



واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری

مطالعه موردی: کلان شهر اهواز

رقیه ملکی مرشد^۱، دکتر بهروز سبحانی^{۲*}، دکتر مسعود مرادی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری از پدیده‌هایی هستند که جوانب مختلف حیات انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان شهر اهواز از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ است. بدین منظور پس از آماده‌سازی داده‌های حداکثر دمای ایستگاه سینوپتیک اهواز طی دوره آماری مذکور، روزهای گرمی که دمای آن‌ها بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت، با استفاده از شاخص فومیایی و در محیط نرم‌افزار متلب به‌عنوان روزهایی توأم با موج گرمایی تعریف شد و سپس در جهت بررسی تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی در ماه‌های گرم و سرد سال جزایر حرارتی برای روزهای گرم و شب‌هنگام و توأم با موج گرما و یک روز عادی با کمترین دمای حداکثر به‌عنوان روز بدون موج گرما حداکثر تا دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس-آکوا، محاسبه شد. طبق نتایج، بیشترین امواج گرمایی شهر اهواز در اواخر دوره سرد سال رخ داده که در مارس ۲۰۱۰ بوده و از نظر تداوم، ۷ روزه و بلندمدت بوده‌است. یافته‌ها همچنین نشان دادند، اگرچه در هردو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، در مرکز این شهر، اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی تشکیل یافته؛ اما در شرایط موج گرمایی در روزهای گرم اغلب جزیره سرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده‌است و در شب‌هنگام جزیره گرمایی اغلب نسبت به شرایط عادی شدت بیشتری داشته است. در مجموع، به نظر می‌رسد رخ داد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی شهر اهواز هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد تأثیر داشته که البته این شرایط در ماه‌های گرم محسوس‌تر از ماه‌های سرد بوده‌است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۷، تابستان ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷
صفحات: ۱۱۷-۱۰۲



واژه‌های کلیدی:
امواج گرمایی، جزایر حرارتی، کلان شهر اهواز.

مقدمه

نواحی کم‌تراکم‌تر اطرافش دارد، شناسایی می‌شود. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه اقلیم شهری محسوب می‌شود (Khandelwal & et al, 2017: 1). شرایط اتمسفری را که حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس می‌سازد و با اضافه شدن تنش شدید آلاینده سمی، به تنش خطرناک هوای گرم موجود، یک مشکل زیست‌محیطی در ابعاد وسیع به وجود می‌آورد (Almusaed, 2011: 139).

پژوهشگران بر این باورند که طی سال‌های اخیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی منجر به افزایش بسامد و تداوم امواج گرمایی در نقاط مختلف جهان شده؛

موج گرمایی به‌عنوان تداوم غیرمعمول و استثنایی هوای گرم تعریف شده‌است (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۷). امواج گرمایی از مهم‌ترین مخاطرات آب‌وهوایی است که بیش از ۵ روز دوام داشته و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای انسان و محیط زیست ایجاد بحران کند (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۲) و کاهش پیامدهای ناشی از این مخاطره، در گرو شناسایی سامانه‌های جوی ایجادکننده و پیش‌بینی زمان و مکان وقوع آن‌ها است. شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی با عنوان اقلیم شهری تجربه می‌کنند، اقلیم شهری به‌واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دما، رطوبت، باد، بارش) از

پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داده است که جزیره حرارتی عمدتاً حاصل از ذخیره زیاد گرما در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب است. وی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) در جهت مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریتر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداخته اند. طبق نتایج به دست آمده از پژوهش آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. دابراوالنی و کراهولا^۳ (۲۰۱۵) تغییرات فضایی دمای هوا و شدت شبانه جزیره حرارتی شهر برنو، در جمهوری چک را بررسی کردند. طبق نتایج حاصل، شاخص های پوشش گیاهی طبیعی (NDVI) و تراکم ساختمان ها، مهم ترین عوامل توجیه کننده افزایش ۵ درجه ای شدت جزایر حرارتی اوایل شب در تابستان بوده اند که از مرکز شهر به سمت حومه، از شدت آن کاسته شده است. لیمونسو و همکاران^۴ (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر سناریوی توسعه شهری بر جزیره گرمایی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. براساس نتایج به دست آمده، در شهرهای متراکم، با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر جزیره حرارتی هستند، آسیب پذیری کل جمعیت تشدید می شود.

حسینی^۵ (۲۰۱۶) جزیره گرمایی شهر تهران را بررسی کردند و نتایج حاصل نشان داده است که این شهر طی روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی داشته است. کمترین میزان جزیره سرمایی ۴- درجه کلون در ماه مارس و بیشترین مقدار جزیره گرمایی ۳/۹ درجه کلون در ماه مه بوده است. زهو و همکاران^۶ (۲۰۱۶) به ارزیابی فصلی بودن جزیره حرارتی سطحی

بنابراین افزایش مداوم دمای شهر با عنوان جزیره حرارتی شهری از یک سو و رخ داد ناگهانی امواج گرمایی به عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی از سوی دیگر، سبب نگرانی سیاست گذاران مدیریت شهری شده است؛ زیرا رخ داد این دو پدیده، می تواند سبب تشدید گرمای شهرها به خصوص در شهرهای گرمسیر شده و در نتیجه خسارات زیست محیطی فراوانی را به دنبال داشته باشد. طبق توضیحات ارائه شده و با توجه به پیامدهای زیست محیطی ناگوار و عواقبی که رخ داده ها فرین های اقلیمی همچون موج گرمایی به دنبال دارند، ضرورت پژوهش در این زمینه محسوس تر می شود.

هدف از پژوهش حاضر، واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان شهر اهواز طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ است. شهر اهواز به دلیل قرار گیری در معرض نفوذ پراارتفاع آזור و هوای گرم و خشک بیابان های آفریقا و عربستان، سالانه امواج گرمایی فراوانی را تجربه می کند؛ از این رو پی بردن به ویژگی امواج گرمایی این شهر و تأثیر آن بر تشدید جزایر گرمایی شهری، مسئله مهمی است که می تواند به برنامه ریزی در بخش های مختلف از جمله: منابع آب، کشاورزی و محیط زیست کمک کند و آگاهی ها، توصیه ها و راه کارهای لازم را به کشاورزان، باغ داران و مسئولان ستاد حوادث غیر مترقبه شهر اهواز ارائه کند تا در صورت افزایش ناگهانی دمای هوا در اثر وقوع هم زمان این دو پدیده، اقدامات لازم در جهت مدیریت بحران انجام گیرد. بررسی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری طی سال های اخیر اغلب مورد توجه پژوهشگران خارجی قرار گرفته، با این حال در پژوهش های داخلی نیز مطالعه این دو پدیده به صورت جداگانه انجام شده است. در این بخش به چند مورد از پژوهش های داخلی و خارجی اشاره می شود: فتح و همکاران^۱ (۲۰۱۴) به شبیه سازی جزیره حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم در شهر هنگزو در چین

