم شدن کره زمین در طول قرن ۲۱ ادامه داشته باشد (Abhashina and toros, 2016). از میان مخاطرات اقلیمی امواج گرمایی از جمله خطرناک‌ترین تهدیدات اقلیمی مرتبط با گرم شدن کره زمین است که بر زندگی انسان از جمله معماری، آسایش، ترابری، کشاورزی و صنعت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (حسین پور، ۱۴۰۲).

موج گرمایی به‌صورت یک توده هوا عمیق با بالای یک ناحیه را در برمی‌گیرد، این توده هوا گرم گاهی چند روز در یک ناحیه مستقر شده و باعث افزایش دمای آن ناحیه می‌شود (شادمان، ۱۳۹۱). موج گرمایی یک رویداد بسیار مهم اقلیمی است که احتمال دارد در آینده با فراوانی و شدت بیشتری به وقوع بپیوندد به همین دلیل به‌منظور مدیریت و کاهش اثرات امواج گرمایی در مقیاس منطقه‌ای، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات مربوط به موج گرمایی ضروری است (بهاروند، ۱۴۰۳). روش‌های مختلفی برای پیش‌نگری داده‌های آب و هوایی در دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جوی (GCM) می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). مدل‌های گردش عمومی (GCM) داده‌های آب و هوایی را در سطوح بزرگ شبیه‌سازی می‌کنند و برای پیش‌نگری داده‌های اقلیمی با قدرت تفکیک بالا نیاز به ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM در مقیاس ایستگاهی وجود دارد. روش‌های ریزمقیاس نمایی به چهار گروه دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی می‌شود (Wilby, 2007). مشاهدات حاکی از آن است که امواج گرمایی در سال‌های اخیر در دشت اردبیل وقوع زیادی دارد (الوان، ۱۳۹۳). مطالعات زیادی در زمینه بررسی امواج گرمایی و تغییرپذیری آن در داخل و خارج از ایران انجام گرفته از جمله: Weihe et al (2014) به بررسی تأثیر کاربری زمین به امواج گرمایی، سال ۲۰۱۱، در گیتر هیستون پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده فاصله خط ساحلی با مناطق به شدت توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه دارد و آب‌های آزاد نیز بر حداقل دمای روزانه تأثیرگذار است.

A. Anei et al (2017) به بررسی آثار امواج گرمایی و سرمای بر بخش تولید انرژی پرداختند. بر اساس نتایج پژوهش مشخص شد رخداد امواج گرمایی و سرمای باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود. Feron et al (2019) به بررسی آماری رخداد امواج گرمایی در جنوب آمریکا پرداخت. نتایج پژوهش نشان داد در طی دوره اخیر روزهای گرم سال نسبت به گذشته دو برابر شده است. Rohani (2019) تأثیر تغییر اقلیم را بر روی امواج گرمایی در هندوستان با استفاده از گزارش پنج تغییر اقلیم (CMIP5) مورد بررسی قرار داد. نتایج پژوهش نشان از افزایش موج گرمایی طی سال‌های آینده است. Tompson et al (2022) موج گرمایی که در سال ۲۰۲۱ در غرب آمریکای شمالی رخ داده را بررسی نمودند و طبق بررسی آن‌ها رویدادهای حدی افزایش خواهد یافت و در مناطقی که در آن‌ها موج گرمایی رخ نمی‌داد احتمال رخ دادن قریب‌الوقوع آن وجود دارد. صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷) به پیش‌نگری و تحلیل امواج گرمای شهر زنجان با استفاده از ریزگردانی LARS-WG و شاخص بالدی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که بر اساس شاخص‌های MAE ، $RMSE$ ، R^2 و آزمون کولموگروف پیش‌نگری صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه از دقت بالای برخوردار است. همچنین نتایج پژوهش بیانگر این است که بر اساس دو مدل BCM2 و HadCM3 در شهر زنجان موج‌های گرمایی و ویژگی این موج‌ها رو به افزایش است.

خاتمی زرنند و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از چند روش آماری به تحلیل نوسانات زمانی و امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران و ارتباط آن‌ها با گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم جهانی پرداختند. نتایج پژوهش بیانگر روند افزایشی و معنادار شدت و فراوانی وقوع امواج گرمایی در منطقه مورد مطالعه است. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی آماری امواج گرمایی شهر زابل پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که روند رخ داد امواج گرمایی رو به افزایش است و تعداد امواج گرمای کم‌دوام در طول دوره آماری نسبت به امواج گرمایی بادوام؛ بیشتر رخ داده است.

رضائی بنفشه و ملکی مرشت (۱۴۰۱) به تحلیل و پیش‌نگری امواج گرمایی شهرهای منتخب شمال غرب ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی SDSM و شاخص بالدی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین حداکثر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. خرم‌آبادی و همکاران

(۱۴۰۱) به پیش‌بینی نوسانات گرمایی در ایستگاه جلفا با استفاده از مدل اقلیمی تحت سناریوی RCP8.5 پرداخت. نتایج نشان داد امواج گرمایی در دوره آتی نسبت به دوره پایه دارای توزیع نرمالی می‌باشد. از طرف دیگر بر اساس پیش‌نگری مدل‌های اقلیمی دمای امواج گرمای سالانه در دوره گرم سال به سوی گرمای بیشتر پیش می‌رود.

ملکی مرشت و سبحانی (۱۴۰۲) به بررسی و تحلیل امواج گرمایی شهر اردبیل و تبریز پرداختند؛ و سپس برای پیش‌بینی آینده این دو شهر از مدل اقلیمی CanEsm2 استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد تداوم امواج گرمای در هر دو شهر کوتاه بوده (حداکثر چهار روز) و در اقلیم آینده در اردبیل چهار روز و در تبریز پنج روز خواهد بود. حسین‌پور و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به تبیین فراوانی، توزیع زمانی، استمرار امواج گرمایی و شناسایی روند رخداد این پدیده در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد در روش انحراف نرمال شده دما تعداد موج‌های گرمایی بیشتر نسبت به روش صدک ثبت گردید، ولی با این وجود در روش صدک شناسایی موج‌های گرمایی در دوره سرد سال نمایان‌تر بوده است.

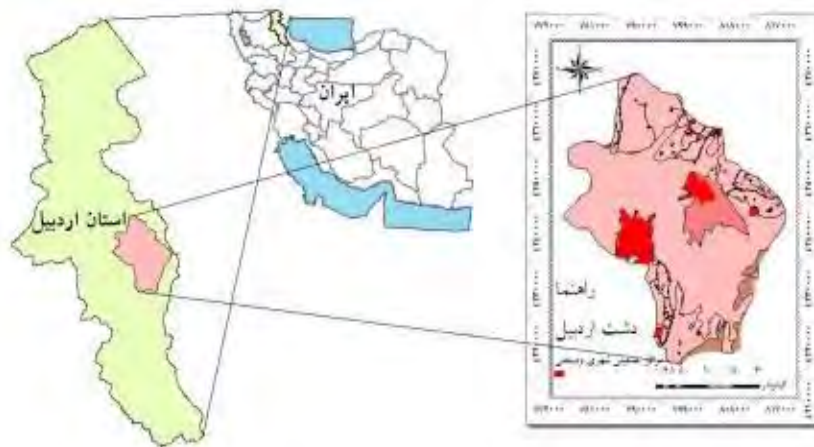
سبحانی و دل‌آرا (۱۴۰۳) به بررسی تأثیر الگوی جوی مختلف بر تغییرات امواج گرمایی در شهرستان نیر پرداختند. نتایج نشان داد که منشأ حرکت موج گرمایی از شمال شرق آفریقا بوده و به سمت منطقه مورد مطالعه کشیده شده است و در منطقه مورد مطالعه همگرایی امواج گرمایی رخ داده و بر میزان دما افزوده شده است.

