

مقاله پژوهشی

بررسی اثر رخ داد امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی شهر سنندج

طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۹

رقیه ملکی مرشت<sup>۱</sup> - بهروز سبحانی<sup>۲\*</sup> - مسعود مرادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

امواج گرمایی از فرین‌های جوی بسیار آسیب‌زا بر زندگی بشر است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر رخ داد امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی شهر سنندج طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ بود. بدین منظور داده‌های دمای حداکثر ایستگاه مذکور، از سازمان هواشناسی اخذ و با اعمال شاخص فومیایی، روزهایی را که دمای آن‌ها بالاتر از  $+2$  انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت، به‌عنوان روز توأم با موج گرما تعریف شد. جهت بررسی تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی در ماه‌های گرم و سرد، جزایر حرارتی برای روزهای توأم با موج گرمایی و یک روز عادی با کمترین دمای حداکثر قبل از هر موج گرمایی در روز هنگام و شب هنگام مودیس - آکوا محاسبه شد. طبق نتایج، بیشترین فراوانی مخاطره‌ی موج گرمایی در این شهر در سال ۱۹۹۱ و در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر و اکتبر بوده است. همچنین امواج گرمایی در این شهر ۶ روزه و لذا بلند مدت بوده که اغلب در ماه‌های سرد سال رخ داده است. براساس نتایج، چه در ماه‌های گرم و چه در ماه‌های سرد اغلب در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی در روز جزیره‌ی سرمایی در مرکز سنندج تشکیل شده که در شرایط موج گرما گاهی جزیره‌ی گرمایی در مرکز شهر ایجاد شده است. در شب هم‌زمان با امواج گرمایی اغلب جزیره‌ی گرمایی ایجاد شده که گاهی تا  $2/5$  درجه نیز افزایش یافته. در مجموع میزان تأثیرپذیری جزایر حرارتی از امواج گرمایی در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد بوده است.

واژه‌های کلیدی: امواج گرمایی، جزایر حرارتی، شاخص فومیایی، شهر سنندج

مقدمه

روز دوام داشته باشد و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای انسان و محیط زیست ایجاد بحران کند (۲۷). تغییر آب و هوا و افزایش دما منجر به کاهش فرین‌های سرد و افزایش فرین‌های گرم می‌شود (۱۵). شرایط اتمسفری راکد حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس کرده و با اضافه شدن تنش شدید آلاینده‌های سمی بر تنش خطرناک هوای گرم موجود، یک مشکل زیستی را در ابعاد وسیع به وجود می‌آورد (۲). شهرها اغلب شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شهری گفته می‌شود، اقلیم شهری به واسطه‌ی تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی (دما، رطوبت، سرعت و جهت باد و بارش) با نواحی کم‌تراکم‌تر اطراف دارد، مشخص می‌شود. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی و عامل مهمی در مطالعه‌ی آب و هوای شهری محسوب می‌شود (۲۳). اختلاف دما بین شهر و روستا معمولاً در شب بیشتر از روز است که در شرایط ورزش باد ضعیف آشکارتر می‌شود. علت اصلی جزیره‌ی گرمایی شهری، تغییر سطح زمین در اثر توسعه‌ی شهری

کره‌ی زمین پدیده‌های زیان بخش جوی بسیاری را تجربه می‌کند که طبق مطالعات انجام شده، تغییر اقلیمی موجب افزایش وقوع این پدیده‌ها شده است. یکی از این مخاطرات، امواج گرمایی<sup>۴</sup> هستند. امواج گرمایی از پدیده‌های اقلیمی با پیامدهای بسیار خطرناک در سراسر جهان است که طی دهه‌های اخیر فراوانی آن افزایش یافته است. موج گرمایی به دوره‌ی شدید گرما اطلاق می‌شود که بیش از ۵

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری آب و هواشناسی و استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

\*- نویسنده مسئول: (Email: sobhani@uma.ac.ir)

