




Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/jgrd.2023.79213.1203>

مقاله پژوهشی

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، شماره پیاپی ۴۳

## بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری<sup>۱</sup>

رقیه ملکی مرشت (پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران)

[roghayeh.maleki1395@gmail.com](mailto:roghayeh.maleki1395@gmail.com)

بهروز سبحانی (استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، نویسنده مسئول)

[sobhani@uma.ac.ir](mailto:sobhani@uma.ac.ir)

صص ۱۹۵ - ۱۶۹

### چکیده

امواج گرمایی یکی از مخاطرات اقلیمی تأثیرگذار بر جوانب مختلف زندگی بشر است. هدف پژوهش حاضر، بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ بود؛ بر این اساس، داده‌های دمای حداکثر ایستگاه اردبیل از سازمان هواشناسی دریافت شد. سپس در محیط نرم‌افزار متلب با اعمال شاخص فومیایکی بر داده‌های دمای حداکثر، روزهایی که دمای آن‌ها  $\pm 2$  انحراف معیار یا بیشتر از میانگین  $NTD$  بود و حداقل دو روز تداوم داشت، به-عنوان روز توأم با موج گرمایی تعریف شد. برای بررسی تأثیرپذیری جزیره حرارتی از وقوع امواج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال، جزیره حرارتی برای روزهای توأم با موج گرمایی و یک روز عادی بدون موج گرمایی با کمترین دمای حداکثر

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول (خانم ملکی) در رشته آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران است.

قبل از وقوع هر موج گرمایی در روز هنگام و شب هنگام مودیس-آکوا محاسبه شد. طبق نتایج، طی دوره مطالعه شده، بیشترین فراوانی سالانه و ماهانه مخاطره موج گرمایی اردبیل، در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ و در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است. همچنین نتایج نشان داد که طی دوره مطالعه شده، حداکثر تداوم امواج گرمایی چهارروزه و کوتاه مدت بوده است. براساس یافته‌ها، چه در ماه‌های گرم و چه در ماه‌های سرد، در هر دو شرایط، وجود و نبود موج گرمایی اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز اردبیل تشکیل شده است که شدت آن در زمان حاکمیت امواج گرمایی به خصوص در ماه‌های گرم سال بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده است. در شب‌های تابستان، در شرایط حاکمیت موج گرمایی تا ۴ درجه سلسیوس نیز افزایش دما در جزیره گرمایی تجربه شده است. در مجموع نتایج نشان داد که میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی از رخداد امواج گرمایی، در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** اردبیل، امواج گرمایی، جزیره حرارتی، فومیاکی.

#### ۱. مقدمه

از نظر آماری، امواج گرمایی نوسان‌های مثبت یا فرین‌های زیاد میانگین دماهای حداکثر روزانه است که روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌ها) در فضاها جغرافیایی خاصی تداوم دارد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰، ص. ۸۵). امواج گرمایی از مهم‌ترین پدیده‌های آب‌وهوایی است که هر ساله پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت بر جای می‌گذارد. کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده، درگرو شناسایی سازوکار امواج گرما، سامانه‌های هواشناسی ایجادکننده گرما و پیش‌بینی آن‌ها و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده آن‌ها بر سلامت عمومی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر است (کواتس و کاپ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵؛ هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۱۸۶). دمای سطح زمین (LST)<sup>۲</sup> یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک، در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب‌وهوای شهری

1. kovats& kopp

2. Land surface temperature

محسوب می‌شود (کاندلوال<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷، ص. ۱). یکی از رایج‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است. شدت تشعشع طیفی شناسایی شده در ناحیه مادون قرمز حرارتی طیف الکترومغناطیس می‌تواند برای تخمین دمای سطح، با استفاده از اعمال قانون پلانک به کار گرفته شود (ونگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴، ص. ۴۰۸۰). دمای بالاتر شهرها در مقایسه با دمای نواحی روستایی، جزیره‌ای از هوای گرم ایجاد می‌کند که به آن «جزیره گرمایی» گفته می‌شود که اغلب در شب‌های آرام و صاف در شهر گسترش می‌یابد (عزیزی، ۱۳۸۳، ص. ۴۳۴). جزیره گرمایی با تغییر مؤلفه‌های اقلیمی در شهرها موجب افزایش نسبی دمای شهرها در مقایسه با حومه آن‌ها می‌شود. به‌طور کلی سه مؤلفه اصلی اقلیمی در تقویت یا تضعیف جزیره گرمایی نقش اساسی دارند. این سه مؤلفه عبارت‌اند از: سامانه‌های هم‌مدیدی، ابرناکی و باد. در شرایط هوای آرام و آسمان بدون ابر تفاوت‌های دمایی میان شهر و روستا افزایش می‌یابد و در صورت وزش باد بیش از سرعت آستانه، شدت جزیره گرمایی کم و در نهایت محو می‌شود؛ بنابراین انتظار می‌رود که در زمان استقرار سامانه‌های واچرخندی، شدت جزیره گرمایی بیش از شرایط چرخندی باشد (لندیسبرگ<sup>۳</sup>، ۱۹۸۱، ص. ۲۸). گاهی اختلاف دما بین مناطق شهری و روستایی می‌تواند معکوس شود و جزیره سرمایی شهری (UCI)<sup>۴</sup> رخ دهد؛ به عبارت دیگر، وقتی هوای مرکز شهر سردتر از حومه آن باشد، جزیره‌ای از هوای سرد در مرکز شهر ایجاد می‌شود که به آن جزیره سرمایی گفته می‌شود. شدت جزیره سرمایی اغلب به میزان درخور توجهی کمتر از شدت جزیره گرمایی است. برخلاف جزیره گرمایی که در شب ایجاد می‌شود، پدیده جزیره سرمایی همیشه در طول روز و با شدت کمتری رخ می‌دهد و رطوبت سطح، عامل تعیین‌کننده اصلی در جزیره سرمایی شهری محسوب می‌شود (کیم و بایک<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵، ص. ۵۹۱). شرایط اتمسفری راکد حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس می‌سازد و با اضافه شدن آلاینده‌های سمی به هوای گرم حاصل از موج گرمایی، مشکل زیستی در ابعاد وسیع به وجود می‌آید.

1. Khandelwal
2. Weng
3. Landsberg
- 4 Urban Cool Island
5. Kim & Baik

همچنین در شب یا در زمستان، وجود هوای سرد در لایه‌های فوقانی جو سبب تثبیت هوای گرم و آلوده لایه‌های زیرین جو می‌شود (الموسائد<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ص. ۱۳۹). امواج گرمایی می‌تواند در مقیاس محلی روی دهد و سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی، مرگ‌ومیر در اثر گرمادگی، آتش‌سوزی جنگل‌ها شده و خسارات اقتصادی فراوانی به بار آورد (بالدی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴؛ صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷، ص. ۳۶).

## ۲. پیشینه تحقیق

بررسی رابطه امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری طی سال‌های اخیر، مدنظر بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته و در این راستا اغلب در خارج از کشور، مطالعاتی با روش‌های مختلف انجام شده است. در این بخش به چند پژوهش اشاره می‌شود.