2. Weihe et al
3. Dobrovolny and Krahula
4. Lemonsu et al
5. Hosseini
6. Zhou et al

1. Feng et al

وجود داشته‌است. در شهرهای بزرگ در مقایسه با شهرهای کوچک، جزیرهٔ حرارتی هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی تقویت شده‌است. پاراوانتیس و همکاران^۶ همکاران^۶ (۲۰۱۷) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیرهٔ حرارتی شهری را در مرگومیر روزانهٔ قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کرده و یافته‌های پژوهش آنان نشان داده‌است که همبستگی زیادی بین مرگومیر روزانهٔ قلبی و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. به‌طوری‌که در دمای متوسط مرگومیر کم‌تر بوده، اما در دماهای بالا و بسیار بالا، این مرگومیرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش یافته‌است. درنهایت طبق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، بیشترین میزان مرگومیر در اثر امواج گرمایی گزارش شده‌است. فوندا و سانتاموریس^۷ (۲۰۱۷) رابطهٔ امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آتن را مطالعه کردند. طبق یافته‌های آنان، در روز حادثه، همبستگی قوی بین جزیرهٔ حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته‌است که این امر می‌تواند موجب افزایش چشم‌گیر خطر گرما در شهرها و آسیب‌پذیری جمعیت شهری شود. ای-آنل و همکاران^۸ (۲۰۱۷) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایایی و گرمایی می‌تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود.

باسارا و همکاران^۹ (۲۰۱۸) تأثیرپذیری جزیرهٔ حرارتی شهری، طی رخداد موج گرمایی شدید در شهر اوکلاهما را بررسی کرده و نتایج تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داده‌است که طی حاکمیت امواج گرمایی، یک جزیرهٔ حرارتی در مرکز شهر ایجاد شده‌است.

شهر لندن پرداختند. آنان با روش ترکیبی مشاهدات ماهواره‌ای به مدل‌سازی آب‌وهوای لایهٔ مرزی شهر با استفاده از مدل اقلیم شهر (UrbClim)^۱ پرداختند. نتایج بررسی‌های آنان نشان داده‌است که مدل اقلیم شهری می‌تواند به‌طور رضایت‌بخشی، دمای سطح زمین (LST)^۲ شهری و روستای و دمای هوای ۲ متری سطح زمین را به‌طور رضایت‌بخشی بازسازی کند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داده‌است که تغییرات دمای سطح زمین، می‌تواند عمدتاً با تغییرات فصلی تابش دریافتی خورشید در ارتباط باشد. دی رایدر و همکاران^۳ (۲۰۱۶) تشدید جزیرهٔ حرارتی شهری در طول رخداد امواج گرمایی در تابستان ۲۰۰۲ در پاریس را بررسی کردند. پژوهش آنان در مرحلهٔ اول، براساس دمای مشاهده‌شده از یک منطقهٔ شهری و روستایی انجام شد و نتایج حاصل نشان داده‌است که شدت جزیرهٔ حرارتی شهری، در طول رخداد امواج گرمایی افزایش می‌یابد که میزان آن ۰/۱ درجهٔ سلسیوس بوده‌است. قبادی و همکاران^۴ (۲۰۱۷) به پژوهش دربارهٔ تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی در شهر کرج پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری-سینوپتیکی آنان نشان داده‌است که در روزهای حاکمیت امواج گرمایی، جزیرهٔ گرمایی شهری (UHI) در منطقهٔ مورد مطالعه تشدید شده و درجهٔ حرارت شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، حدود ۱ درجهٔ سلسیوس در روز و ۲/۵ درجهٔ سلسیوس در شب گرم‌تر است. لی بای و همکاران^۵ (۲۰۱۷) در پژوهشی پژوهشی با تحلیل مقایسه‌ای، به بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی در چند شهر پرداخته‌اند. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنان، در شهرهایی با وسعت یکسان، رابطهٔ متفاوتی بین امواج گرمایی و جزایر حرارتی

1. Urban climate model
2. land surface temperature
3. De Ridder et al
4. Ghobadi et al
5. Li Bai et al

6. Paravantis & et al
7. Founda & Santamouris
8. A-Añel & et al
9. Basara & et al

با موج گرمایی شناسایی می‌شود. پدیده دیگر کلان‌شهرها، جزیره حرارتی شهری (UHI) است، این پدیده، دمای بالاتر شهرها نسبت به دمای نواحی روستایی حومه است که جزیره‌ای از هوای گرم ایجاد می‌کند که به آن جزیره گرمایی گفته می‌شود. این پدیده در شب‌های آرام و صاف بر روی شهر گسترش می‌یابد (عزیزی، ۱۳۸۳: ۴۳۴) و سنجنده مودیس-آکوا، یکی از سنجنده‌هایی است که با ارائه داده‌های دمای رویه زمین در محاسبه جزیره حرارتی کمک می‌کند. MODIS یا اسپکترو رادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که بر روی ماهواره آکوا (EOS PM) راه‌اندازی شده 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 برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. اعتبارسنجی در سطح ۳ برای تمام محصولات بازتابندگی سطح مودیس انجام شده است. MOD11_A2 و MYD11_A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی ۸ روزه در سطح ۳، تشکیل شده از محصول LST روزانه ۱ کیلومتر مادیس (MOD11A1 و MYD11A1) است و بر 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 و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۳۶).

محدوده مورد مطالعه

شهر اهواز یکی از کلان‌شهرهای ایران است که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار دارد و از سال ۱۳۰۳ تاکنون به‌عنوان مرکز استان خوزستان شناخته می‌شود. جمعیت این شهرستان طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ حدود ۱۳۰۳۰۰۰ نفر است (که با احتساب ۴۰۰ هزار نفری حاشیه شهر، جمعیت این شهر به بالای ۱۷۰۰۰۰۰ نفر می‌رسد) که به‌عنوان

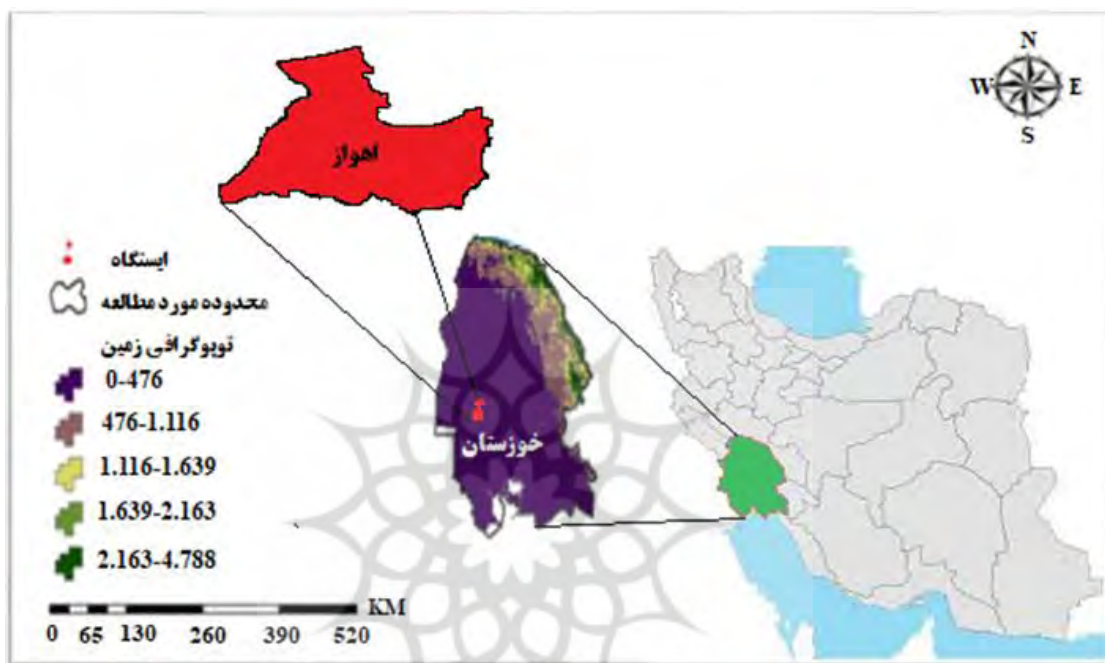
روهینی^۱ (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداخته و افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. فرون و همکاران^۲، (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آنان از ۵ مدل CMIP5 تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده کرده و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک شاخص فومیاکی و با استفاده از مدل CMIP5 اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس را بررسی کردند. نتایج حاصل، نشان داده‌اند که امواج گرمایی کوتاه مدت، رخداد بیشتری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به واکاوی آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل آنان نشان داد که در منطقه مورد مطالعه آنان موج‌های گرمایی کم‌دوام، رخداد بیشتری داشته و امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است. همچنین طبق یافته‌های آنان، امواج گرمایی روند افزایشی داشته است.