۳- دکتری آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2021.71049.1061

4- Heat Waves

به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم به ویژه طی ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل توجهی در امواج گرمایی ایجاد نشده است. زهو و همکاران، (۳۹) با روش ترکیبی مشاهدات ماهواره‌ای و با استفاده از مدل اقلیم شهر (Urb Clim<sup>۲</sup>) به مدل‌سازی آب‌وهوای لایه‌ی مرزی شهر و ارزیابی فصلی بودن جزیره‌ی حرارتی شهر لندن پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داده است که مدل اقلیم شهری می‌تواند دمای سطح زمین (LST<sup>۳</sup>) شهر و روستای را به میزان قابل توجهی بازسازی نماید. همچنین طبق یافته‌های آنان، تغییرات دمای سطح زمین، می‌تواند عمدتاً با تغییرات فصلی تابش دریاقتی خورشید در ارتباط باشد. قبادی و همکاران (۱۶) به بررسی تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی شهر کرج پرداختند. نتایج بررسی‌های آنان نشان داده است که هم‌زمان با حاکمیت امواج گرمایی، جزیره‌ی گرمایی شهری (UHI) در منطقه‌ی مورد مطالعه تشدید شده و درجه‌ی حرارت شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، هم در روز و هم در شب افزایش یافته است. بای و همکاران (۴) به بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی در چند شهر پرداخته‌اند. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنان، 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، جزیره‌ی حرارتی هم‌زمان با رخ داد امواج گرمایی تقویت شده است. پاراوانتیس (۳۰) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره‌ی حرارتی شهری را در مرگ و میر روزانه‌ی قلبی-عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آن بررسی نموده و یافته‌های آنان نشان داده است که همبستگی بالایی بین مرگ و میر روزانه‌ی قلبی و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد که بیشترین میزان مرگ و میر، در اثر امواج گرمایی گزارش شده است. فوندا و سانتاموریس (۱۱) رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آن را مطالعه نمودند. طبق نتایج به دست آمده، در روز حادثه، همبستگی قوی بین جزیره‌ی حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته است که این امر می‌تواند موجب افزایش چشم‌گیر خطر گرما در شهرها و آسیب‌پذیری جمعیت شهری گردد. باسارا (۵) تأثیرپذیری جزیره‌ی حرارتی شهری از رخداد امواج گرمایی شدید در شهر اوکلاهما را بررسی نموده‌اند و یافته‌های آنان نشان داده است که طی حاکمیت امواج گرمایی، یک جزیره‌ی حرارتی در مرکز شهر ایجاد شده است. روهینی و همکاران (۳۳) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی

است (۳۵). طی دهه‌های اخیر امواج گرمایی به عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی، مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران داخلی و خارجی قرار گرفته است. تان و همکاران (۳۶) به بررسی جزیره‌ی حرارتی شهری و تأثیر آن بر امواج گرمایی و سلامت انسان در شانگهای چین پرداختند و دریافتند که بخش‌های مختلف مرکزی شهر درجات مختلفی از گرمایش را تجربه می‌کنند و جزیره‌ی حرارتی شهری تأثیر مستقیم منفی بر سلامت انسان دارد. فنگ و همکاران، (۹) به شبیه‌سازی جزیره‌ی حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم شهر هنگ‌کونگ در چین پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کرده‌اند و یافته‌های آنان نشان داده است که جزیره‌ی حرارتی عمدتاً حاصل ذخیره‌ی گرمایی زیاد در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب هنگام است. لیونسو و همکاران (۲۵) به بررسی تأثیر سناریوی توسعه‌ی شهری بر جزیره‌ی حرارتی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. نتایج بررسی آنان نشان داد که در شهرهای متراکم، با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر جزیره‌ی حرارتی هستند، آسیب‌پذیری کل جمعیت افزایش می‌یابد. وهی (۳۷) جهت مطالعه‌ی امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریتر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب‌های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. دی رایدر و همکاران (۷) تشدید جزیره‌ی گرمایی شهر پاریس در دوره‌ی گرم در تابستان ۲۰۰۳ را بررسی نمودند و تشدید جزایر حرارتی در زمان حاکمیت امواج گرمایی را تأیید کردند. این تأثیرپذیری و تشدید، در مناطق کم تراکم شهری مثل پارک‌ها، کم‌تر از نقاط پرتراکم بوده است. دابراوالنی و کراولا (۸) تنوع مکانی دمای هوا و شدت جزیره‌ی گرمایی شبانه در شهر برنو، جمهوری چک را مطالعه نموده‌اند و یافته‌های آنان نشان داده است که تراکم ساختمان‌ها و پوشش گیاهی، به میزان ۵۰ درصد در تشدید جزیره‌ی حرارتی شهر نقش دارد. همچنین در اوایل شب در تابستان دما در مرکز شهر در بالاترین حد بوده است که به سمت مناطق حومه، از شدت آن کاسته شده است. حسینی (۱۸) جزیره‌ی گرمایی شهر تهران را بررسی نموده و به این نتیجه دست یافته است که این شهر طی روز جزیره‌ی گرمایی و در شب جزیره‌ی گرمایی داشته است. کم‌ترین میزان جزیره‌ی گرمایی ۳/۹- درجه کلون در ماه مارس و بالاترین میزان جزیره‌ی گرمایی ۶- به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و