فنج<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) به شبیه‌سازی جزیره حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم در شهر هنگ‌کونگ در چین پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کردند. نتایج نشان داد که جزیره حرارتی عمدتاً حاصل ذخیره گرمایی زیاد در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب است. وی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴) برای مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گرمی‌تر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداختند. طبق نتایج پژوهش، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه‌یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه دارد و آب‌های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) احتمال رخداد امواج گرمایی را در نواحی شمالی ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که احتمال رخداد امواج یک تا سه روز در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از بقیه است. دابراوالنی و کراهولا<sup>۵</sup> (۲۰۱۵) تغییرات فضایی دمای هوا و شدت شبانه جزیره حرارتی شهر برنو، در جمهوری چک را بررسی کردند. طبق نتایج، شاخص‌های پوشش گیاهی طبیعی (NDVI) و تراکم ساختمان‌ها، مهم‌ترین عوامل توجیه‌کننده افزایش پنج‌درجه‌ای شدت

1. Almusaed
2. Baldi
3. Feng Xuchao & Weiping
4. Weihe
5. Dobrovolny & Krahula

جزایر حرارتی اوایل شب در تابستان بودند که از مرکز شهر به سمت حومه، از شدت آن کاسته شده است. لیمونسو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر سناریوی توسعه شهری بر جزیره گرمایی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. براساس نتایج، در شهرهای متراکم با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر جزیره حرارتی است، آسیب-پذیری کل جمعیت تشدید می‌شود. حسینی (۲۰۱۶) جزیره گرمایی شهر تهران را بررسی کرد. نتایج نشان داد که این شهر طی روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی داشته است. کمترین میزان جزیره سرمایی ۴- درجه کلوین در ماه مارس و بیشترین مقدار جزیره گرمایی ۳/۹ درجه کلوین در ماه می بود. زهو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی فصلی بودن جزیره حرارتی سطحی شهر لندن پرداختند. آنان با روش ترکیبی مشاهدات ماهواره‌ای به مدل‌سازی آب‌وهوای لایه مرزی شهر با استفاده از مدل اقلیم شهر (UrbClim)<sup>۳</sup> پرداختند. نتایج نشان داد که مدل اقلیم شهری می‌تواند دمای سطح زمین شهری و روستای و دمای هوای دو متری سطح زمین را به‌طور رضایت‌بخشی بازسازی کند. همچنین تغییرات دمای سطح زمین می‌تواند عمدتاً با تغییرات فصلی تابش دریافتی خورشید در ارتباط باشد.

دی رایدرد<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) تشدید جزیره حرارتی شهری در طول رخداد امواج گرمایی در تابستان ۲۰۰۲ در پاریس را بررسی کردند. پژوهش آنان در مرحله اول، براساس دمای مشاهده‌شده از یک منطقه شهری و روستایی انجام شد. نتایج نشان داد که با هر درجه سلسیوس افزایش دما در روز، شدت جزیره حرارتی ۰/۰۸ درجه سلسیوس در شبانه روز افزایش می‌یابد. اعتبارسنجی ابتدا با استفاده از درجه حرارت ذکرشده انجام شد و سپس حساسیت شدت جزیره حرارتی شهری شبانه محاسبه شد. علاوه بر دمای روز، این بار با در نظر گرفتن دماهای شبیه‌سازی شده حاصل از تراکم ساخت‌وسازهای مرکز پاریس، شدت جزیره حرارتی باعث افزایش ۰/۱ درجه سلسیوس در دمای روزانه شده است. همچنین نتایج تأیید کرد که شدت جزیره حرارتی شهری، در طول رخداد امواج گرمایی افزایش می‌یابد.

---

1. Lemonsu

2. Zhou

3. Urban Climate Model

4. De Ridder

قبادی و همکاران (۲۰۱۷) به پژوهش در مورد تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی در شهر کرج پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری-سینوپتیکی نشان داد که در روزهای حاکمیت امواج گرمایی، جزیره گرمایی شهری (UHI) در منطقه مورد مطالعه تشدید می‌شود و درجه حرارت شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، حدود ۱ درجه سلسیوس در روز و ۲/۵ درجه سلسیوس در شب گرم‌تر است. بای<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با تحلیل مقایسه‌ای به بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی در چند شهر پرداختند. طبق نتایج، در شهرهایی با وسعت یکسان، رابطه متفاوتی بین امواج گرمایی و جزایر حرارتی وجود داشته است. در شهرهای نیویورک، ایالت واشنگتن و بالتیمور در مقایسه با شهرهای کوچک، جزیره حرارتی هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی تقویت شده است. همچنین در شهرهای مختلف، الگوی جزیره حرارتی، تغییرات جزیره حرارتی و ارتباط متقابل آن با امواج گرمایی، به‌طور ذاتی با عوامل دینامیکی در ارتباط است. پاراوانتیس<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگومیر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بیشتر ۶۵ سال، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که همبستگی زیادی بین مرگومیر روزانه قلبی و عروقی و تنفسی افراد بیشتر از ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. در دمای متوسط مرگومیر کمتر است، ولی در دماهای بالا و بسیار بالا این مرگومیرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت طبق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، بیشترین میزان مرگومیر در اثر امواج گرمایی گزارش شده است.

فوندا و سانتاموریس<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) مشارکت امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آتن را مطالعه کردند. طبق نتایج، در روز حادثه همبستگی قوی بین جزیره حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته است که این امر می‌تواند موجب افزایش چشمگیر خطر گرما در شهرها و آسیب‌پذیری جمعیت شهری گردد. ای-آنل<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های

1. Bai

2. Paravantis

3. Founda &amp; Santamouris

4. A-Añel

آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایی و گرمایی می‌تواند به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی منجر شود؛ برای مثال، زیاد شدن نیاز گیاه به آبی با دمای بالاتر، نمونه‌ای از این موارد است. باسارا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری، طی رخداد موج گرمایی شدید در شهر اوکلاهما را بررسی کردند. نتایج نشان داد که طی حاکمیت امواج گرمایی، یک جزیره حرارتی در مرکز شهر ایجاد شده است. روهینی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرد. فرون و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آنان از پنج مدل CMIP5 تحت دو سناریوی RCP ۴/۵ و ۸/۵ استفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر، ژانویه و فوریه دو برابر شده است.

مجرد و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی آماری-همدیدی دمای بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد هوای گرم و خشک عربستان و شمال عراق و نیز پراتفاح آזור در رخداد امواج گرمایی غرب ایران مؤثر است. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک شاخص فومیاکی و با استفاده از مدل CMIP5 به بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس پرداختند. نتایج نشان داد که امواج گرمایی کوتاه‌مدت رخداد بیشتری دارد و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. خوشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی همدیدی امواج گرمایی در شمال غرب ایران پرداختند. براساس نتایج، با قرار گرفتن پشته حاصل از مراکز واچرخندی روی نیمه غربی ایران در روز اوج گرفتن موج گرما و با همگرا شدن هوا، فرونشینی و نشست هوا و در نهایت گرم شدن آن به صورت آدیاباتیک رخ داده است. کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ۷۰ موج در دوره گرم و ۷۳ موج در دوره سرد رخ داده است و بیشترین میزان وقوع امواج گرمایی در ماه فروردین بوده و امواج کوتاه رخداد بیشتری داشته است. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به