بهاروند و همکاران (۱۴۰۳) به شبیه‌سازی و پیش‌نگری امواج گرمایی آینده بر پایه مدل‌های گردش عمومی جو پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در مجموع، بین نقشه‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده همسانی خوبی وجود دارد. میانگین امواج گرمایی پیش‌نگری شده در مناطق مختلف کشور بین ۲ تا ۱۲ رخداد خواهد بود که بیشترین آن‌ها در ایستگاه‌های شیراز، شهرکرد و امیدیه قرار دارند. هدف از پژوهش حاضر تحلیل و پیش‌بینی امواج گرمایی دشت اردبیل به‌منظور پیش‌نگری زمان رخداد و بررسی ویژگی‌ها آن‌ها می‌باشد که نتایج آن‌ها می‌تواند در مطالعات و برنامه‌ریزی کارشناسان و مدیران در بخش‌های مختلف آب، کشاورزی، مدیریت شهری و محیط زیست یاری نماید.

۲- روش تحقیق

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت اربیل در شمال غربی فلات ایران و در قسمت شرقی فلات آذربایجان در بخش مرکزی استان اردبیل قرار دارد. این دشت با مساحتی بالغ بر ۹۰۰ کیلومترمربع در منطقه‌ای سردسیر قرار دارد؛ که حدود ۲/۳ درصد آن را بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل داده است. دشت اردبیل در پست‌ترین قسمت خود در حوالی پل سامیان ۱۲۹۴ متر از سطح دریای آزاد اختلاف ارتفاع دارد و حوزه آبریز آن معادل ۸۵۳ کیلومترمربع بوده که از شمال به ارتفاعات مرزی بین ایران و آذربایجان، از شرق به ارتفاعات تالش از جنوب به آریا چای و از غرب به دامنه کوه سبلان ختم می‌شود. محدوده مورد مطالعه بین ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۸ درجه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (الوان، ۱۳۹۳). دشت اردبیل از شمال با شهرستان گرمی و از مشرق با استان گیلان از طریق شهرستان نمین و رشته‌کوه‌های طالش و از جنوب نیز با شهرستان خلخال و از غرب با شهرستان نیر هم‌جوار است (شکل ۱). جدول ۱ نیز مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سال تاسیس
اردبیل	سینوپتیک	۴۸/۱۹	۳۸/۱۳	۱۳۳۵	۱۳۵۵

(منبع: اداره کل هواشناسی اردبیل).

در این تحقیق ابتدا داده‌های روزانه ایستگاه اردبیل شامل دمای حداکثر روزانه، دمای حداقل روزانه، متغیرهای بارش روزانه و ساعت آفتابی طی دوره زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ از سازمان هواشناسی اردبیل اخذ گردید. برای اجرای مدل LARS - WG در تحقیق حاضر، ابتدا داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ایستگاه اردبیل از داده‌های دوره پایه ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۴)، اخذ گردید. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها فایل ورودی تهیه شد و مدل بر روی دوره پایه اجرا شد و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن به پایان رسید. در مرحله بعدی از داده‌های دمای حداکثر روزانه، در محیط^۱ از طریق فیلترگذاری، دمای بالای ۳۵ درجه سانتی‌گراد (روزهای گرمای فرین) در بازه زمانی ۲۰ ساله استخراج گردید، سپس روند خطی^۲ و چندجمله‌ای^۳ مرتبه ششم برای روزهای با دمای بالای ۳۵ درجه ترسیم شد. سپس داده‌های مورد نیاز جهت ترسیم نقشه‌های هوا برای روزهای نماینده در محیط نرم‌افزار گرادس^۴ از وب‌سایت نوا^۵ اخذ گردید. نقشه‌های هم‌فشار سطح زمین (SLP) نقشه‌ی هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT)، دمای هوای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی (Composite) و ضخامت سطح میانی جو و سطح زمین (۵۰۰ - ۱۰۰۰ متر) در نرم‌افزار فوق ترسیم شد. موقعیت سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار و استقرار و حرکت پشته‌ها در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو و پرفشار جنب‌حاره‌ای و عملکرد آن‌ها در گسترش هوای گرم که باعث ایجاد دماهای بالا می‌شود مورد تجزیه و تحلیل سینوپتیکی قرار گرفت (ایمان-زاده اجیرلو، ۱۳۹۵).

برای ارزیابی عملکرد مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای اجرای مدل LARS - WG، مرحله کالیبره کردن پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل ورودی انجام شد،

1 EXCEL

2 Linear

3 polynomial

4 GRADS

5 NOAA

سپس از داده‌های مدل گردش عمومی جو مدل HadCM3 تحت سناریوی A1B (IPCM4) سناریوی B1 و HADGEM نیز سناریوی A2 برگزیده شد. مقادیر دما برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۲ شبیه‌سازی گردید و تغییرات هر دوره با مقادیر پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت آنالیز آماری با استفاده از شاخص‌های تبیین (R^2) مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) انجام گرفت، بهترین مقدار ضریب تبیین برابر یک (محاسبه با رابطه ۱) و بهترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا برابر صفر (محاسبه با روابط ۲ و ۳) می‌باشد (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^k X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^k X_k^2 \sum_{k=1}^k Y_k^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^k (X_k - Y_k)^2}{k}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

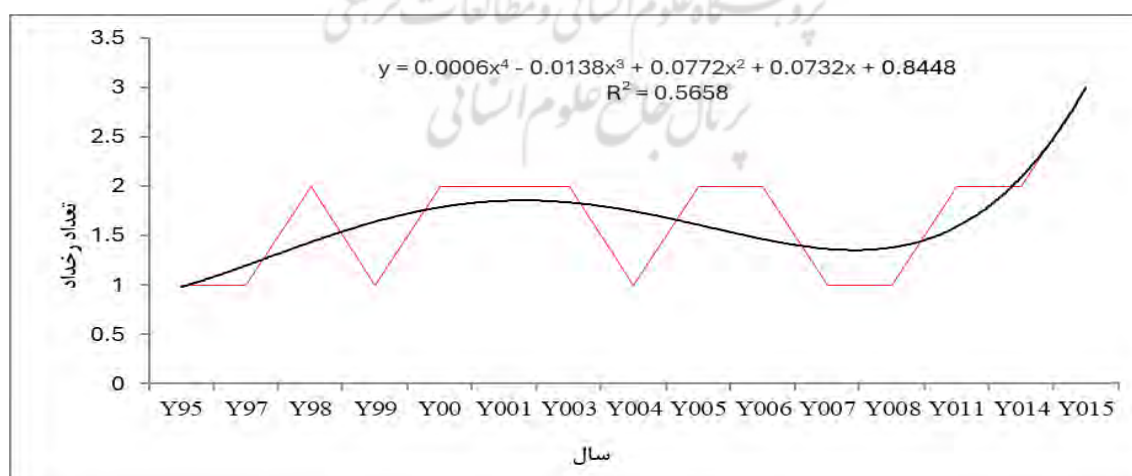
$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^k |X_k - Y_k|}{k} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط فوق X_k مقادیر مشاهداتی، Y_k مقادیر شبیه‌سازی شده و k تعداد داده‌ها می‌باشد که نتایج مربوط به ارزیابی در قسمت بحث و نتایج آورده خواهد شد. همچنین شبیه‌سازی و تولید یا پیش‌بینی داده‌ها برای دوره‌های مختلف نیز از جمله موارد بخش‌های ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی می‌باشد که در این پژوهش، داده‌های ورودی ایستگاه اردبیل را شامل گردید و مدل بر اساس این داده‌ها اجرا شد (ایمان‌زاده اجیرلو، ۱۳۹۵).