2- urban climate model  
3- land surface temperature

1- Weather Research and Forecasting Model/  
Unresolved complex mixture

گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی شهر سنندج طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۹ می‌باشد. افزایش مداوم دمای شهرها تحت عنوان جزیره‌ی حرارتی شهری و رخ داد ناگهانی امواج گرمایی به عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی، از جمله نگرانی‌های مهم سیاست‌گذاران و مدیران شهری می‌باشد و تأثیر وقوع هم‌زمان این دو پدیده بر افزایش دما خصوصاً در نقاط مرکزی شهرها، می‌تواند سبب تشدید گرمای مراکز شهری شده و خسارات زیست محیطی فراوانی را به بار بیاورد. طبق پیش‌بینی پژوهش‌گران، فراوانی و تداوم امواج گرمایی طی سال‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیمی افزایش خواهد یافت. لذا پی بردن به زمان وقوع و چگونگی اثر مخاطره‌ی موج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی شهری، می‌تواند آگاهی‌ها، توصیه‌ها و راه‌کارهای لازم را در خصوص آمادگی در مقابل افزایش احتمالی دمای هوا به کشاورزان، باغ‌داران و مسئولان ستاد حوادث غیرمترقبه‌ی این شهر ارائه نماید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

در پژوهش حاضر محدوده‌ی مورد مطالعه، شهر سنندج می‌باشد که به عنوان مرکز و نماینده‌ی سایر ایستگاه‌های استان کردستان انتخاب گردید. مشخصات و محدوده‌ی شهر سنندج در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. الماسی و همکاران (۱) رفتار و تغییرات بسامد رخ داد امواج گرمایی شهر اهواز پرداختند و طبق یافته‌های آنان، در این شهر امواج کوتاه مدت فراوانی رخ داد بیشتری داشته است. امیدوار و همکاران (۲۹) به روش آماری، احتمال وقوع امواج گرمایی استان کرمانشاه را تحلیل نمودند. نتایج حاصل نشان داده است که در استان کرمانشاه بیشترین فراوانی امواج گرمایی در تیر ماه و مرداد ماه بوده و روند افزایشی داشته است. کرم‌پور و همکاران (۲۱) به شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران پرداخته‌اند و نتایج حاصل نشان داده است که ۷۰ موج در دوره-ی گرم و ۷۳ موج در دوری سرد رخ داده است و بیشترین میزان وقوع امواج گرمایی در ماه فروردین بوده و امواج کوتاه رخ داد بیشتری داشته‌اند. کاشکی و همکاران (۲۲) به واکاوی آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. طبق یافته‌های آنان موج‌های گرمایی کم دوام فراوانی بیشتر و امواج گرمایی مداوم فراوانی کمتری داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داده است که امواج گرمایی در دوره‌ی آماری مورد مطالعه‌ی آنان روند افزایشی داشته است.

بررسی پیشینه‌های ارائه شده نشان داد که رخ داد امواج گرمایی و تشکیل جزایر حرارتی شهری اغلب در پژوهش‌های خارجی در ارتباط باهم بررسی شده‌اند ولی در پژوهش‌های داخلی این دو مخاطره به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. لذا بررسی رابطه این دو پدیده در شهرهای ایران، جهت مدیریت بحران و کاهش آثار منفی ناشی از افزایش دما بر کشاورزی، محیط زیست و باغداری، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر رخ داد امواج

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه سنندج (۲۶)

Table 1- Geographical location and height of Sanandaj station (26)