---

1. Basara

2. Rohini

3. Feron

واکای آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه آنان موج‌های گرمایی کم‌دوام رخداد بیشتری داشته و امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است. همچنین امواج گرمایی به‌عنوان یکی از مخاطرات آب و هوایی در دوره آماری روند افزایشی داشته است. شجاعی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهر آبادان با استفاده از داده‌های مودیس - آکوا پرداختند. یافته‌ها نشان داد که جزایر حرارتی در آبادان دارای نوسانات مکانی و زمانی مشخص و مقدار دمای سطحی در فصل گرم بیشتر است. دمای بالا در زمین‌های بایر به علت انعکاس زیاد تشعشعات حرارتی ساطع شده از خورشید به لحاظ وجود قشری از نمک در سطح زمین و در محدوده صنعتی به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای آلاینده است که باعث اثر گلخانه‌ای، تشدید گرما و در نهایت تراکم زیاد جزایر حرارتی و تشدید اثرات امواج گرمایی می‌شود.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که در پژوهش‌های داخلی موج گرمایی و جزیره حرارتی شهری اغلب به‌صورت مجزا مطالعه شده‌اند، اما در پژوهش‌های خارجی این دو مخاطره اغلب در ارتباط با هم بررسی شده‌اند؛ بنابراین مطالعه رابطه این دو پدیده به‌عنوان یکی از موضوعات جدید، به‌خصوص در شهر اردبیل که یکی از شهرهای توریستی کشور است، برای کاهش آثار منفی ناشی از افزایش دما بر اقتصاد کشور و محیط‌زیست و همچنین مدیریت بحران، ضروری به نظر می‌رسد؛ چراکه افزایش مداوم دمای شهرها با عنوان جزیره حرارتی شهری و رخداد ناگهانی امواج گرمایی به‌عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی، از جمله نگرانی‌های مهم سیاست‌گزاران مدیریت شهری در شهرها است و رخداد هم‌زمان این دو پدیده و تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر می‌تواند سبب تشدید گرمای مرکز شهر شود؛ در نتیجه خسارات زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال داشته باشد؛ به‌عنوان مثال، افزایش مرگ‌ومیر در تهران طی ۱۷ موج گرمایی به فوت ۱۰۶۹ نفر منجر شده است؛ یعنی به ازای هر موج گرمایی ۹ نفر فوت کرده‌اند و نرخ مرگ‌ومیر ۳ تا ۹ درصد افزایش یافته است؛ به عبارت دیگر افزایش دما سبب افزایش آلودگی هوا و زیاد شدن نرخ مرگ‌ومیر شده است (احمدزاده و همکاران، ۲۰۱۷، ص. ۲۴). طبق توضیحات، در پژوهش حاضر سعی شده است به بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری و تشدید جزایر حرارتی در فصول گرم و سرد سال



طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۳ پرداخته شود تا با شناسایی رفتار و ارتباط دو مخاطره موج گرمایی و جزیره حرارتی، بتوان راهکارهای لازم را برای مدیریت بحران ارائه کرد.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

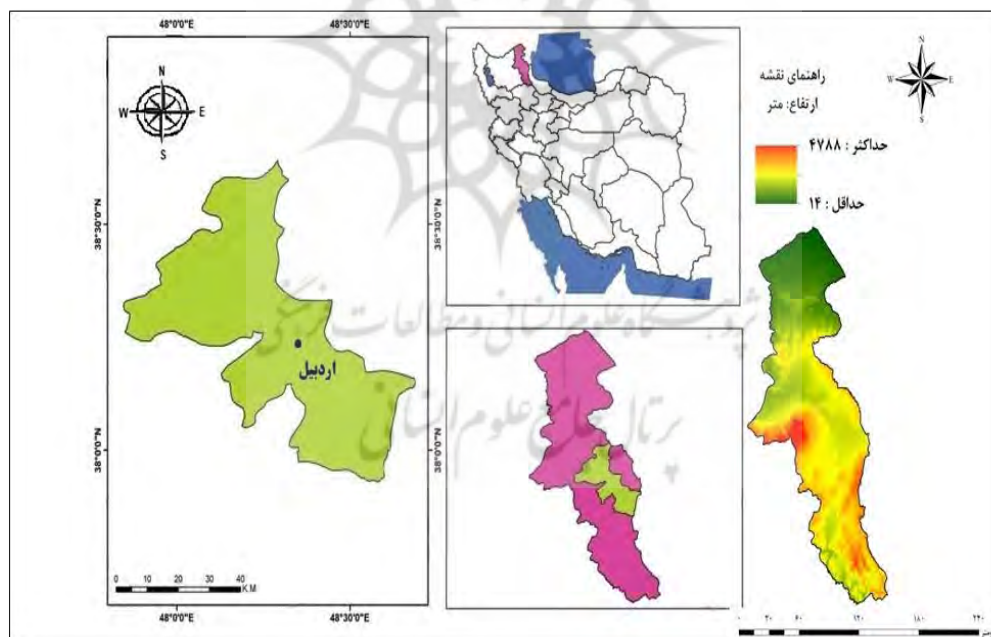
#### ۳.۱. منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، شهر اردبیل که مرکز استان اردبیل است، برای بررسی انتخاب شد. در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و در شکل ۱ محدوده این شهر ارائه شده است.

#### جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه اردبیل

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اردبیل	۴۶° ۳'	۳۸° ۲'	۱۳۳۵



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

### ۲.۳. روش شناسایی روزهای توأم با امواج گرمایی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸

برای شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه ایستگاه اردبیل مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و با کمک شاخص فومیاکی<sup>۱</sup> و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب، روزهایی که دست کم دو روز تداوم داشته و دمای آن‌ها بیشتر از ۲+ انحراف معیار یا بیشتر از میانگین (NTD)<sup>۲</sup> بود، به-عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی و انتخاب شدند. به‌منظور محاسبه این نمایه، نخست میانگین بلندمدت دما برای هریک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین بلند مدت دماهای هر روز با رابطه (۱) به‌دست می‌آید (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰، ص. ۱۷۳؛ اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ۴۳).

رابطه (۱)

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i,j,n) \div N$$

در این رابطه،  $T(i,j,n)$  دمای روز  $i$  ام از ماه  $j$  ام در سال  $n$  ام  $\overline{T(i,j)}$  میانگین بلندمدت دمای روز  $i$  ام، از ماه  $j$  ام است. برای از بین بردن نوفه‌های (نویز<sup>۳</sup>) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار روی این داده‌ها انجام شد؛ به این ترتیب، میانگین بلندمدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه آن محاسبه شد؛ به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است؛ در نتیجه آثار عوامل زود گذر محلی که موجب نوسان دما شده‌اند، حذف شده و اثرات سامانه‌های هم‌مدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس به کمک رابطه (۲)، انحراف دمای هریک از روزهای بررسی‌شده نسبت به میانگین

1. Fumiaki

2. Normalized Thermal Deviation

3 Noise

بلندمدت محاسبه شد (فوجیبی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۶۵؛ اسماعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ۴۳).

رابطه (۲)

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - T(I, J)$$

در رابطه بالا،  $\Delta T = (i, j, n)$  انحراف مطلق دما از میانگین بلندمدت در روز  $j$  ام از ماه  $i$  ام، در سال  $n$  ام نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز تقویمی است. برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در زمانی معین با یکدیگر قابل مقایسه باشد، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش  $\Delta T$  در ۳۱ روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه (۳) به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد.

رابطه (۳)

$$\overline{\sigma^{2(i,j)}} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=j-16}^{j+16} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N$$

مقدار  $\overline{\Delta T(i, j)}$  میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است که از رابطه (۴) به دست آمد.

رابطه (۴)

$$\overline{\Delta T * (i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=j-16}^{j+16} T(i, j', n) \div 31N$$

سرانجام نمایه فومیایکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد.

رابطه (۵)

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)}$$

که در این رابطه  $\overline{\sigma(i,j)} = \sqrt{\sigma^2(i,j)}$  است؛ بنابراین تعریف موج گرم در این پژوهش این گونه بیان می‌شود که هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بیشتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم؛ به عبارتی اگر (i) NTD معرف دمای بهنجار شده روز i ام باشد (رابطه ۶)، آنگاه موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ۴۳).

رابطه (۶)

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2$$

سپس برای راستی‌آزمایی عملکرد شاخص فومیایی و به منظور اطمینان از حاکمیت موج گرمایی در روزهای شناسایی شده توسط شاخص مذکور، به تحلیل سینوپتیکی موج گرمایی دو روزه (پنجم و ششم مارس ۲۰۰۴) پرداخته شد.