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- تعداد رخداد موج گرم

شکل ۲ نشان می‌دهد که تعداد امواج گرمایی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ در کل افزایش یافته است ولی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ یعنی یک دوره‌ی سه ساله شاهد روند نزولی و پس از آن تا سال ۲۰۱۵ روند رو به رشد و صعودی را در مورد امواج گرمایی بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده می‌نماییم.



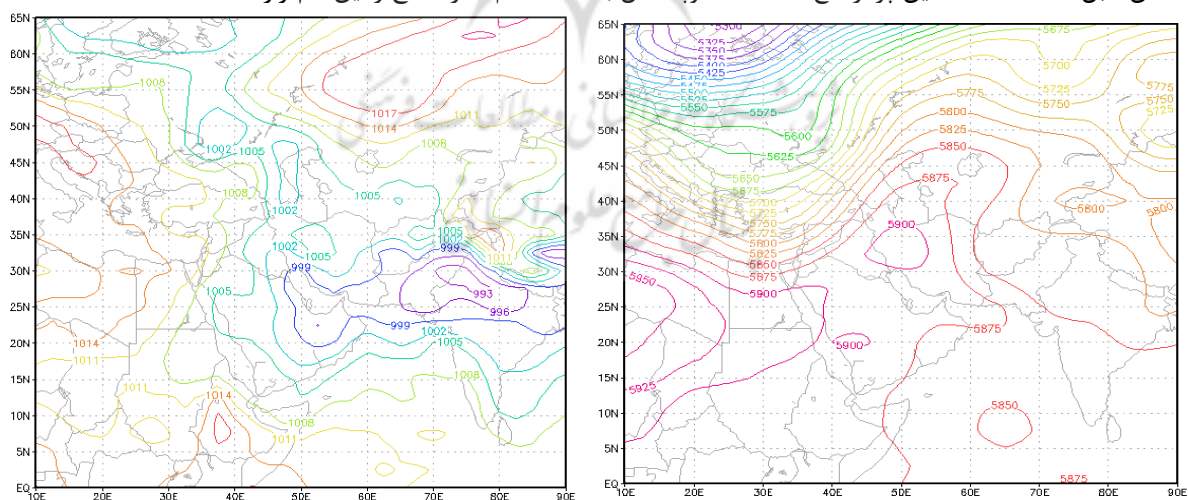
شکل ۲: نمودار تعداد روزهای رخداد موج گرما طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ با دمای ۳۵ درجه سانتی گراد و بالاتر ایستگاه اردبیل (منبع: نگارندگان)

۳-۲- تحلیل سینوپتیکی وضعیت فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، پراکندگی دما و نقشه ضخامت (۲۱ ژوئن ۲۰۱۴)

نقشه تراز سطح دریا شکل (۳)، برای روز ۲۱ ژوئن ۲۰۱۴ می‌باشد طوری که حداکثر دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل $38/2$ درجه سانتی‌گراد را نشان داده است. الگوی فشار متوسط تراز دریای در طی امواج گرمایی شدید حاکمیت سامانه کم-فشار است. مناطق جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق کشور پاکستان و هندوستان در داخل کم‌فشار بسته‌ای قرار دارند که فشاری بالغ بر ۹۹۹ هکتوپاسکال دارد. مرکز اصلی کم‌فشار مذکور بر روی مرز بین پاکستان و هندوستان قرار گرفته احتمال قوی کم‌فشار مذکور فروبار حرارتی پاکستان است که در فصل گرم نتیجه افزایش زاویه تابش خورشید و انتقال دینامیکی آזור به ارتفاع بالاتر شکل گرفته است؛ که زبانه‌ای از کم‌فشار مذکور با فشار ۱۰۰۲ هکتوپاسکال منطقه مورد مطالعه گسترش یافته است (ایمان‌زاده اجیرلو، ۱۳۹۵).

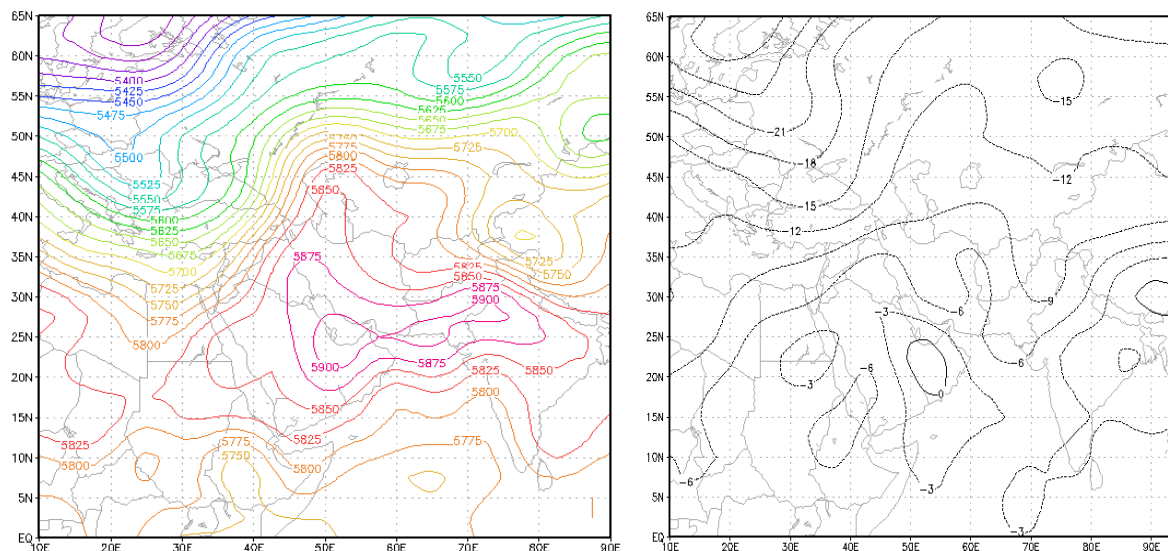
بررسی نقشه هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۱ ژوئن ۲۰۱۴ شکل (۴)، حاکی از گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای آזור به طرف عرض‌های بالا است. گردش بادهای غربی سبب تشکیل پشته‌ای با جهت شمالی و جنوبی تا شمال دریای خزر کشیده شده است و ارتفاع این پشته در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی خاورمیانه و منطقه مورد مطالعه ۵۸۵۰ دکامتر است منطقه مورد مطالعه ما در محور پشته قرار دارد و پشته همراه با پربند پراارتفاع ۵۹۰۰ دکامتر شمال غرب کشور ایران را فرا گرفته است هم‌تراز است. وجود این سامانه پربند با توجه به نزول هوا به‌صورت آدیاباتیکی بر روی منطقه مورد مطالعه، سبب شکل‌گیری آسمان صاف و افزایش درجه حرارت شده است. به‌طوری‌که در امواج گرمایی شدید کشور ایران به‌طور کامل تحت استیلای این سامانه قرار گرفته و مرکز آن بر روی ایران بسته شده است به‌طور کلی وجود پشته دینامیکی آזור همراه با نزول و فرونشینی هوا از عرض‌های پایین‌تر عربستان به روی ایران شرایط پایداری را موجب شده است (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴). محور پشته‌ها که دارای حداقل چرخندگی یا تاوایی متمرکز است. نقشه دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل (۵)، تراز منحنی میزانی که از منطقه مورد مطالعه می‌گذرد ۹- درجه سانتی‌گراد است که نشان دهنده افزایش زیاد ضخامت جو در منطقه مورد مطالعه است.