شهر	عرض	طول	ارتفاع
City	Latitude	Longitude	Height
سنندج	35.3	47	1373.4
Sanandaj			



شکل ۱- محدوده‌ی شهر سنندج در گوگل ارث

Figure 1- Boundary of Sanandaj city in Google Earth

روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه ۳ به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد:

$$\overline{\sigma^2(i,j)} = \sum_{n=1989}^{2018} \sum_{j=30}^{j+30} [\Delta T(i,j',n) - \overline{\Delta T(i,j',n)}]^2 \div 31N \quad (3)$$

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

$$\overline{\Delta T * (i,j)} = \sum_{n=1989}^{2018} \sum_{j=30}^{j+30} T(i,j',n) \div 31N \quad (4)$$

سرانجام نمایه‌ی فومیاکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD) از رابطه ۵ محاسبه گردید:

$$\chi(i,j,n) = \Delta T(i,j,n) \div \overline{\sigma(i,j)} \quad (5)$$

که در آن  $\overline{\sigma(i,j)} = \sqrt{\overline{\sigma^2(i,j)}}$  می‌باشد. 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 شده‌ی روز i ام باشد، آنگاه یک موج گرمایی P روزه داریم (رابطه ۶) (۲۰).

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2 \quad (6)$$

#### محاسبه‌ی شدت جزیره‌ی حرارتی سطحی شهر<sup>۶</sup>

دمای بالاتر شهرها نسبت به دمای نواحی روستایی جزیره‌ای از هوای گرم ایجاد می‌کند که به آن جزیره‌ی حرارتی شهری<sup>۷</sup> (UHI) گفته می‌شود که در شب‌های آرام و صاف بر روی شهر گسترش می‌یابد (۳). به منظور بررسی شدت جزیره‌ی حرارتی در شهر سنندج سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ (۱۶ سال) به عنوان نماینده دوره‌ی آماری مورد مطالعه، که داده‌های رویه‌ی زمین در دسترس بود انتخاب گردید و در روزهای توأم با موج گرمایی (روزهای بدون ابر) داده‌های دمای رویه‌ی زمین سنجنده‌ی مودیس-آکوا<sup>۸</sup> برای روز هنگام ساعت ۱۵:۲۴-۱۳:۳۸، شب هنگام ساعت ۰۳:۵۳-۰۲:۳۱، از وبسایت ناسا<sup>۹</sup> در سیستم تصویری سینوسی دریافت گردید. MODIS یا اسپکترو رادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که بر روی ماهواره‌ی آکوا (EOS PM) که در ماه می ۲۰۰۲ راه‌اندازی شده است، نصب گردیده. MODIS داده‌ها را در ۳۶ باند

#### شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی با اعمال شاخص

##### فومیاکی

جهت شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه‌ی ایستگاه سینوپتیک سنندج، طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و با کمک شاخص فومیاکی<sup>۱</sup> شاخص به‌هنجار شده‌ی (دما) و از طریق برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup>، روزهایی که دمای آن بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD<sup>۳</sup>) بوده و دست کم دو روز تداوم داشته، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی معرفی گردید. به منظور محاسبه‌ی این نمایه، نخست میانگین بلند مدت دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلند مدت مبنای داوری درباره‌ی گرمی آن روز قرار گیرد (۲۰). میانگین دماهای هر روز با رابطه ۱ به‌دست آمد:

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=1989}^{2018} T(i,j,n) \div N \quad (1)$$

دمای روز i ام از ماه j ام در سال نام  $\overline{T(i,j)}$  میانگین بلندمدت دمای روز i ام، از ماه j ام می‌باشد. برای از بین بردن نوفه‌های (نویز<sup>۴</sup>) موجود در میانگین، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر روی این داده‌ها انجام شد. به این ترتیب میانگین دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه‌ی آن محاسبه شد. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده‌ی 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 گردیده‌اند، حذف و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس به کمک رابطه ۲، انحراف دمای هر یک از روزهای مورد بررسی، نسبت به میانگین بلند مدت محاسبه شد. فوجیبی<sup>۵</sup> و همکاران (۱۲).

$$\Delta T = (i,j,n) = T(i,j,n) - \overline{T(i,j)} \quad (2)$$

در این جا  $\Delta T = (i,j,n)$  انحراف مطلق دما از میانگین روز j ام از ماه i ام، در سال n ام نسبت به میانگین دمای همان روز تقویمی است. برای آن که مقادیر انحراف دمای زمان‌ها و مکان‌های مختلف در یک‌زمان معین و یک نقطه‌ی جغرافیایی با یکدیگر قابل مقایسه باشند، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما، استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش  $\Delta T$  در ۳۱