از نظر آماری، امواج گرمایی به نوسان‌های مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دماهای حداکثر روزانه گفته می‌شود که طی روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌های متوالی) در فضاهای جغرافیایی خاصی استمرار زمانی دارند (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۲). برای شناسایی روزهای فرین گرم شاخص‌های مختلفی وجود دارد، یکی از این شاخص‌ها، شاخص به‌هنگار شده دما، فومیاکی^۳ است که با کمک آن و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب^۴، روزهای گرم با دمای بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بیشتر از میانگین NTD^۵ که حداقل به مدت ۲ روز تداوم داشته باشد، به‌عنوان روزهایی توأم

1. Rohini et al
2. Feron et al
3. Fumiaki
4. MATLAB
5. Normalized Thermal Deviation

خوزستان و با ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا واقع شده‌است (نظرصدی و گندمکار، ۱۳۹۹: ۱۵۵). شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

هفتمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید. اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای



شکل ۱:

موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

گرفته شد. به منظور 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 وقوع موج گرمایی با تداوم دو روزه و بالاتر در آن روز قرار گیرد. میانگین بلندمدت دماهای هر روز با رابطه ۱ به دست می‌آید (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳):

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i,j,n) \div N \quad (1)$$

در این رابطه $T(i,j,n)$ دمای روز n ام از ماه j ام در سال i ام $\overline{T(i,j)}$ میانگین بلندمدت دمای روز i

داده‌ها و روش‌ها

روش شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی با استفاده از شاخص فومیاکی

در جهت شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک اهواز، طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و با کمک شاخص بهنجار شده دما فومیاکی^۱ و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب، روزهای گرمی که دست کم ۲ روز تداوم داشته و دمای آن بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی در نظر

ام، از ماه ژان است. برای ازبین بردن نوفه‌های (نویز) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر 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 زودگذر محلی که موجب نوسان دما شده‌اند، حذف و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس با استفاده از رابطه ۲، انحراف دمای هریک از روزهای مورد بررسی، نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد (Fujibe et al, 2007: 65: اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳).

(۲)

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

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

(۳)

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

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

(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) از رابطه ۵ محاسبه شد:

(۵)

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

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

(۶)

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

$$NTD(i), (i+1), \dots$$

روش محاسبه جزایر حرارتی شهری در ماه‌های گرم و سرد سال

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی میزان تأثیرگذاری امواج گرمایی بر تشدید جزیره حرارتی شهری کلان‌شهر اهواز طی دوره مورد مطالعه، روزهای توأم با موج گرمایی و همچنین یک روز نمونه با کمترین دمای حداکثر تا دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد انتخاب شد.

سپس داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس-آکوا (MYD11A1) برای شب‌هنگام ساعت ۰۳:۴۰-۰۲:۵۴ و روزهنگام ساعت ۱۵:۱۸-۱۳:۴۸، از وبسایت ناسا^۲ (<http://modis.gsfc.nasa.gov>)، با تفکیک مکانی اسمی ۱×۱ کیلومتر و تفکیک واقعی آن ۹۲۶/۸۸۲۹ متر (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸: ۱۷۸) در سیستم

سطح مناطق شهری-کشاورزی، شهری-آب نیز استفاده شده است. در پژوهش حاضر، جزیره حرارتی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد:

(۷)

$$SUHI = LST_{urban} - LST_{rural}$$

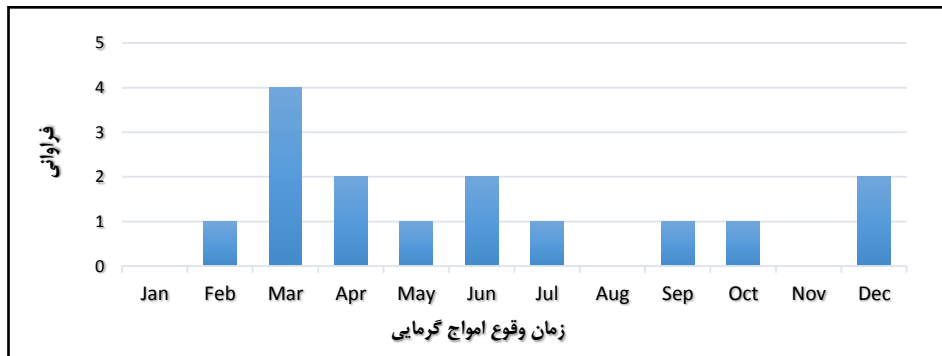
که در این رابطه، SUHI شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری، LST_{rural} و LST_{urban} به ترتیب، میانگین دمای سطح زمین مناطق شهری و غیرشهری هستند. میانگین دمای مناطق شهری از میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل شهر و میانگین دمای مناطق غیرشهری، از میانگین دمای تمام یاخته‌های محدوده بیرونی شهر به دست آمد. برای مطالعه نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۴).