نقشه متوسط ضخامت جو شکل (۶)، در طول دوره‌ی زمانی حاکمیت موج گرما نیز نشان دهنده افزایش زیاد ضخامت جو در زمان استقرار موج بوده و پربندی با ارتفاع ۵۹۰۰ هکتوپاسکال در جهت شمال شرقی - غربی بر روی عربستان، خلیج فارس و پاکستان قابل مشاهده است. این پر ارتفاع ۵۹۰۰ هکتوپاسکال با منطقه کم‌فشار سطح زمین هم‌تراز است.



شکل ۳: نقشه فشار تراز سطح دریا (منبع: نگارندگان)

شکل ۴: نقشه هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منبع: نگارندگان)



شکل ۵: نقشه پراکندگی دما تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منبع: نگارندگان) شکل ۶: نقشه ضخامت ۱۰۰۰ - ۵۰۰

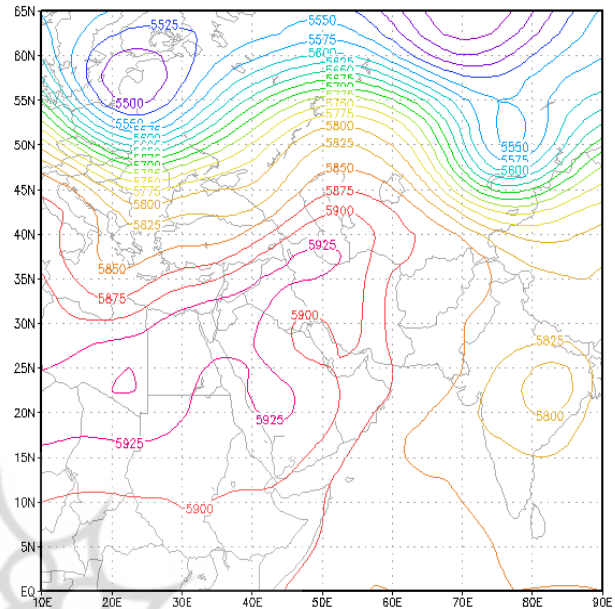
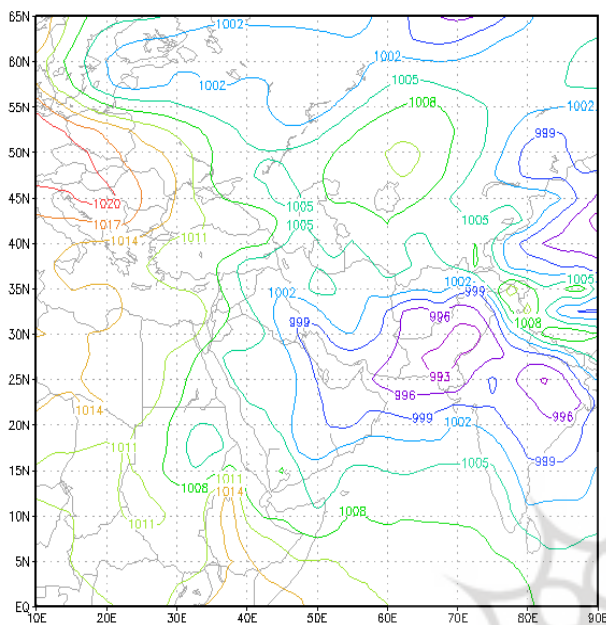
هکتوپاسکال (منبع: نگارندگان)

۳-۳- تحلیل سینوپتیکی وضعیت فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، پراکندگی دما و نقشه ضخامت (۱۰ جولای ۲۰۱۵)

بررسی نقشه سطح دریا شکل (۷)، نشان می‌دهد که الگوی فشار متوسط دریا در طی موج گرمایی شدید حاکمیت سامانه کم‌فشار است. مناطق جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق، پاکستان تا شمال هندوستان در داخل هم‌فشارهای بسته‌ای با کم‌فشاری بالغ بر ۹۹۹ هکتوپاسکال قرار دارند. این کم‌فشار مذکور دارای دو سلوله بوده که مرکز اصلی کم‌فشار مذکور بر روی پاکستان و غرب هندوستان با فشار مرکزی ۹۹۳ هکتوپاسکال بسته شده که با شار مستقر بر روی شمال شرق هندوستان که دارای جریانات چرخندی است، یکپارچه می‌گردد. منطقه مورد مطالعه ما نیز تحت تأثیر زبانه‌های شمال غرب سوی کم‌فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال قرار گرفته است (ایمان‌زاده اجیرلو، ۱۳۹۵). کم‌فشار گنگ بخشی از گردش موسمی هند است. شکل‌گیری این کم‌فشار از اوایل اردیبهشت آغاز می‌شود. در اواخر تیر به اوج خود می‌رسد. به سبب استقرار پرفشار آזור، گرمایش بی‌دررو از یک سو و پایداری هوا و افزایش تابش‌های کوتاه دریافتی به دلیل نبود آب از سوی دیگر، به گسترش این سامانه کم‌ضخامت و کم‌فشار به سوی شمال غرب منجر می‌شود. وجود هسته‌های فرعی از پرفشار مهاجر بر روی شمال دریاچه اورال مانع ریزش هوای خنک‌تر عرض‌های بالا بر روی منطقه شده و استیلای کم‌فشار مذکور را در سطح زمین تداوم بخشیده است (ثنایی و همکاران، ۱۳۹۴).

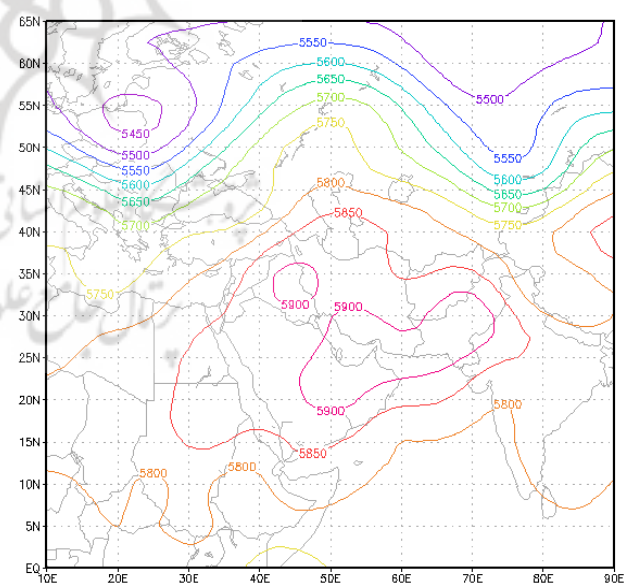
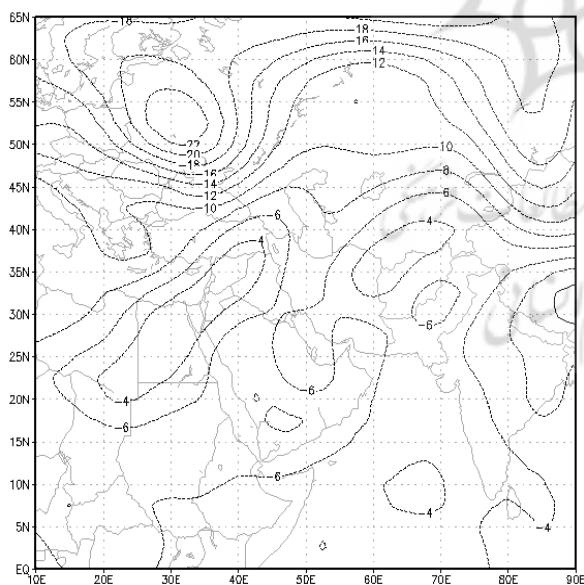
نقشه هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۰ جولای ۲۰۱۵ شکل (۸)، حاکی از گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای به طرف عرض‌های بالاست. مشاهده تراز میانی جو هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی شدید در منطقه مورد مطالعه بیانگر شکل‌گیری پراارتفاع دینامیکی آזור با یک هسته بسته بر روی ایران است. خط هم‌ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل از شمال الجزایر به سوی نواحی لیبی، مصر، جنوب دریای مدیترانه، عراق، سوریه، شمال ایران و جنوب دریای خزر از نیمه جنوبی ایران تا عراق امتداد یافته است. در نتیجه تمام نواحی واقع در زیر خط تحت تأثیر جریانات پراارتفاع قرار دارند. گردش بادهای غربی سبب تشکیل پشته‌ای با جهت شمالی و جنوبی تا روی دریای خزر شده است. ارتفاع این پشته در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه مورد مطالعه ۵۸۵۰ متر است. وجود پشته دینامیکی آזור همراه با فرونشینی هوا بر روی ایران شرایط پایداری را موجب شده است. به علاوه قوی‌تر بودن پراارتفاع بر روی شمال ایران، سبب شکل‌گیری هسته گرم با جهت شمال شرق و غربی و گسترش مکانی بیشتر شده است (ایمان‌زاده اجیرلو، ۱۳۹۵).