### ۳.۳. روش محاسبه جزیره حرارتی سطحی شهر با استفاده از داده‌های مودیس-آکوا

به منظور بررسی شدت جزیره حرارتی در کلان‌شهر اردبیل در روزهای توأم با موج گرمایی (بدون ابر)، داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس<sup>۱</sup>-آکوا برای روز هنگام ساعت ۱۵:۲۴-۱۳:۳۸ و شب هنگام ساعت ۰۳:۵۳-۰۲:۳۱، از وب‌سایت ناسا<sup>۲</sup> با تفکیک مکانی  $1 \times 1$  کیلومتر و تفکیک واقعی ۹۲۶ متر (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸، ص. ۷۵) در سیستم تصویری سینوسی به صورت روزانه طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸) دریافت شد. MODIS یا اسپکترو رادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که روی ماهواره آکوا (EOS PM) راه‌اندازی در ماه مه ۲۰۰۲، نصب شده است. MODIS داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور از بالای خط استوا در حوالی ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ بر ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. اعتبارسنجی در سطح ۳ برای تمام محصولات بازتابندگی سطح مادیس انجام شده است. MOD11\_A2 و MYD11\_A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی هشت‌روزه در سطح ۳، تشکیل شده از محصول LST روزانه ۱ کیلومتر مادیس

1. MODIS

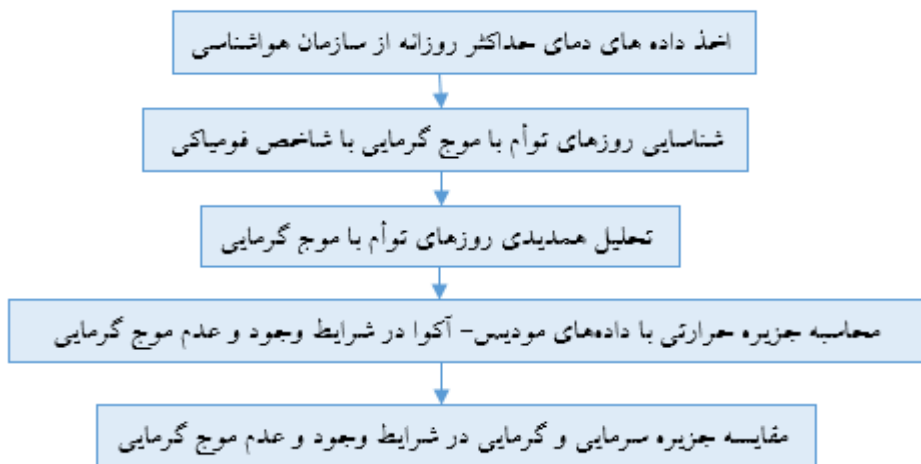
2. Nasa

(MOD11A1 و MYD11A1) است و روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به‌عنوان مقدار متوسط (LSTs) در آسمان صاف در طول ۸ روز در طول روز و شب (۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای مودیس آکوا) ذخیره شده است (لازارینی، ۲۰۱۳، ص. ۱۳۶). برداشت‌های مودیس آکوا به این دلیل انتخاب شدند که نسبت به مودیس ترا به ساعات میانه روز و میانه شب (مقادیر فرین روزانه) نزدیک‌تر بودند. برای تأیید درستی نتایج تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت باد و رطوبت نسبی در روزهای مورد مطالعه، از سایت سازمان هواشناسی دریافت و واکاوی شد. معمولاً به‌منظور بررسی جزیره حرارتی سطحی، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری با مناطق غیرشهری یا روستایی استفاده می‌شود؛ با این حال، تمایز میان مناطق شهری و غیرشهری هنوز متنوع است. علاوه بر شاخص SUHI که تفاوت دمای سطح مناطق شهری با غیرشهری را اندازه‌گیری می‌کند، بسته به کاربری غالب اطراف شهر، شاخص‌های دیگری از جمله تفاوت دمای سطح مناطق شهری-کشاورزی و شهری-آب نیز استفاده شده است. در پژوهش حاضر، جزیره حرارتی با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد.

رابطه (۷)

$$FLST_{rural} - SUHI = MLST_{urban}$$

که در رابطه (۷)، SUHI جزیره گرمایی رویه زمین،  $MLST_{urban}$  میانگین دمای رویه زمین در منطقه شهری و  $FLST_{rural}$  دمای رویه زمین با بیشترین فراوانی رخداد در منطقه روستایی است. به‌منظور مطالعه نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۴۷۹). در مرحله بعد، برای بررسی میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری از رخداد امواج گرمایی، مقادیر جزیره حرارتی در روزهای حاکمیت امواج گرمایی و یک روز عادی (بدون موج گرمایی) با کمترین دمای حداکثر، به فاصله حداکثر دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی محاسبه شد و شدت جزیره حرارتی در دو شرایط متفاوت (وجود و عدم موج گرمایی) مقایسه شد. برای ارائه ملموس‌تر روش پژوهش، فلوچارت تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.



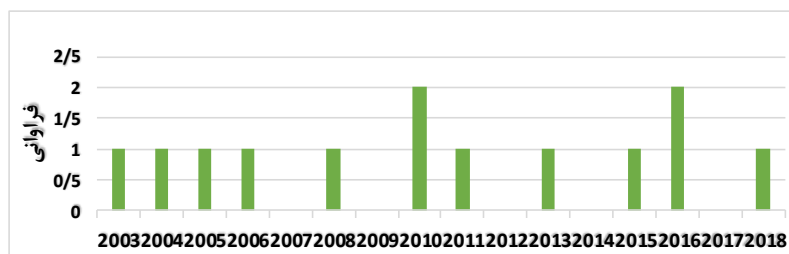
شکل ۲. فلوجارت روش تحقیق

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

## ۴. یافته‌های تحقیق

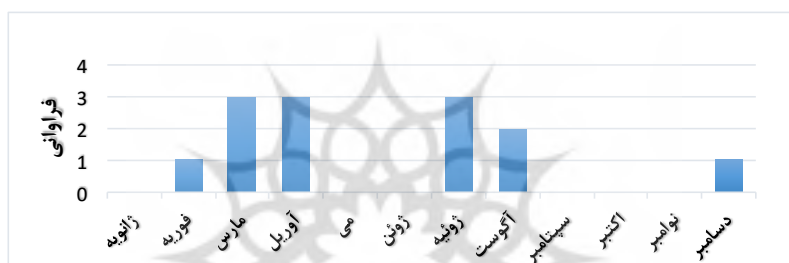
## ۴.۱. توزیع زمانی امواج گرمایی شهر اردبیل

با اعمال شاخص فومیایکی، امواج گرمایی شهر اردبیل شناسایی و به دو دسته امواج کوتاه‌مدت و امواج بلندمدت تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین دو تا پنج روزه، امواج گرمایی کوتاه‌مدت و امواج با تداوم شش‌روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلندمدت نام‌گذاری شدند). طبق نتایج حاصل، طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳)، بیشترین فراوانی مخاطره موج گرمایی در این شهر در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ بوده است (شکل ۳). در این شهر بیشترین فراوانی رخداد این مخاطره در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است (شکل ۴). از نظر تداوم، طی ۱۶ سال مورد مطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل چهارروزه و بنابراین کوتاه‌مدت بوده است (شکل ۵).