نتایج و بحث

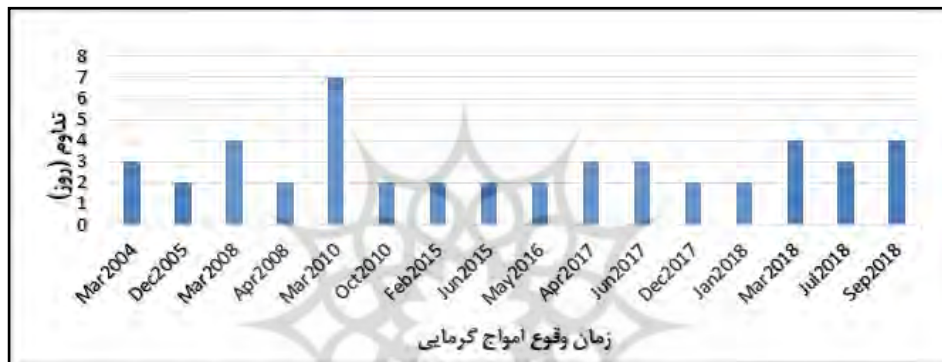
نتایج بررسی روزهای توأم با موج گرمایی

با اعمال شاخص فومیکی، امواج گرمایی شهر اهواز شناسایی و به دو دسته امواج کوتاه و بلند تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین ۲ تا ۵ روزه با عنوان امواج گرمایی کوتاه مدت و امواج با تداوم ۶ روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلند مدت معرفی شد). براساس نتایج حاصل، طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) بیشترین فراوانی رخداد مخاطره موج گرما در شهر اهواز در ماه مارس بوده است (شکل ۲). از نظر تداوم، طی ۱۶ سال مورد مطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی در سال ۲۰۱۰ بوده و ۷ روز تداوم داشته است؛ بنابراین امواج گرمایی در این شهر بلند مدت بوده است (شکل ۳).

تصویری سینوسی به صورت روزانه طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) دریافت شد. در جهت تعیین محدوده شهری، از میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل شهر استفاده شد و منطقه روستایی به فاصله ۵ کیلومتر در اطراف آن در نظر گرفته شد. سپس توزیع فراوانی دمای رویه زمین در این گستره روستایی از کمترین تا بیشترین مقدار ثبت شده محاسبه شد. در ادامه، دمایی که بیشترین فراوانی را در منطقه روستایی داشت به عنوان نماینده منطقه روستایی انتخاب شد و سپس جزایر گرمایی در روزهای مورد نظر در نرم افزار MATLAB محاسبه شد. در نهایت شدت جزایر گرمایی در روزهای همراه با موج گرمایی و روزهای بدون موج گرمایی مقایسه شد. یکی از دلایل انتخاب سنجنده مودیس در جهت بررسی جزیره گرمایی شهر اهواز این است که این سنجنده قادر است دمای رویه زمین را با دقتی بهتر ۱ درجه سلسیوس برآورد کند (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸: ۷۸). برداشتهای مودیس-آکوا به این دلیل انتخاب شدند که نسبت به مودیس ترا به ساعات میانه روز و میانه شب (مقادیر فرین روزانه) نزدیک تر بودند. در جهت تأیید درستی نتایج تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت باد و رطوبت نسبی، در روزهای مورد مطالعه، از سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ و واکاوری شد. معمولاً برای 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 اندازه گیری می‌کند، بسته به کاربری غالب اطراف شهر، شاخص‌های دیگری از جمله تفاوت دمای



شکل ۲: فراوانی ماهانه امواج گرمایی شهر اهواز طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

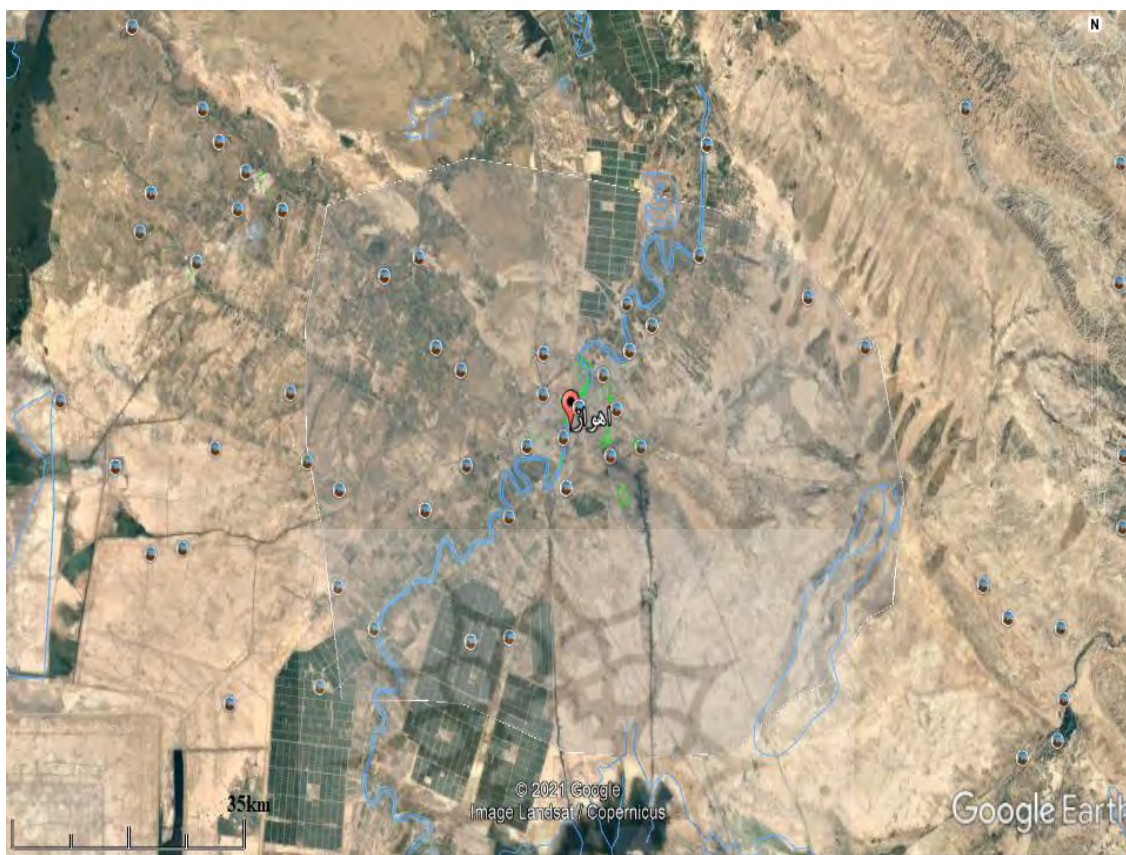


شکل ۳: زمان وقوع و تداوم امواج گرمایی در شهر اهواز طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

محاسبه شده در جدول ۱ ارائه شده است. طبق جدول مذکور، در مواردی که میزان اختلاف دمای رویه زمین در مناطق شهری و غیرشهری مثبت است، جزیره گرمایی شهری و در موارد منفی، جزیره سرمایی در مرکز شهر اهواز ایجاد شده است. همچنین در جدول ۱ مقادیر دمای حداکثر، سرعت و جهت باد و درصد رطوبت نسبی در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی ارائه شده است. با توجه به ابری بودن هوا و ثبت نشدن دمای رویه زمین توسط مودیس-آکوا در دوره سرد سال، امکان محاسبه و بررسی چگونگی جزایر حرارتی در شرایط حاکمیت امواج گرمایی تنها در زمان حاکمیت دو موج گرمایی کوتاه مدت پرداخته شد.