شکل (۹)، نقشه دمای هوای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان داده و همراهی جریانات گرم و خشک که منجر به بالا رفتن دمای سطح زمین شده و پایین بودن دمای سطح ۵۰۰ منجر به رخداد این پدیده شده است. با توجه به وضعیت جو در شکل (۱۰)، متوسط ضخامت جو مشخص شده است که الگوی حاکم در طول موج گرمایی شدید استقرار پربندی ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متری منطبق با کم‌فشارهای سطح زمین است.



شکل ۷: نقشه فشار تراز سطح دریا (منبع: نگارندگان) شکل ۸: نقشه هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

(منبع: نگارندگان)



شکل ۹: نقشه پراکندگی دما تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۱۰: نقشه ضخامت ۱۰۰۰ - ۵۰۰ هکتوپاسکال

۳-۴- ارزیابی و صحت سنجی بر روی ایستگاه اردبیل

ارزیابی توان شبیه‌سازی داده‌ها بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و P-Value در جدول ۱ آورده شده است. در این شبیه‌سازی، مدل بر اساس داده‌های مشاهداتی، شبیه داده‌های وارد شده را می‌سازد. P-Value اگر بیشتر یا مساوی ۰/۵ باشد معنی‌دار است که نشان می‌دهد در تمامی ماه‌ها مدل به خوبی عمل کرده است و نتیجه‌ی آن ۱ یا نزدیک به ۱ بوده است و در صورتیکه کولموگروف-اسمیرنوف بین ۱/۹۶+ و ۱/۹۶- باشد نشانگر شبیه‌سازی درست بوده که در این پژوهش، به صفر تمایل دارد و مشخص می‌کند شبیه‌سازی درست صورت گرفته و مؤید معنی‌داری و نرمال بودن توزیع داده‌ها در تمامی ماه‌ها است (ایمان‌زاده اجیرلو، ۱۳۹۵).

جدول ۱: نتیجه‌ی شبیه‌سازی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، آزمون P-Value برای داده‌های دمای

پیشینه

P-Value	کولموگروف-اسمیرنوف	ماه
۰.۹۱۲۵	۰.۱۵۸	ژانویه (دی)
۰.۹۹۸۹	۰.۱۰۶	فوریه (بهمن)
۰.۹۹۸۹	۰.۱۰۶	مارس (اسفند)
۱.۰۰۰۰	۰.۰۵۳	آوریل (فروردین)
۱.۰۰۰۰	۰.۵۳	می (اردیبهشت)
۰.۹۹۸۹	۰.۱۰۶	ژوئن (خرداد)
۰.۹۹۹۱	۰.۱۰۵	جولای (تیر)
۰.۹۹۸۹	۰.۱۰۶	آگوست (مرداد)
۰.۹۹۹۱	۰.۱۰۵	سپتامبر (شهریور)
۰.۹۹۹۱	۰.۱۰۵	اکتبر (مهر)
۱.۰۰۰۰	۰.۰۵۳	نوامبر (آبان)
۱.۰۰۰۰	۰.۰۵۳	دسامبر (آذر)

(منبع: نگارندگان)

همبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد در جدول ۲ آورده شده است. مدل‌های منتخب با سناریوهای آن‌ها همبستگی بالا در حدود ۸۴ درصد دارند. از آنجا که همه‌ی آن‌ها دارای یک همبستگی مشابهی هستند از مدل HadCM3 سناریوی A1B، از مدل IPCM4 سناریوی B1 و از مدل HADGEM نیز سناریوی A2 برگزیده شد و در ادامه نیز از این سناریوها استفاده خواهد گردید.

جدول ۲: همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده در طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۵ (منبع: نگارندگان)

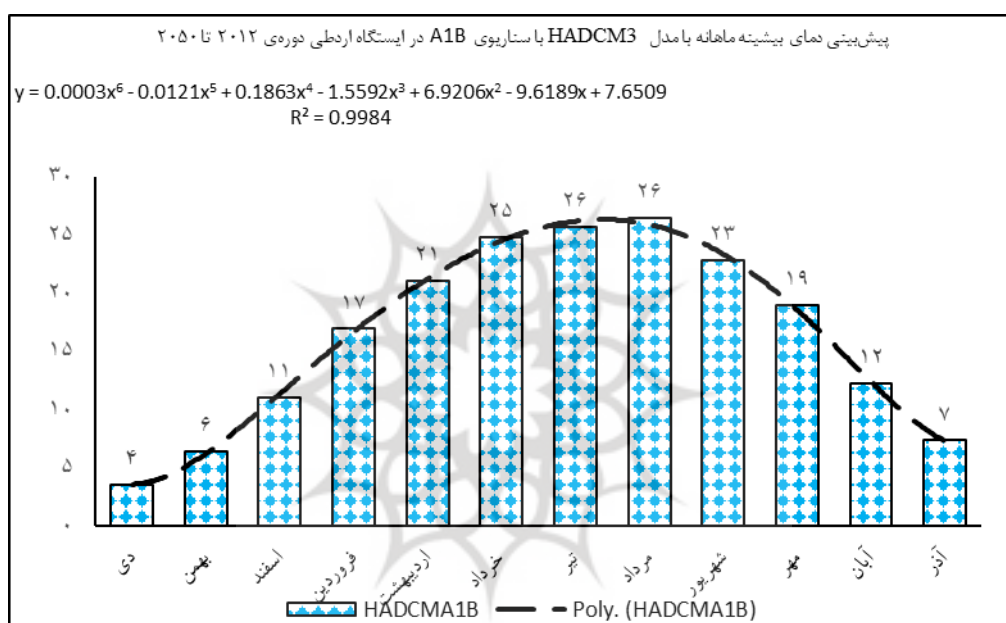
دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه	دمای پیشینه
IPCM4 B1	IPCM4 A2	IPCM4 1B	HADCM 31	HADCM3 A2	HADCM3 1B	HADGEM A2	HADGEM 1B
۸۴ درصد	۸۴ درصد	۸۴ درصد	۸۴ درصد	۸۴ درصد	۸۵ درصد	۸۴ درصد	۸۴ درصد

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات دمای بیشینه ایستگاه اردبیل در دوره‌ی ۲۰۱۲-۲۰۵۰

بعد از تحلیل نتایج شبیه‌سازی داده‌های ایستگاه اردبیل، به پیش‌بینی داده‌های بیشینه‌ی دما با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو از IPCM4، HadCM3 و HADGEM در طی یک دوره‌ی آماری ۳۸ ساله (۲۰۱۲-۲۰۵۰) پرداخته شد.