شکل ۳. فراوانی سالانه موج گرمایی در ایستگاه اردبیل مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰



شکل ۴. فراوانی ماهانه امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل طی دوره مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰



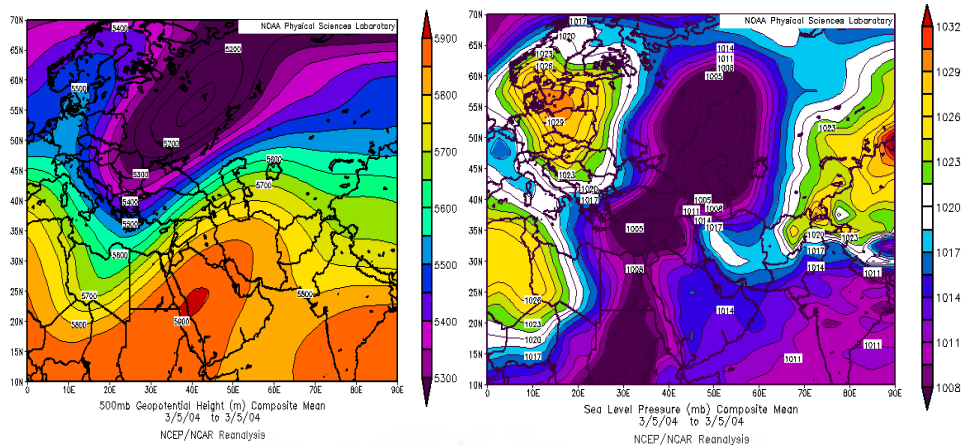
شکل ۵. زمان و تداوم امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل طی دوره مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

#### ۲.۴. یافته‌های تحلیل همدیدی موج گرمایی رخ داده در پنجم و ششم مارس ۲۰۰۴

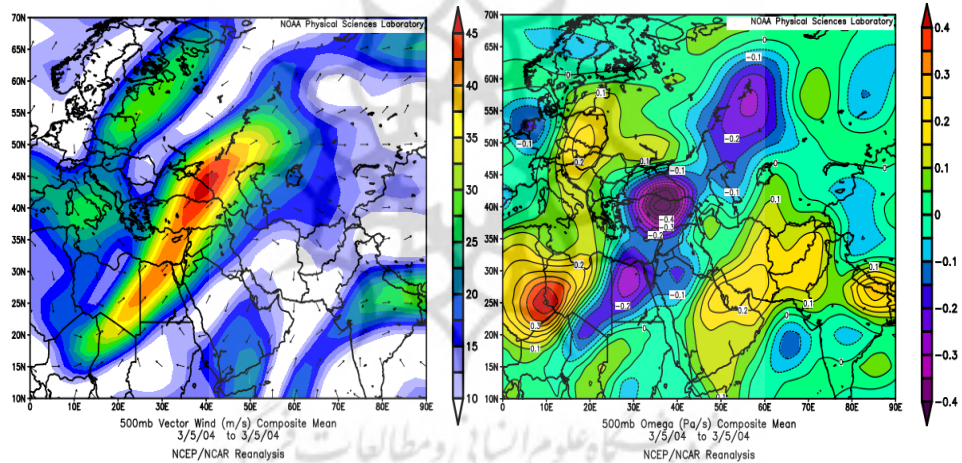
به منظور بررسی همدیدی امواج گرمایی دو روزه در اردبیل، نقشه فشار سطح دریا (SLP) (الف) و نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (HGT) (ب) که نقشه‌های پایه و اصلی محسوب می‌شوند و همچنین نقشه‌های امگا (ج) و باد (د)، به عنوان نقشه‌های شاهد در روزهای مدنظر از سایت نووا (NOAA) دریافت شد. طبق نتایج، در روزهای پنجم و ششم مارس ۲۰۰۴، شهر اردبیل زیر سلطه مرکز پرفشار قرار داشت. نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال نشانگر حرکت فراز مانع از نوع حلقه آتش به سمت ایران است که در روز ششم مارس در جنوب کشور قرار گرفت؛ در نتیجه با جریان هوای گرم و خشک بیابان‌های عربستان و شمال آفریقا، در این روز، دما در منطقه مورد مطالعه به اوج خود رسیده است و گردش ساعت‌گرد هوا در زیر فراز، موجب مکش هوای گرم عرض‌های جنوبی و در نتیجه سبب تداوم پایداری جو و شرایط خشک و نیز گرمایش سطح زمین شده است. بررسی نقشه‌های جهت باد در شهر مورد مطالعه نشان داد که از روز نخست تا روز پایانی باد غربی تا جنوب غربی در منطقه جریان داشته که سبب افزایش ورود بادهای گرم به منطقه شده است. همچنین براساس نقشه امگا و با توجه به مثبت بودن امگا، نزول هوا و افزایش فشار و دما و وقوع موج گرمایی در شهر اردبیل طی روزهای پنجم و ششم مارس تأیید شد (شکل ۶ و ۷).





ب. نقشه ارتفاع سطح ۵۰۰mb

الف. نقشه فشار سطح دریا

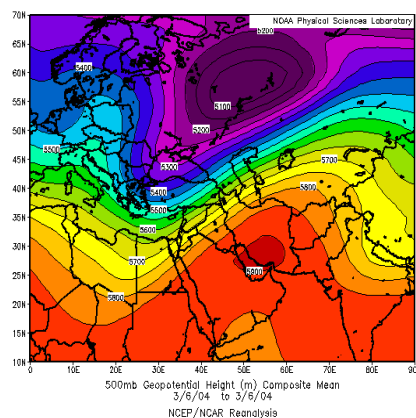


د. نقشه جهت باد ۵۰۰mb

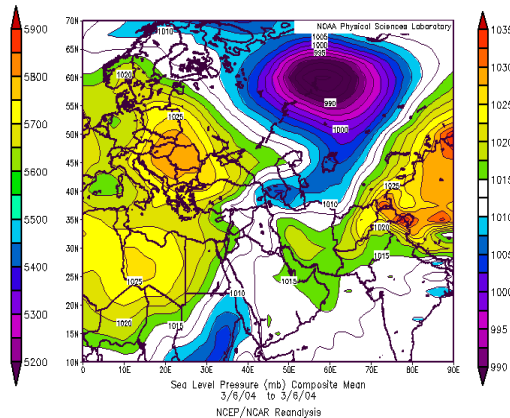
ج. نقشه امگا سطح ۵۰۰mb

شکل ۶. نقشه‌های فشار، ارتفاع، امگا و جهت باد در روز پنجم مارس ۲۰۰۴ (سایت نوا (NOAA))