نتایج واکاوی تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی

در این بخش، به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری شدت جزایر حرارتی از رخداد امواج گرمایی شهر اهواز (در روزهای بدون ابر)، در ماه های گرم و سرد سال و مقایسه آن با روزهای عادی قبل از وقوع امواج گرمایی با کمترین دمای حداکثر، از داده های دمای رویه زمین (LST) در برداشت های روز هنگام و شب هنگام مودیس-آکوا طی دوره آماری ۱۶ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۸) استفاده شد. در تصویر ۴، محدوده شهر اهواز و حومه آن، تا فاصله ۵ کیلومتری از مرکز این شهر (شامل مرکز شهر و مناطق غیرشهری اطراف آن) به منظور بررسی جزیره حرارتی نشان داده شده و مقادیر جزیره حرارتی



شکل ۴: محدوده شهر اهواز

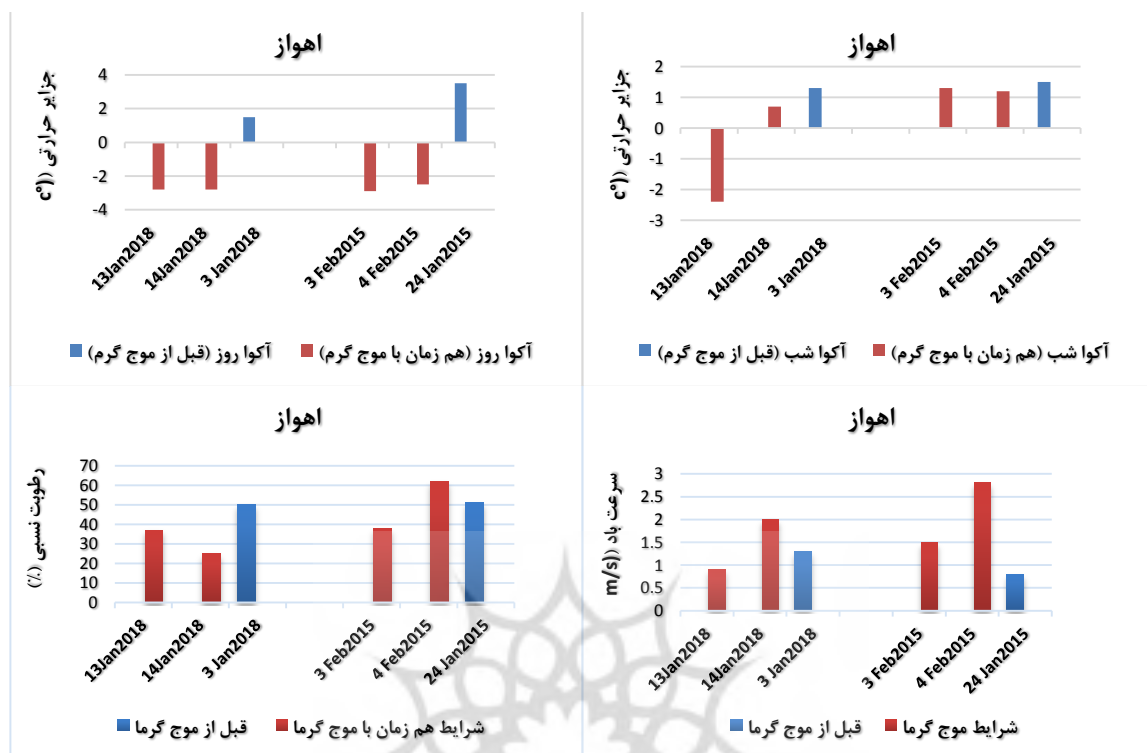
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

۲۰۱۸، در بقیه موارد در زمان حاکمیت امواج گرمایی درصد رطوبت نسبی بیشتر از روزهای عادی بوده است. همچنین در این شهر جهت باد در زمان وقوع امواج گرمایی اغلب شمال غربی بوده، اما در روزهای بدون موج گرمایی اغلب باد غربی در منطقه جریان داشته است. همان طور که ذکر شد، هم در زمان وقوع امواج گرمایی و هم در شرایط عادی در روز هنگام جزیره سرمایی وجود داشته که شدت این جزیره سرمایی در زمان حاکمیت امواج گرمایی بیشتر از شرایط عادی بوده به طوری که به جز یک مورد، در بقیه موارد قبل از موج گرمایی جزیره سرمایی وجود داشته، اما با وقوع موج گرمایی جزیره سرمایی نسبتاً قوی در مرکز این شهر تشکیل یافته است. بررسی نمودار مربوط به جزیره حرارتی در شب هنگام نیز نشان داد که به

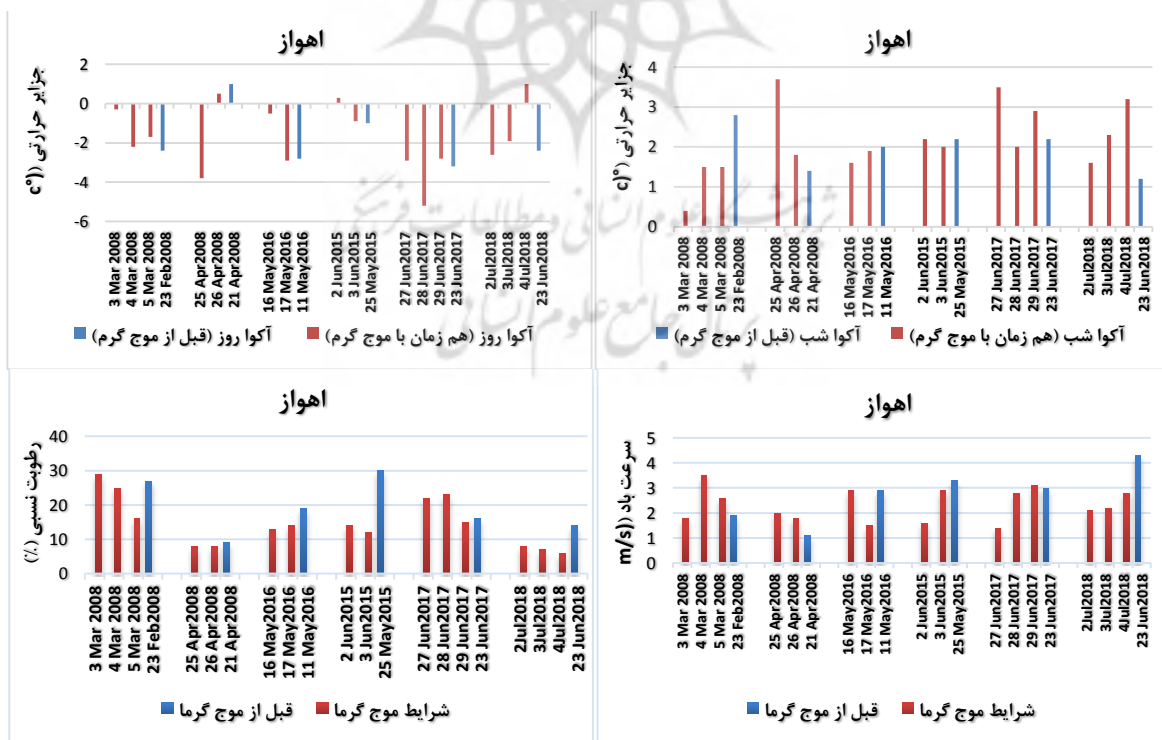
براساس نتایج حاصل، چه قبل از امواج گرمایی و چه همزمان با رخداد امواج گرمایی هم در ماه های گرم و ماه های سرد، اغلب در روز هنگام دمای رویه زمین در مرکز شهر از دمای مناطق غیر شهری اطراف آن کمتر ولی در شب هنگام، بیشتر بوده است؛ بنابراین اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز شهر تشکیل شده است. همچنین طبق نتایج، تداوم امواج گرمایی نقش چندانی بر تشدید جزایر حرارتی نداشته و تأثیر پذیری جزایر حرارتی از امواج گرمایی کوتاه مدت و بلند مدت، تقریباً یکسان بوده است. طبق جدول ۱ و تصویر ۵ در ماه های سرد در شهر اهواز همزمان با رخداد امواج گرمایی حداکثر سرعت باد بیشتر از شرایط عادی بوده است. بررسی وضعیت رطوبتی نسبی نیز نشان داد که به استثنای ژانویه