۳-۵- پیش‌بینی دمای بیشینه‌ی ماهانه با مدل HADCM3 با سناریوی A1B

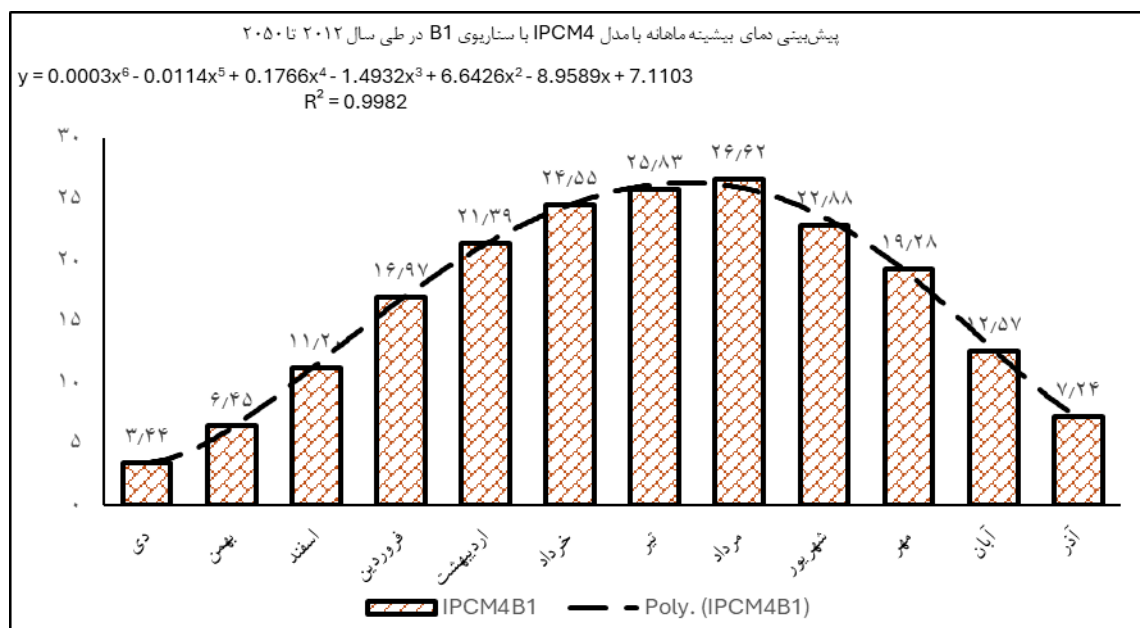
تحت سناریوی A1B از مدل HadCM3، داده‌های بیشینه‌ی دما پیش‌بینی گردید. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود دما به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند که حاکی از صحت شبیه‌سازی نیز می‌باشد، دما در تابستان بالا بوده و میانگین دما در طی ۳۸ سال در ماه مرداد بیشتر بوده و ۲۶/۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین میانگین دمای بیشینه در ماه دی با عدد ۳/۵۴ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده است. مقدار ضریب R^2 با ۹۹ درصد بیانگر این است که مدل توانایی بالایی را در پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در این ایستگاه دارد.



شکل ۱۱ پیش‌بینی دمای بیشینه ماهانه با مدل HADCM3 با سناریوی A1B در ایستگاه اردبیل از ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ (منبع: نگارندگان)

۳-۶- پیش‌بینی دمای بیشینه ماهانه با مدل IPCM4 با سناریوی B1

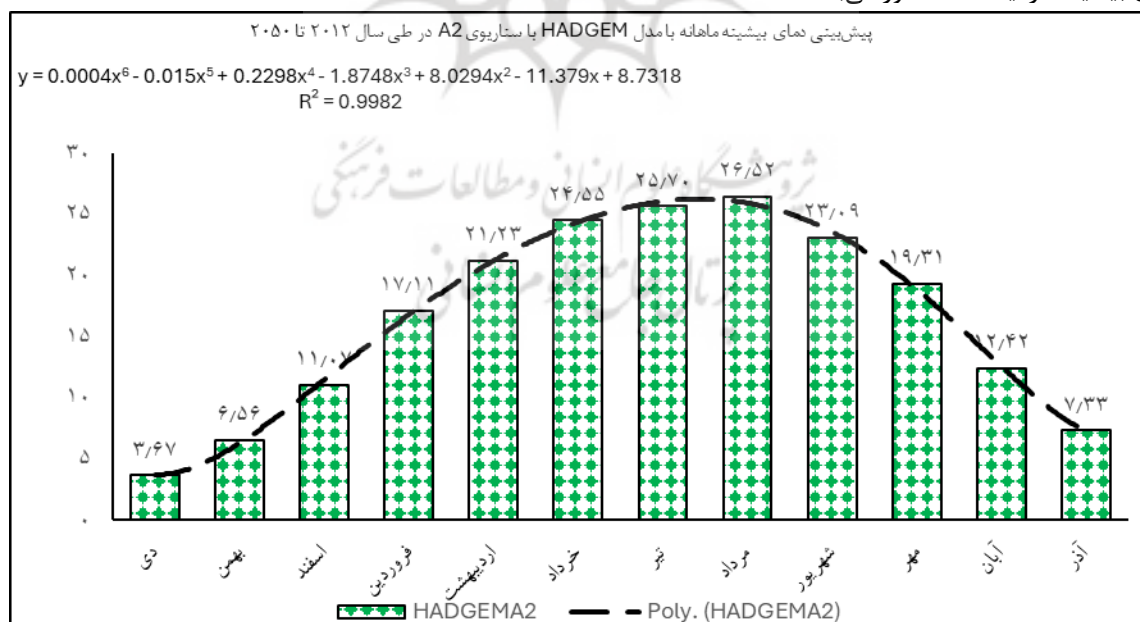
داده‌های بیشینه‌ی دما در شکل ۱۲ توسط مدل IPCM4 تحت سناریوی B1 پیش‌بینی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دما به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند که حاکی از صحت شبیه‌سازی نیز می‌باشد، دما در تابستان بالا بوده و میانگین دما در طی ۳۸ سال در ماه مرداد بیشتر بوده و ۲۶/۶۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین میانگین دمای بیشینه در ماه دی با عدد ۳/۴۴ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده است. مقدار ضریب R^2 با ۹۹ درصد بیانگر این است که مدل کارایی بالایی را در پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در ایستگاه مذکور دارد.



شکل ۱۲: پیش‌بینی دمای بیشینه ماهانه با مدل IPCM4 با سناریوی B1 در طی سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ (منبع: نگارندگان)

۳-۷- پیش‌بینی دمای بیشینه ماهانه با مدل HADGEM با سناریوی A2

در شکل ۱۳، داده‌های بیشینه‌ی دما توسط مدل HADGEM تحت سناریوی A2 پیش‌بینی شد. دما در تابستان بالا بوده و میانگین دما در طی ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ در ماه مرداد حدود ۲۶/۵۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و کمترین میانگین دمای بیشینه در ماه دی با عدد ۳/۶۷ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده است. مقدار ضریب R^2 با ۹۹ درصد بیانگر کارایی بالای مدل در پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در ایستگاه مذکور می‌باشد.