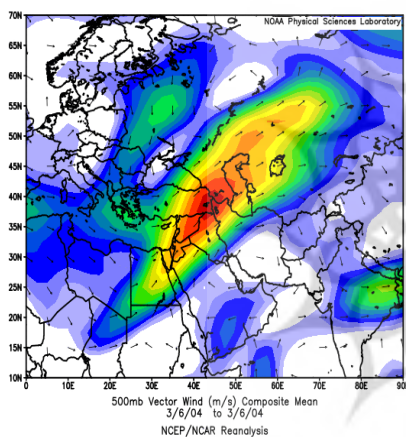
مأخذ: سایت نوا، ۱۴۰۰



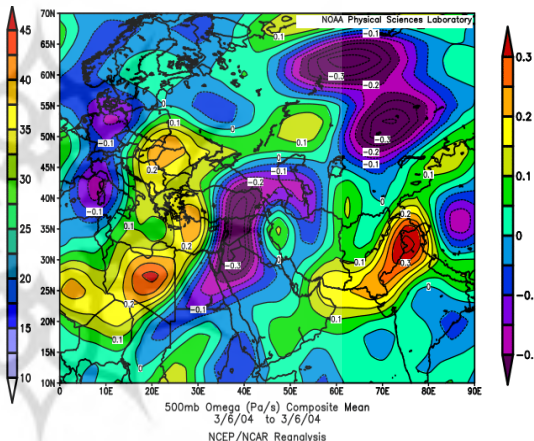
ب. نقشه ارتفاع سطح ۵۰۰mb



الف. نقشه فشار سطح دریا



د. نقشه جهت باد ۵۰۰mb



ج. نقشه امگا سطح ۵۰۰mb

شکل ۷. نقشه‌های فشار، ارتفاع، امگا و جهت باد در روز ششم مارس ۲۰۰۴

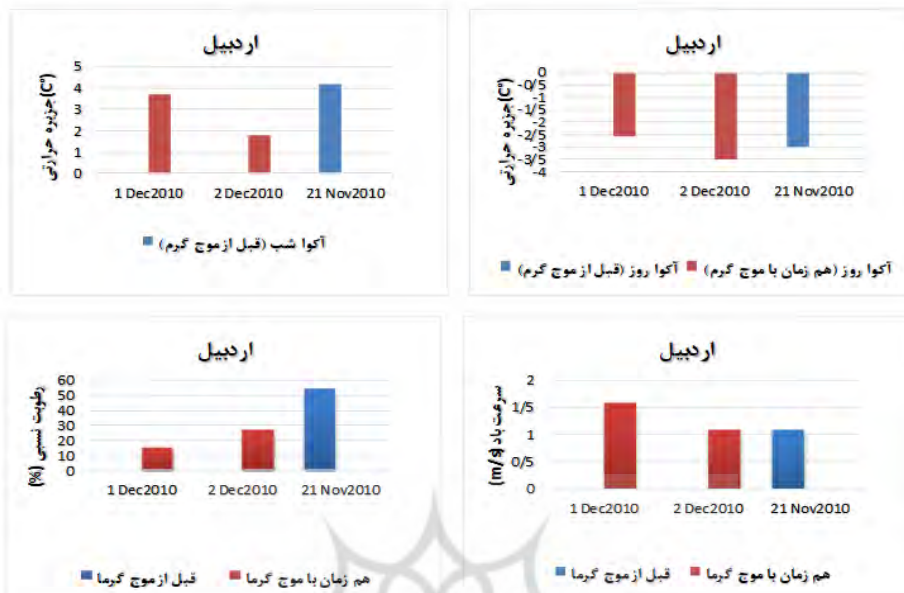
مأخذ: سایت نوا، ۱۴۰۰

۳.۴ یافته‌های حاصل از مقایسه جزیره حرارتی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی

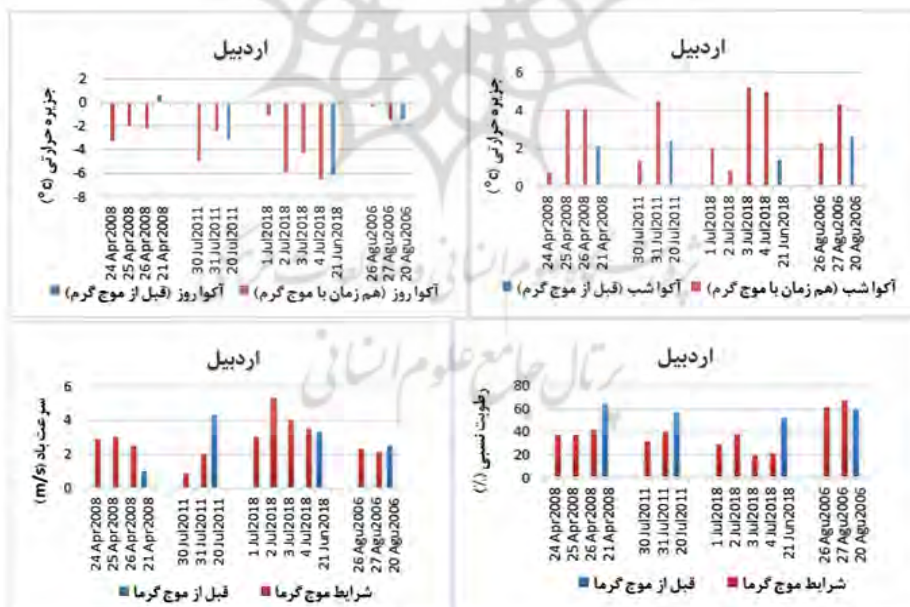
از مقایسه مقادیر جزیره حرارتی در روزهای توأم با موج گرمایی (HW<sup>۱</sup>) و روز عادی بدون موج گرما (NHW<sup>۲</sup>) با پایین‌ترین دمای حداکثر قبل از وقوع هر موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال، نتایجی حاصل شد که در جدول ۲ ارائه شده است. در جدول مذکور،

1. Heat wave
2. No Heat wave

ارقام مثبت حاصل از محاسبه اختلاف دمای رویه زمین در مناطق شهری و غیر شهری نشانگر تشکیل جزیره گرمایی شهری و ارقام منفی نمایانگر جزیره سرمایی شهری در مرکز شهر اردبیل است. همچنین برای مقایسه ملموس‌تر شدت جزیره حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد، پارامترهای مذکور در قالب نمودار در اشکال ۸ و ۹ ارائه شده‌اند. طبق جدول و نمودارهای عنوان‌شده، چه در شرایط عادی و چه هم‌زمان با امواج گرمایی، در ماه‌های گرم و سرد سال، اغلب در روز هنگام، دمای مرکز شهر اردبیل از دمای مناطق غیرشهری اطراف آن کمتر ولی در شب هنگام بیشتر بوده است؛ بنابراین اغلب در روز، جزیره سرمایی و در شب، جزیره گرمایی در مرکز این شهر ایجاد شده است. وضعیت مذکور در زمان وقوع امواج گرمایی کوتاه‌مدت دوروزه نیز مشاهده شد. طبق جدول ۲ و شکل ۸ در ماه‌های سرد، درصد رطوبت نسبی در زمان رخداد امواج گرمایی کمتر از شرایط قبل از موج گرمایی بوده است. بررسی شدت جزیره حرارتی در این شهر نشان داد که در روز هنگام در هر دو شرایط (وجود و نبود موج گرمایی) جزیره سرمایی در مرکز شهر تشکیل شده است که در شرایط حاکمیت موج گرمایی به شدت جزیره سرمایی در مقایسه با روز عادی افزوده شده است؛ همچنان که در نمودار مشاهده می‌شود. در شب هنگام چه در شرایط عادی و چه در شرایط رخداد امواج گرمایی، جزیره گرمایی در مرکز شهر اردبیل تشکیل شده که البته شدت جزایر گرمایی شبانه اغلب در زمان حاکمیت موج گرمایی کمتر از شرایط عادی بوده است. بررسی وضعیت جزیره حرارتی در ماه‌های گرم سال (جدول ۲ و شکل ۹) نشان داد که در روز هنگام در هر دو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، در مرکز شهر جزیره سرمایی وجود داشته که شدت آن در زمان حاکمیت امواج گرمایی به‌خصوص در ماه‌های مربوط به فصل تابستان اغلب به‌طور محسوس بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده است. در شب هنگام اغلب جزیره گرمایی در مرکز شهر تشکیل شده که شدت آن بیشتر از وضعیت عادی بوده است و در شرایط حاکمیت موج گرمایی حتی تا ۴ درجه سلسیوس نیز افزایش دما در جزیره گرمایی تجربه شده است (ژوئیه ۲۰۱۸). همچنین در شرایط موج گرم، رطوبت نسبی در ماه‌های گرم، محسوس‌تر از ماه‌های سرد کاهش یافته است.