بالاترین میزان اختلاف در شدت جزایر گرمایی شبانه در ۴ ژوئیه ۲۰۱۸ بوده که به میزان ۲ درجه سلسیوس بیشتر از روز عادی (۲۳ ژوئن ۲۰۱۸) بوده است. مقایسه جزایر حرارتی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال نشان داد که اگرچه رخداد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی شهر اهواز هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد تأثیر داشته و شدت جزیره گرمایی شبانه هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد دست‌کم در یک مورد تا ۲ درجه سلسیوس نسبت به شرایط عادی افزایش یافته است و اغلب شدت جزیره گرمایی روز هنگام هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده و در شب هنگام اغلب جزیره گرمایی در زمان حاکمیت امواج گرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده، اما در مجموع تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی در ماه‌های گرم محسوس‌تر بوده است. در شکل ۷ نقشه‌های شدت جزیره حرارتی کلان‌شهر اهواز بر اساس داده‌های روز هنگام و شب هنگام مودیس- آکوا، به ترتیب برای سوم فوریه ۲۰۱۵ (الف، ب) به عنوان نماینده دوره سرد سال و چهارم ژوئیه ۲۰۱۸ (ج، د) به عنوان نماینده دوره گرم سال، ارائه شده است. در روزهای منتخب، دو پدیده موج گرمایی و جزیره حرارتی به‌طور هم‌زمان رخ داده که طبق نقشه‌های ارائه شده، تحت حاکمیت موج گرمایی در هر دو تاریخ در شب هنگام جزیره گرمایی و در روز هنگام جزیره گرمایی در مرکز این کلان‌شهر تشکیل شده که البته شدت جزایر گرمایی و سرمایی در دوره گرم سال (چهارم ژوئیه ۲۰۱۸) بیشتر از دوره سرد سال (سوم فوریه ۲۰۱۵) بوده است.

استثنای ۱۳ ژانویه ۲۰۱۸، در بقیه موارد در زمان حاکمیت امواج گرمایی در منطقه، جزیره گرمایی در مرکز شهر اهواز تشکیل شده است که البته در شب‌های بدون موج گرمایی نیز جزیره گرمایی تجربه شده است؛ اما تفاوتی که مشاهده شد این است که به استثنای موج گرمایی دو روزه آوریل ۲۰۰۸ که جزیره گرمایی ۲ درجه سلسیوس در روز نخست آن (۲۵ آوریل) بالاتر از شرایط عادی بوده، در بقیه موارد شدت جزایر گرمایی شبانه در شرایط نبود موج گرمایی بیشتر از شرایط حاکمیت موج گرمایی بوده است. در ماه‌های گرم سال (جدول ۱ و تصویر ۶) در زمان وقوع امواج گرمایی در شهر اهواز، درصد رطوبت نسبی به استثنای موج گرمایی ۳ روزه در ژوئن ۲۰۱۷، در بقیه موارد کمتر از روزهای عادی بوده است. همچنین بررسی حداکثر سرعت باد نشان داد که در زمان حاکمیت امواج گرمایی، اغلب سرعت باد کمتر از روزهای عادی بوده است. در این شهر در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی باد اغلب جریان شمال غربی داشته است. تحلیل شدت جزایر حرارتی نشان داد که به استثنای ۴ ژوئیه ۲۰۱۸ و ۲ ژوئن ۲۰۱۵، اغلب در روز هنگام در زمان وقوع امواج گرمایی، جزیره سرمایی در مرکز شهر اهواز تشکیل شده که در هر موج گرمایی دست‌کم در یک روز شدت آن بیشتر از روز عادی بوده است. همچنین طبق نمودار مربوط به مقایسه جزایر حرارتی در شب هنگام (شکل ۶)، چه قبل از موج گرمایی و چه هم‌زمان با رخداد این پدیده، اغلب جزیره گرمایی در مرکز شهر اهواز وجود داشته است که به استثنای موج گرمایی ۲ روزه ماه مه ۲۰۱۶، در بقیه امواج گرمایی شدت جزایر گرمایی شبانه به‌طور محسوس بیشتر از شدت آن در شرایط عادی بوده است.



شکل ۵: مقایسه جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی شهر اهواز در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های سرد (۲۰۰۳-۲۰۱۸) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰



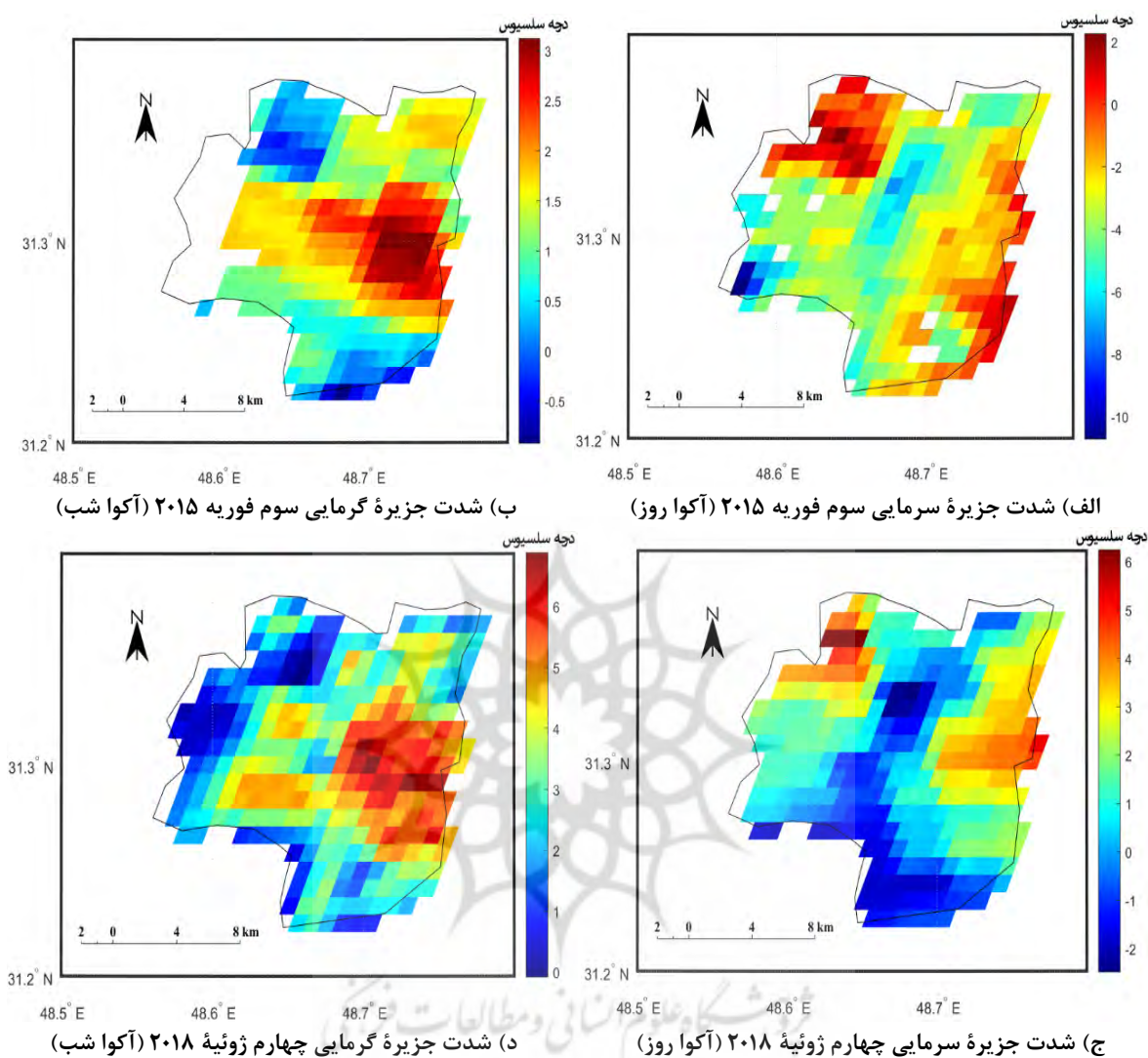
شکل ۶: مقایسه جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی شهر اهواز در شرایط وجود و عدم موج گرمایی