شکل ۱۳: نمودار پیش‌بینی دمای بیشینه ماهانه با مدل HADGEM با سناریوی A2 در طی سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ (منبع: نگارندگان)

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی هم‌دید امواج گرمایی دشت اردبیل طی دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۵) با روش محیطی بر گردشی و بررسی تغییرات پارامتر دما در دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۱۴) با استفاده از مدل LARS-WG انجام گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های سینوپتیک نشان داد در روزهای نماینده تحلیل نقشه‌های سطح زمین نشان می‌دهد که در هر ۱۰ روز، منطقه مورد مطالعه در کم‌فشار یا حاشیه آن قرار گرفته است، این امر منشعب از کم‌فشارهای سطح زمین فروبار پاکستان و یا ناشی از کم‌فشار عربستان می‌باشد و نتیجه اینکه موجب ایجاد امواج گرمایی شدید در شهرستان اردبیل شده است؛ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منطقه مورد مطالعه در نزدیک عقب محور پشته یا در بعضی مواقع در محور پشته قرار گرفته است، گرم‌ترین قسمت دارای حداقل تاوایی و ناقل هوای گرم می‌باشد که با ریزش هوای بسیار گرم عرض‌های جنوبی از سمت جنوب غرب و غرب به شمال و شمال غرب همراه بوده است. همچنین تفسیر نمودارهای حاصل برای ایستگاه اردبیل، میانگین دمای حداکثر سالانه اردبیل، در طول دوره‌ی آماری ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ حدود ۱۳/۶۸ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. مدل HadCM3 تحت سناریوی A1B عدد ۱۶/۴۶ را برای دمای پیشینه‌ی متوسط در طی ۲۰۱۲ تا ۲۰۵۰ برای ایستگاه اردبیل نشان می‌دهد. نتایج پیش‌بینی داده‌ها بر اساس مدل IPCM4 تحت سناریوی B1 حدود ۱۶/۵۴ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین نتایج پیش‌بینی داده‌ها بر اساس مدل HADGEM تحت سناریوی A2 نیز با ۰/۰۱ درجه‌ی سانتی‌گراد اختلاف عدد ۱۶/۵۵ را نشان می‌دهد. بر اساس بررسی مدل‌های مذکور، دمای اردبیل تا سال ۲۰۵۰ به‌طور متوسط حدود ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر خواهد شد؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که با وقوع امواج گرمایی به مدت چند روز در فصل زمستان یا اوایل بهار که درختان و گیاهان در خواب زمستانی هستند یا در حال گلدهی می‌باشند باعث آسیب‌پذیر شدن این بخش اقتصادی می‌شود در فصل گرم سال نیز با رخ دادن امواج گرمایی و افزایش یک‌باره دما باعث گرم‌زدگی، نیاز به استفاده از وسایل سرمایشی و افزایش استفاده از آب و برق خواهد شد. لذا آمادگی مدیران و بخش‌های مربوط باعث کاهش پیامدهای مخرب امواج گرمایی خواهد شد. یافته‌های پژوهش حاضر با مطالعات خاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۸)، رضائی بنفشه و ملکی مرشت (۱۴۰۱)، ملکی مرشت و سبحانی (۱۴۰۲) و بهاروند و همکاران (۱۴۰۳) هم‌راستا است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان نامه به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند سپاسگذاری می‌کنیم.

۵- منابع و مأخذ

ایمان‌زاده اجیرلو، زهرا (۱۳۹۵). پیش‌بینی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی با استفاده از برخی مدل‌های گردش عمومی جو در شهرستان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، گرایش آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

- بهاروند، نسیم؛ مجرد، فیروز؛ معصوم پور سماکوش، جعفر. (۱۴۰۳). شبیه سازی و پیش بینی امواج گرمایی آینده ایران بر پایه گردش عمومی جو، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۱(۵)، ۱۸۴-۱۶۹. [doi: 10.22034/gsma.2024.714362](https://doi.org/10.22034/gsma.2024.714362)
- ثنایی، مریم؛ خانمحمدی، مجید؛ محمدی، حسین. (۱۳۹۴). تحلیل اثر الگوی سینوپتیکی رخداد مخاطره آمیز موج گرمی تابستان ۱۳۹۲ و فوت ناشی از آلودگی شهر تهران. مدیریت مخاطرات محیطی، ۲(۱)، ۸۳-۶۷. [DOI: 10.22059/jhsci.2015.53922](https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53922)
- حسین پور، زینب؛ شمسی پور، علی اکبر؛ کریمی، مصطفی؛ خوش اخلاق، فرامرز. (۱۴۰۲). تحلیل آماری امواج گرمایی در دامنه های جنوبی البرز، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۶۸)، ۹۸-۸۱. [SID. https://sid.ir/paper/964378/en](https://sid.ir/paper/964378/en)
- خاتمی زرنند، داریوش؛ حجازی زاده، زهرا؛ ناصرزاده، محمدحسین. (۱۳۹۸). تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه ی شمال غرب ایران و ارتباط آن ها با گازهای گلخانه ای و ناهنجاری های دمایی کره زمین، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۲)، ۵۶-۳۵. [doi: 10.29252/jgs.19.52.35](https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.35)
- خرم آبادی، فرحناز؛ حسینی، سید محمد؛ پناهی، علی؛ بافنده، ناهید. (۱۴۰۱). بررسی پیش بینی نوسانات امواج گرمایی در ایستگاه جلفا با استفاده از مدل های اقلیمی تحت سناریوی RCP8.5، نشریه پژوهش های آب و هوایی، ۳(۱۰)، ۱۸-۱. [doi: 10.30488/ccr.2022.339167.1075](https://doi.org/10.30488/ccr.2022.339167.1075)
- رضایی بنفشه، مجید؛ ملکی مرشت، رقیه. (۱۴۰۱). تحلیل و پیش بینی امواج گرمایی شهرهای منتخب شمال غرب ایران با استفاده از ریزگردانی SDSM و شاخص بالدی، مجله علوم جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ۱۸(۴۰)، ۸۹-۷۶. <http://sanad.iau.ir/Journal/geographic/Article/919193>
- رضایی، مریم؛ نهتانی، محمد؛ آبکار، علیجان؛ رضایی، معصومه؛ میرکازهی ریگی، مهری. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم) پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۵(۱۰)، ۱۳۱-۱۱. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-417-fa.html>
- سبحانی، بهروز؛ دل آرا، قدیر. (۱۴۰۳). بررسی تأثیر الگوهای جوی مختلف بر تغییرات امواج گرمایی شهرستان نیر، جغرافیا و روابط انسانی، ۷(۱)، ۶۳۷-۶۲۷. [doi: 10.22034/gahr.2023.406381.1908](https://doi.org/10.22034/gahr.2023.406381.1908)
- شادمان، حسین. (۱۳۹۳). تحلیل همدید موج های گرمایی فراگیر در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان.
- صداقت کردار، عبدالله؛ فتاحی، ابراهیم. (۱۳۸۷). شاخص های پیش آگاهی خشکسالی در ایران، جغرافیا و توسعه، ۱۱(۶)، ۷۶-۵۹. [doi: 10.22111/gdij.2008.1616](https://doi.org/10.22111/gdij.2008.1616)
- صلاحی، برومند؛ قدرتی، زینب. (۱۳۹۷). پیش بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردانی LARS-WG و شاخص بالدی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۴۰، ۴۸-۳۵. [DOI: 10.22034/gsma.2024.714362](https://doi.org/10.22034/gsma.2024.714362)
- کاشکی، عبدالرضا؛ کرمی، مختار؛ باعقیده، محمد؛ علیمردی، محمدرضا. (۱۳۹۸). واکاوی آماری امواج گرمایی زابل، دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱(۱)، ۹۷-۸۰. https://cccd.znu.ac.ir/article_36081.html
- مجرد، فیروز؛ معصوم پور، جعفر؛ رستمی، طیه. (۱۳۹۴). تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴(۱)، ۵۷-۴۱. [doi: 10.22067/geo.v4i1.32793](https://doi.org/10.22067/geo.v4i1.32793)
- ملکی مرشت، رقیه؛ سبحانی بهروز. (۱۴۰۲). شناسایی و تحلیل امواج گرمایی شهرهای تبریز و اردبیل و پیش بینی آن تحت سناریوهای مدل اقلیمی CanEsm2، مجله مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۳)، ۷۰۵۳-۷۰۶۳. [doi: 10.22034/jess.2023.381414.1956](https://doi.org/10.22034/jess.2023.381414.1956)
- الوان، صفر. (۱۳۹۳). بررسی تغییرات زمانی بارندگی در دشت اردبیل با استفاده از تحلیل های آماری. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