شکل ۸. جزیره حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های سرد  
 مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰



شکل ۹. جزیره حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های گرم  
 مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

جدول ۲. جزیره حرارتی محاسبه شده در ماه‌های سرد و گرم در شرایط وجود و نبود موج گرمایی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

جزیره حرارتی سطحی شهر اردبیل (SUHI)(°C)		رطوبت نسبی (%)	سرعت باد m/s	جهت باد	شدت باد (°C)	پارامترهای بررسی شده وجود و نبود موج گرمایی
مودیس-آکوا						
شب (۳:۳۰-۲:۳۱)	روز (۱۵:۲۴-۱۳:۳۸)					
ماه‌های سرد سال						
۳/۷	-۲/۶	۱۵	۱/۶	S	۲۱	۱ دسامبر ۲۰۰۸
۱/۸	-۳/۵	۲۷	۱/۱	SW	۲۰/۴	۲ دسامبر ۲۰۰۸
۴/۲	-۳	۵۵	۱/۱	NE	۱۷/۴	۲۱ نوامبر ۲۰۰۸
ماه‌های گرم سال						
۰/۷	-۳/۳	۳۷	۲/۹	SW	۲۹/۶	۲۴ آوریل ۲۰۰۸
۴	-۲	۳۷	۳	SW	۳۰	۲۵ آوریل ۲۰۰۸
۴/۱	-۲/۲	۴۲	۲/۵	E	۳۱	۲۶ آوریل ۲۰۰۸
۲/۱	-۰/۶	۶۴	۱	E	۱۹/۶	۲۱ آوریل ۲۰۰۸
۱/۳	-۵	۳۲	۰/۹	NE	۳۴/۶	۳۰ ژوئیه ۲۰۱۱
۴/۵	-۲/۵	۴۰	۲	NE	۳۷/۲	۳۱ ژوئیه ۲۰۱۱
۲/۴	-۳/۲	۵۷	۴/۱	NE	۲۷	۲۰ ژوئیه ۲۰۱۱
۲	-۱/۱	۲۹	۳	NE	۳۶/۳	۱ ژوئیه ۲۰۱۸
۰/۸	-۵/۹	۳۸	۵/۳	NE	۳۴/۸	۲ ژوئیه ۲۰۱۸
۵/۲	-۴/۳	۲۰	۴	E	۳۶	۳ ژوئیه ۲۰۱۸
۵	-۶/۵	۲۲	۳/۵	E	۳۳/۲	۴ ژوئیه ۲۰۱۸
۱/۴	-۶/۱	۵۲	۳/۳	NE	۲۲/۷	۲۱ ژوئن ۲۰۱۸
۲/۳	-۰/۴	۶۱	۲/۱	E	۳۴/۶	۲۶ اوت ۲۰۰۶
۴/۳	-۱/۵	۶۷	۲/۱	E	۳۴	۲۷ اوت ۲۰۰۶
۲/۶	-۱/۵	۶۰	۲/۵	E	۲۸/۶	۲۰ اوت ۲۰۰۶

##### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به دلیل نقش مؤثر پارامتر دما در اقلیم شهری، بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری، طی سال‌های اخیر مدنظر بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است؛ البته در اغلب

پژوهش‌ها به‌ویژه در پژوهش‌های داخلی، این دو پدیده به‌صورت جداگانه و نه در ارتباط با هم، واکاوی شده‌اند و در این زمینه از روش‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده شده است. همچنین بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه در مناطق گرمسیر کشور صورت گرفته است. تفاوتی که پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین داشت، این بود که در پژوهش حاضر، دو پدیده موج گرمایی و جزیره حرارتی شهری در ارتباط با هم و در شهر اردبیل به‌عنوان یکی از مناطق سردسیر کشور بررسی شدند تا مشخص شود که طی سال‌های اخیر موج‌های گرم و نقش آن در گرمایش این شهر چگونه بوده است.

طبق نتایج حاصل، امواج گرمایی طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد سال تجربه شده است که بیشترین فراوانی سالانه و ماهانه این مخاطره در شهر اردبیل در طول دوره آماری مورد مطالعه، در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ و در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است؛ بنابراین احتمال وقوع موج گرمایی در این شهر، در بهار و اواخر تابستان بیشتر است. نتایج همچنین نشان داد که طی دوره مورد مطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی، چهارروزه و بنابراین کوتاه‌مدت بوده است. نتایج این بخش با یافته‌های مطالعات مولودی و همکاران (۱۳۹۵)، کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) و کرم‌پور و همکاران که عنوان کردند طی سال‌های اخیر امواج گرمایی با تداوم کمتر، تکرار و فراوانی بیشتری به‌ویژه در فصل بهار داشته است، همسو بود، اما با یافته‌های پژوهش روهینی و همکاران (۲۰۱۹) که اظهار کردند طی سال‌های اخیر امواج گرمایی بلندمدت افزایش یافته است، همخوانی نداشت. نتایج تحلیل همدیدی که به‌منظور تشریح شرایط سینوپتیک حاکم در زمان وقوع موج گرما و راستی‌آزمایی عملکرد شاخص فومیاکی (Fumiaki) انجام شد، حاکی از استقرار پراتففاع آزر، همگرا شدن هوا، فرونشینی و گرمایش آدیاباتیک هوا مکش هوای گرم و خشک عربستان و شمال عراق در روزهای حاکمیت موج گرما بود که با یافته‌های مطالعات مجرد و همکاران (۱۳۹۴) و خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت داشت. براساس یافته‌های حاصل از بررسی رابطه موج گرمایی و جزیره حرارتی، چه در ماه‌های گرم و چه در ماه‌های سرد، در هر دو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز شهر اردبیل تشکیل شده است که شدت جزیره سرمایی و گرمایی در

زمان حاکمیت امواج گرمایی به‌خصوص در ماه‌های گرم سال بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده است؛ به‌طوری‌که در شب‌های تابستان، در شرایط حاکمیت موج گرمایی تا ۴ درجه سلسیوس نیز افزایش دما در جزیره گرمایی شهر اردبیل تجربه شده است؛ به‌عنوان نمونه، در دوره گرم سال در شرایط حاکمیت موج گرمایی در روز چهارم ژوئیه ۲۰۱۸، جزیره سرمایی روزهنگام، ۶/۵- درجه سلسیوس و جزیره گرمایی شب‌هنگام، ۵ درجه سلسیوس بوده است؛ درحالی‌که در شرایط نبود موج گرمایی، مقادیر جزایر سرمایی و گرمایی به‌ترتیب ۶/۱- و ۱/۴ درجه سلسیوس بوده است. در دوره سرد سال در زمان حاکمیت موج گرمایی در یکم دسامبر ۲۰۰۸، مقادیر جزیره سرمایی روزهنگام و جزیره گرمایی شب‌هنگام به‌ترتیب ۲/۶- و ۳/۸ درجه سلسیوس بوده است؛ درحالی‌که در شرایط نبود موج گرمایی جزیره سرمایی ۳- و جزیره گرمایی ۴/۲ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی از وقوع امواج گرمایی، در ماه‌های گرم محسوس‌تر بوده است. نتایج این بخش نیز از لحاظ تأیید وجود رابطه بین موج گرمایی و جزیره حرارتی و تشدید جزایر حرارتی در زمان حاکمیت امواج گرمایی، در مطالعات بیشتر پژوهشگران داخلی و خارجی تأیید شده است؛ از جمله مطالعات حسینی (۲۰۱۷)، دی رایدر و همکاران (۲۰۱۶)، قبادی و همکاران (۲۰۱۷)، بای و همکاران (۲۰۱۷)، باسارا و همکاران (۲۰۱۸)، مولودی و همکاران (۱۳۹۵)، باعقیده و علیمردادی (۱۳۹۸) و شجاعی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰).