در ماه‌های گرم (۲۰۰۳-۲۰۱۸) (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۱: جزیره حرارتی محاسبه شده در ماههای سرد و گرم در شرایط وجود و عدم موج گرمایی (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

جزیره حرارتی سطحی شهر اهواز (SUHI)(°C)		رطوبت نسبی (%)	سرعت باد M/S	جهت باد	حداکثر دما (°C)	پارامترهای مورد بررسی	شرایط وجود و عدم موج گرمایی
مودیس آکوا							
شب	روز						
۰۲:۳۱-۰۳:۵۳	۱۳:۳۸-۱۵:۲۴						
ماههای سرد سال							
-۲/۴	-۲/۸	۳۷	۰/۹	NE	۲۳/۹	۱۳ ژانویه ۲۰۱۸	HW
۰/۷	-۲/۸	۲۵	۲	S	۲۵/۴	۱۴ ژانویه ۲۰۱۸	
۱/۳	۱/۵	۵۰	۱/۳	N	۲۰	۳ ژانویه ۲۰۱۸	NHW
۱/۳	-۲/۹	۳۸	۱/۵	S	۲۶/۶	۳ فوریه ۲۰۱۵	HW
۱/۲	-۲/۵	۶۲	۲/۸	SE	۲۶/۴	۴ فوریه ۲۰۱۵	
۱/۵	۳/۵	۵۱	۰/۸	W	۲۲	۲۴ ژانویه ۲۰۱۵	NHW
جزیره حرارتی سطحی شهر اهواز (SUHI)(°C)							
مودیس آکوا		رطوبت نسبی (%)	سرعت باد M/S	جهت باد	حداکثر دما (°C)	پارامترهای مورد بررسی	شرایط وجود و عدم موج گرمایی
شب	روز						
۰۲:۳۱-۰۳:۵۳	۱۳:۳۸-۱۵:۲۴						
ماههای گرم سال							
۰/۴	-۰/۳	۲۹	۱/۸	NW	۳۰	۳ مارس ۲۰۰۸	HW
۱/۵	-۲/۲	۲۵	۳/۵	W	۲۳/۲	۴ مارس ۲۰۰۸	
۱/۵	-۱/۷	۱۶	۲/۶	NW	۲۵/۲	۵ مارس ۲۰۰۸	
۲/۸	-۲/۴	۲۷	۱/۹	W	۲۱/۶	۲۳ فوریه ۲۰۰۸	NHW
۳/۷	-۳/۸	۸	۲	NW	۴۲/۲	۲۵ آوریل ۲۰۰۸	HW
۱/۸	۰/۵	۸	۱/۸	SE	۴۲/۶	۲۶ آوریل ۲۰۰۸	
۱/۴	۱	۹	۱/۱	S	۳۷/۲	۲۱ آوریل ۲۰۰۸	NHW
۱/۶	-۰/۵	۱۳	۲/۹	NW	۴۵/۱	۱۶ مه ۲۰۱۶	HW
۱/۹	-۲/۹	۱۴	۱/۵	NW	۴۵/۶	۱۷ مه ۲۰۱۶	
۲	-۲/۸	۱۹	۲/۹	NW	۳۶/۶	۱۱ مه ۲۰۱۶	
۲/۲	۰/۳	۱۴	۱/۶	NW	۴۸/۸	۲ ژوئن ۲۰۱۵	HW
۲	-۰/۹	۱۲	۲/۹	W	۴۹/۶	۳ ژوئن ۲۰۱۵	
۲/۲	-۱	۳۰	۳/۳	NW	۴۱/۲	۲۵ مه ۲۰۱۵	NHW
۳/۵	-۲/۹	۲۲	۱/۴	E	۵۰	۲۷ ژوئن ۲۰۱۷	HW
۲	-۵/۲	۲۳	۲/۸	W	۵۲/۹	۲۸ ژوئن ۲۰۱۷	
۲/۹	-۲/۸	۱۵	۳/۱	W	۵۳/۷	۲۹ ژوئن ۲۰۱۷	
۲	-۳/۲	۱۶	۳	NW	۴۳/۳	۲۳ ژوئن ۲۰۱۷	NHW
۱/۶	-۲/۶	۸	۲/۱	NW	۵۲/۴	۲ ژوئیه ۲۰۱۸	HW
۲/۳	-۱/۹	۷	۲/۲	NW	۵۰/۶	۳ ژوئیه ۲۰۱۸	
۳/۲	۱	۶	۲/۸	E	۵۰/۵	۴ ژوئیه ۲۰۱۸	
۱/۲	-۲/۴	۱۴	۴/۳	W	۴۳/۵	۲۳ ژوئن ۲۰۱۸	NHW

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰



شکل ۷: نقشه شدت جزیره حرارتی کلان شهر اهواز سوم فوریه ۲۰۱۵ و چهارم ژوئیه ۲۰۱۸

براساس داده‌های مودیس-آکوا روز و شب (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

نتیجه

کشاورزان و باغداران منطقه متضرر شوند. همچنین طبق یافته در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در روز هنگام جزیره سرماییه و در شب هنگام جزیره گرمایی در مرکز اهواز تشکیل شده است که ظرفیت گرمایی پایین، آسمانی صاف، نبود پوشش گیاهی و منابع آب سطحی، در گرمایش سریع تر حومه تحت تأثیر موج گرمایی و تشکیل جزیره سرماییه روزانه نقش مؤثری داشته است و در شب هنگام حومه شهر به دلیل شرایط مذکور، سریع تر