- Abbasnia, M., Toros, H. (2016). Future changes in maximum temperature using the statistical downscaling model (SDSM) at selected stations of Iran. *Model. Earth Syst. Environ.* 2, 68. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0112-z>
- Allen, M., Dube, O., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., & Mulugetta, Y. (2018). Global warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In: Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Alvan, S. (2014) Investigating temporal changes in rainfall in the Ardabil plain using statistical analyses. Master's thesis in Applied Meteorology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. [In Persian].
- Anel, J., Fernandez-Gonzalez, M., Labandeira, X., Lopez-Otero, X. and L, De la Torre. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, 10: 1-13. <https://www.mdpi.com/2073-4433/8/11/209>
- Baharvandi, N., Mojarrad, F., Masompour Samakoosh, J. (2024). Simulation and prediction of Iran's future heat waves based on general circulation models. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 5(1), 169-184. [doi: 10.22034/gsma.2024.714362](https://doi.org/10.22034/gsma.2024.714362) [In Persian].
- Feron, S, Cordero, RR, Damiani, A, Llanillo, PJ, Jorquera, J, Sepulveda, E, Asencio, V, Laroze, D, Labbe, F, Carrasco, J and Torres, G (2019), observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reports*. P. 1-15. [DOI 10.1038/s41598-019-44614-4](https://doi.org/10.1038/s41598-019-44614-4)
- Hosinpoor, Z., Shamsipour, A., Karimi, M., Khoshakhlagh, F. (2023). Statistical analysis of heat waves in the southern slopes of Alborz. *Journal Of Geographical Sciences*, 23(68), 81-98. [SID. https://sid.ir/paper/964378/en](https://sid.ir/paper/964378/en) [In Persian].
- Imanzadeh Ajirloo, Z (2016). Forecasting and synoptic analysis of heat waves using some general atmospheric circulation models in Ardabil city, Master's thesis in Physical Geography, Synoptic Meteorology and Hydrology Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. [In Persian].
- Kashki, A., Karami, M., Baaghdeh, M., Alimoradi, M. R. (2019). Statistical Analysis of Zabol Heat Waves. *Climate Change and Climate Disaster*, 1(1), 80-97. https://cccd.znu.ac.ir/article_36081.html [In Persian].
- Khatami Zarand, D., Hejazizadeh, Z., Naserzadeh, M H. (2019). Analysis of temporal fluctuations of heat waves in the northwestern region of Iran and their relationship with greenhouse gases and global temperature anomalies, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, (52)19, 35-56. [doi: 10.29252/jgs.19.52.35](https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.35) [In Persian].
- Khoramabadi, F., Hosseini, S. M., Panah, A., Bafandeh, N. (2022). Research of heat wave fluctuations in Jolfa station Using climate models under the rcp8.5 scenario. *Climate Change Research*, 3(10), 1-18. [doi: 10.30488/ccr.2022.339167.1075](https://doi.org/10.30488/ccr.2022.339167.1075) [In Persian].
- Maleki Meresht., R., Sobhani, B. (2023). Identification and analysis of heat waves in Tabriz and Ardabil cities and its prediction with CanEsm2 climate model scenarios. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 7053-7063. [doi: 10.22034/jess.2023.381414.1956](https://doi.org/10.22034/jess.2023.381414.1956) [In Persian].
- Mojarrad, F., Masoompour, J., Rostami, T. (2015). Statistical-Synoptic Analysis of Heat Waves above 40°C in the West of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 4(1), 41-57. [doi: 10.22067/geo.v4i1.32793](https://doi.org/10.22067/geo.v4i1.32793) [In Persian].
- Rezaei Banafsheh, M., Maleki Meresht, R. (2022). Analysis and prediction of heat waves in selected cities in northwest Iran using SDSM micro-regression and Baldi index, *Journal*

- of Geographical Sciences, Salami Azad University, Mashhad Branch, (40)18, 76-89.
<http://sanad.iau.ir/Journal/geographic/Article/919193> [In Persian].
- Rezaei, M., Nahtani, M., Abkar, A., Rezaei, M., Mirkazehi Rigi, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam) . J Watershed Manage Res. 5(10), 117-131.
[URL: http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-417-fa.html](http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-417-fa.html) [In Persian].
- Rohini, P., Rajeevan, M. & Mukhopadhyay, P. Future projections of heat waves over India from CMIP5 models. Clim Dyn 53, 975–988 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04700-9>
- Salahi, B., Ghodrati, Z. (2018). Forecasting and analyzing heat waves in Zanjan city using LARS-WG microgrid and Baldi index, Journal of Physical Geography, 40, 35-48. DOI: [20.1001.1.20085656.1397.11.40.3.7](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1397.11.40.3.7) [In Persian].
- Sanaie, M., khanmohammadi, M., Mohammadi, H. (2015). Synoptic survey on death rate resultant of Tehran air pollution during heat wave in summer 2013. Environmental Management Hazards, 2(1), 67-83. doi: [10.22059/jhsci.2015.53922](https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53922) [In Persian].
- Sedaghat Kerdar., A. Fatahi, E. (2008). Drought Early Warning Methods over Iran. Geography and Development, 6(11), 59-76. doi: [10.22111/gdij.2008.1616](https://doi.org/10.22111/gdij.2008.1616) [In Persian].
- Shadman, H. (2014). Synoptic analysis of widespread heat waves in Iran, Master's thesis, Department of Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan. [In Persian].
- Sobhani, B., Delara, G. (2024). Investigating the effect of different weather patterns on the changes of heat waves in Nir city. Geography and Human Relationships, 7(1), 626-637. doi: [10.22034/gahr.2023.406381.1908](https://doi.org/10.22034/gahr.2023.406381.1908) [In Persian].
- Weihe, Zhou, Shuang, Ji, Tsun-Hsuan, Chen, Yi, Hou, Kai, Zhang. (2014): The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. Environmental Research , 135:81-87. DOI:[10.1016/j.envres.2014.08.025](https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.08.025)
- Wilby. R. L., & Dawson, C. W. (2007). SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Version 4.2 User Manual, Lancaster University, Lancaster/ Environment Agency of England and Wales, Lancaster, 1-94.
<https://sdsml.org.uk/SDSMManual.pdf>