طبق یافته‌های پژوهش حاضر، جزیره حرارتی شهری حتی در شرایط نبود موج گرمایی در مرکز شهر اردبیل وجود داشته و با رخداد موج گرمایی کوتاه‌مدت ۲ روزه نیز تشدید یافته است؛ بنابراین به دلیل اهمیت پارامتر دما و تأثیر افزایش دمای حاصل از امواج گرمایی و جزایر حرارتی در حیات موجودات زنده به‌ویژه انسان، در راستای تعدیل دما در مرکز این شهر، ذکر چند پیشنهاد ضروری به نظر می‌رسد. از جمله:

-مطالعه رابطه موج گرمایی و گرمایش شهری در سایر نقاط سردسیر کشور؛

-در نظر گرفتن جهت باد در ساخت‌وسازهای شهری به‌منظور تخلیه حرارتی بین

ساختمان‌ها؛

-کشت گونه‌های گیاهی مقاوم در برابر نوسانات دمایی؛

- هشدارهای به موقع توسط سازمان‌های ذی ربط در زمان وقوع موج گرمایی به منظور جلوگیری از گرمزدگی ساکنان؛

- با توجه به اینکه طی دوره مورد مطالعه، امواج گرمایی در ماه‌های مارس و آوریل (اواخر زمستان و اوایل بهار) فراوانی بیشتری داشت و با در نظر گرفتن اینکه شهر اردبیل اغلب با سرمای دیررس بهاره مواجه است، وقوع موج گرمایی در اوایل بهار و تداوم چندروزه آن می‌تواند سبب شکوفه‌دهی درختان و جوانه‌زنی محصولات زراعی شود که با ورود موج گرمایی به منطقه، دچار سرمازدگی شود و خسارات فراوان اقتصادی به دنبال داشته باشد؛ بنابراین ارائه آموزش و توصیه‌های لازم توسط متخصصان امر، به کشاورزان و باغداران الزامی است.

### تشکر و قدردانی

با سپاس از همکاری سازمان هواشناسی کشور، مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری است.

### کتابنامه

۱. اسمعیل نژاد، م.، خسروی، م.، علیجانی، ب.، مسعودیان، و س. ا. (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۱ (۳۳)، ۵۴ - ۳۹.
۲. خورشید دوست، ع. م.، زنگنه‌ی شهرکی، س.، زارعی، ی.، محمودی، س. (۱۳۹۶). تحلیل هم‌مدیدی مخاطره امواج گرما در شمال غرب ایران. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۴ - ۱.
۳. شجاعی زاده، ک.، خالدی، ش.، و اکبری ایرانی، ط. (۱۴۰۰). واکاوی ارتباط امواج گرمایی با جزایر حرارتی شهر (مطالعه موردی: شهرستان آبادان). *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۴)، ۱۹۳-۲۰۷.
۴. عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). *تغییر اقلیم*. تهران: نشر قومس، چاپ اول.
۵. کاشکی، ع.، کرمی، م.، باعقیده، م.، و علیمرادی، م. ر. (۱۳۹۸). واکاوی آماری امواج گرمایی زابل. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*، ۱ (۳)، ۵۵-۴۰.



۶. کرم‌پور، م.، رفیعی، ج.، جعفری، ا. (۱۳۹۶). شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان، کرمانشاه). *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، ۲۶۳-۲۷۹.
۷. مجرد، ف.، معصوم‌پور، ج.، رستمی، ط. (۱۳۹۴). تحلیل آماری - همبندی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات طبیعی*، ۱-۱۴.
۸. مجرد، ف.، ناصریه، م.، و هاشمی، س (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۴(۲)، ۴۹۴ - ۴۷۹.
۹. مسعودیان، س.ا.، و ترکی، م. (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلانشهر اهواز با کمک از داده‌های مودیس. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۱، ۷۵-۹۲.
۱۰. مسعودیان، س.ا.، م. دارند، ۱۳۹۰. تحلیل همبند سرمایه‌های فرین ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۲۲، ۱۸۵-۱۶۵.
۱۱. منصوری، ا.، ب. امین نژاد و ح. احمدی، ۱۳۹۷. بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد کارون براساس گزارشات چهارم و پنجم IPCC. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۲(۲)، ۳۴۵-۳۵۹.
۱۲. مولودی، گ.، خورانی، ا.، م. عباس. (۱۳۹۴). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۱)، ۱-۱۴.
۱۳. هوشیار، م.، ب. سبحانی، و س.ا. حسینی، ۱۳۹۷. چشم انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2. *نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۲(۶۳)، ۳۰۵-۳۲۵.
14. Ahmadnezhad, E., Holakouie, K., Ardalan, A., Mahmoudi, M. Younesian, M., Nddafi, K. and Mesdaghinia, A., 2013. Excess Mortality during Heat Waves, Tehran, Iran: An Ecological Time-Series Study. *Journal Punlmed*, 13(1), 24-31.
15. A. Añel, J., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X., & de la Torre. L. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, 10, 1-13.
16. Almusaed, A. (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. *Biophilic and Bioclimatic Architecture*, 21, 139-150.

17. Bai, L., Gangqiang, D., Shaohua, G., Peng, B., Buda, S., Dahe, Q., Ramamurthy, P., & Bou Zeid E. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of geophysical research Atmospheres an AGU JOURNAL*, 122, 168-178.
18. Basara, J., Basara, H., Bradley, I., & Kenneth, C. (2018). The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*, 7, 1-10.
19. De Ridder, K., Maiheu, B., Lauwaet, D., Daglis, I A., Keramitsoglou, I., Kourtidis, K., Manunta, P., & Paganini, M. (2016). Urban Heat Island Intensification during Hot Spells-The Case of Paris during the summer of 2003. *Urbanscience*, 1, 1-11.
20. Dobrovolny, P., & Krahula, L. (2015). The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, 23, 8-16.
21. Feng, C., Xuchao, Y., & Weiping Z. (2014). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric Research*, 138, 364-377.
22. Feron- Sarah, R., Cordero, R., Alessdro- Damiani, P., Llanillo, J., Jorquera, J., Sepulveda, E., Asencio, V., Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., & torres, G. (2019). Observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific Reportst*, 9, 1-15.
23. Founda, D., & Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). *Scientific Reports*, 7, 1-16.
24. Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., & Nakamigawa, H. (2007). Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, papers in Meterology and Geophysics, IPCC, 85, 63-70.
25. Ghobadi, A., Khosravi, M., & Tavousi T. (2017). Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. *Urban Climate*, 10, 1-16.
26. Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.
27. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., & King, L. (2015), Heat Wave Events over Georgia since 1961: Climatology, Changes and Severity, *Climate*, 3(2), 308-328
28. Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2017). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21, 1-8.
29. Kim YH, Baik JJ. 2005. Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44, 591-605.
30. Landsberg, H. E. 1981. The urban climate. USA: International Geophysics Series v: 28.

31. Lazzarini, M., Marpu, P.R., & Ghedira, H. (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, 130, 136-152.
32. Lemonsu, A., Vigiúé, V., Daniel, M., Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586-605.
33. Paravantis, J., Santamouris, M., Constantinou, C., Efthymiou, C., & Kontoulis N. (2017). Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heatwaves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, *Sustainability*, 606, 2-22.
34. Ramamurthy, P., & Bou Zeid E. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1, 168-178.
35. Rohini, P., Pajeevan, m., & Mukhopahay, P. (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, (53), 975-988.
36. Weihe, Z., Shuang, Ji., Tsun-Hsuan, Ch., Hou, Y., & Zhang, K. (2014). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research*, 135, 81-87.
37. Weng, Q., Rajasekar, U., & Hu, X. (2011). Modeling urban heat islands and their relationship with impervious surface and vegetation abundance by using ASTER images. *Geoscience and Remote Sensing*, 49(10), 4080-4089.
38. Wilks, D.S. (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA 648.
39. Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Ridder, D., Kropp, K., & D- Rybski, J. (2016). Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55, 493-505.