در پژوهش حاضر، به واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان شهر اهواز از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداخته شد. نتایج نشان داد طی دوره مورد مطالعه، بیشترین فراوانی رخداد مخاطره موج گرما در ماه مارس ۲۰۱۰ (اواخر دوره سرد) و همزمان با فصل جوانه زنی گیاهان بوده که ممکن است با وقوع سرمای دیررس بهاره به امواج گرمایی، در صورت ناآگاهی و نداشتن آموزش کافی،

پیشنهادهات

طبق نتایج حاصل، از آنجا که جزایر حرارتی شهری حتی در صورت عدم موج گرمایی در مرکز شهر اهواز وجود داشته و با رخداد موج گرمایی تحت تأثیر قرار گرفته است، نوع کاربری اراضی، تراکم ساختمان‌ها، وجود کارخانه‌ها، میزان پوشش گیاهی، منابع آب سطحی، سرعت و جهت باد در مراکز شهری قطعاً از عواملی هستند که در تأثیرپذیری جزایر حرارتی شهری از مخاطره موج گرمایی نقش دارند؛ بنابراین در جهت کاستن شدت جزایر حرارتی راهکارهای زیر مناسب به نظر می‌رسد:

پوشاندن سطوح و ساختمان‌ها به وسیله مصالحی با ظرفیت گرمایی و ضریب انعکاس بالا داشته باشند، استفاده از درختان و پوشش گیاهی که موجب افزایش رطوبت نسبی هوا و خنک شدن هوای اطراف ساختمان‌ها می‌شود، جلوگیری از قطع درختان در حومه شهرها و افزودن فضاهای سبز و ایجاد بام سبز در مناطق مرکزی شهر، همچنین توجه به جهت باد در معماری شهری، تراکم مناسب ساختمان‌ها و عدم احداث متمرکز آن‌ها در مرکز شهر به گونه‌ای که امکان کانالیزه شدن باد و تخلیه حرارتی در بین آن‌ها وجود داشته باشد.

تقدیر

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

سرد شده و از سوی دیگر ساختمان‌های بلند مرکز شهر سبب به دام افتادن گرما در مرکز شهر و تشکیل جزیره گرمایی شبانه شده است. همچنین در دوره گرم سال، به دلیل گرمایش شدیدتر حومه شهر در شرایط حاکمیت امواج گرمایی، شدت جزایر سرمای شهری نسبت به دوره سرد سال بیشتر بوده است. در مجموع می‌توان گفت که تحت حاکمیت امواج گرمایی، جزایر گرمایی شبانه و جزایر سرمای روزانه در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های سرد سال بیشتر تأثیر پذیرفته است. سرعت باد در ماه‌های سرد در زمان حاکمیت امواج گرمایی نسبت به شرایط عادی بیشتر بوده که می‌تواند یکی از دلایل کاهش شدت جزایر سرمای روزانه و جزایر گرمایی شبانه باشد. طبق نتایج مذکور، باتوجه به اینکه در دوره مورد مطالعه، بیشترین فراوانی و تداوم موج گرمایی در ماه مارس یعنی در اواخر دوره سرد سال بوده و رخداد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی این دوره نیز بی‌تأثیر نبوده، انتظار می‌رود طی سال‌های آتی نیز با از بین رفتن پوشش‌های طبیعی و توسعه ساختمان‌سازی و در نتیجه افزایش سطوح مصنوعی با ظرفیت حرارتی پایین در مرکز این شهر، جزایر گرمایی شبانه و جزایر سرمای روزانه تحت تأثیر مخاطره موج گرمایی شدت بیشتری بیابد. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های اکثر پژوهشگران از جمله الی بودن (۲۰۱۳)، قبادی و همکاران (۲۰۱۷)، بوزید و رامورتی (۲۰۱۷)، جفری و همکاران (۲۰۱۸)، لی و همکاران (۲۰۱۸) هم راستا بود.

منابع

اسمعیل نژاد، مرتضی؛ محمود خسروی؛ بهلول علیجانی؛ سید ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳. صفحات ۵۴-۳۹.

https://gdij.usb.ac.ir/article_1321.html

الماسی، فائقه؛ طاووسی، تقی؛ حسین آبادی، نسرين (۱۳۹۵). واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، آمایش جغرافیایی فضا. شماره ۱۹. صفحات ۱۵۰-۱۳۷.

عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم، تهران. نشر قومس. چاپ اول. ۴۳۴.

http://www.sepehr.org/article_28899.html

قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شماره ۳. صفحات ۱۰۰-۸۵.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=177582>

کاشکی، عبدالرضا؛ مختار کرمی؛ محمد باعقیده؛ محمدرضا علیمردادی (۱۳۹۸). واکاوی آماری امواج گرمایی زابل، دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی. شماره ۱. صفحات ۵۵-۴۰.

http://cccd.znu.ac.ir/article_36081.html

مجرد، فیروز؛ جعفر معصوم‌پور؛ طیبه رستمی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌های و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا. شماره ۲. صفحات ۴۹۴-۴۷۹.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=467195>

مجرد، فیروز؛ جعفر معصوم‌پور؛ طیبه رستمی (۱۳۹۴). تحلیل آماری-همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات طبیعی. شماره ۱۳. صفحات ۵۷-۴۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=303234>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ مسلم ترکی (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز با کمک از داده‌های مودیس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱. صفحات ۹۲-۷۵.

https://journals.ui.ac.ir/article_24004.html

مولودی، گلاره؛ اسدالله خورانی؛ عباس مرادی (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۱. صفحات ۱۴-۱.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/https://journals.ui.ac.ir/>

نظر صیدی، علی؛ امیر گندمکار (۱۳۹۹). بررسی تغییرات اقلیم شهر اهواز در رابطه با توسعه منطقه‌ای و برنامه‌ریزی شهری، فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. شماره ۲. صفحات ۱۷۰-۱۵۱.

http://geography.journals.iau-garmsar.ac.ir/article_680433_6444b5c156e841480764215f0c63275d.pdf

References

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.

<https://www.mdpi.com/2073-4433/8/11/209>

Almusaed A (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. *Biophilic and Bioclimatic Architecture* 21: 139-150.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84996-534-7_10

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.

<https://www.hindawi.com/journals/amete/2010/230365/>

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.

<https://www.mdpi.com/2413-8851/1/1/3>

- 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.
<https://sciendo.com/article/10.1515/mgr-2015-0013>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513003542>
- 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.
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-44614-4>
- 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.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-11407-6>
- 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.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.3707>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095517301104>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670716300403>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111098231730011X>
- Lazzarini M, Marpu PR, 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425712004312>
- Lemonsu A, Vigiú 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300316>
- 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.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- 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.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/606>
- 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.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- Rohini, P.; Pajeevan, m., and Mukhopahay, P. (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, (53), 975-988.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Future-projections-of-heat-waves-over-India-from-Rohini-Rajeevan/9e7b40ab405ce2d4800f54a1e9db71e56956f5bd>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-014-1353-2>
- 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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935114002916>
<https://www.elsevier.com/books/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences/wilks/978-0-12-385022-5>
- Zhou B, Lauwaet D, Hooyberghs H, De Ridder, 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.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/55/3/jamc-d-15-0041.1.xml> <http://modis.gsfc.nasa.gov>.