- 1- Fumiaki
- 2- MATLAB
- 3- Normalized Thermal Deviation
- 4- Noise
- 5- Fujibe

6- SUHI

7- Urban Heat Island

8- MODIS-Aqua

9- Nasa

جهت مطالعه‌ی نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد (۲۷) و به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری جزایر حرارتی شهری از رخ داد امواج گرمایی، مقادیر جزیره‌ی حرارتی در روزهای حاکمیت امواج گرمایی و یک روز عادی (بدون موج گرمایی) با کم‌ترین دمای حداکثر، به فاصله‌ی حداکثر دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی محاسبه شد و شدت جزایر حرارتی در دو شرایط متفاوت (وجود و عدم موج گرمایی) مقایسه گردید و به منظور صحت سنجی نتایج حاصل، وضعیت باد و رطوبت نسبی، در روزهای مورد مطالعه، از سایت سازمان هواشناسی (۲۶) اخذ و واکاوری گردید.

## نتایج و بحث

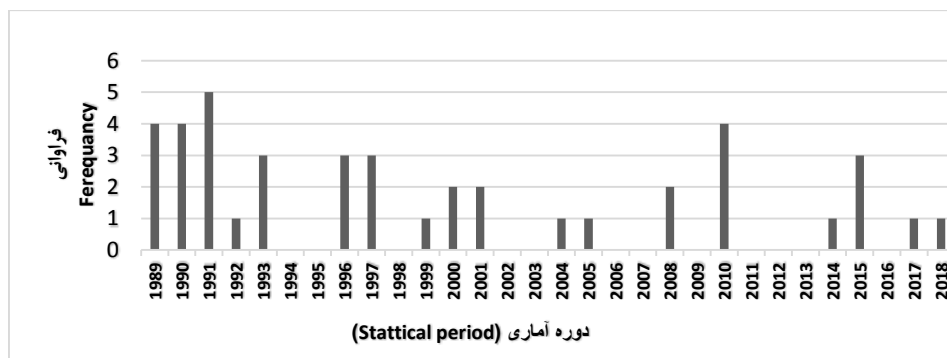
### نتایج استخراج امواج گرمایی با اعمال شاخص فومیکی

با اعمال شاخص فومیکی، امواج گرمایی شهر سنندج شناسایی و به دو دسته‌ی امواج کوتاه مدت و امواج بلند مدت تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین ۲ تا ۵ روزه، امواج گرمایی کوتاه مدت و امواج با تداوم ۶ روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلند مدت نام‌گذاری شدند). طبق نتایج حاصل، طی ۳۰ سال مورد مطالعه (۱۹۸۹-۲۰۱۸)، بیشترین فراوانی مخاطره‌ی موج گرمایی در این شهر در سال ۱۹۹۱ (شکل ۲) و در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر اکتبر بوده است (شکل ۳). حداکثر تداوم امواج گرمایی ۶ روزه و طبق تقسیم‌بندی ذکر شده، امواج گرمایی در این شهر بلند مدت بوده که در دسامبر ۲۰۱۷ و دسامبر ۲۰۰۵ رخ داده و لذا به نظر می‌رسد اغلب در ماه‌های سرد سال تداوم این مخاطره بیشتر از ماه‌های گرم سال بوده است (شکل ۴).

طیفی با عبور از بالای خط استوا در حوالی ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ بر ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. 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 مودیس (MOD11A1) و MYD11A1 می‌باشد و بر روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به عنوان مقدار متوسط (LSTs) در آسمان صاف در طول ۸ روز در شبانه روز (۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰) ذخیره شده است. لازارینی و همکاران (۲۴). در پژوهش حاضر برداشت‌های مودیس-آکوا به این دلیل انتخاب شد که نسبت به مودیس ترا به ساعات میانه‌ی روز و میانه‌ی شب (مقادیر فرین روزانه) نزدیک‌تر بود. معمولاً جهت بررسی جزیره‌ی حرارتی سطحی، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری با مناطق غیرشهری یا روستایی استفاده می‌شود. به منظور محاسبه‌ی جزیره‌ی حرارتی رویه‌ی زمین لازم است ابتدا مناطق شهری و روستایی تعیین شود. در این پژوهش برای محدوده‌ی شهری از میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل شهر و منطقه‌ی روستایی در گستره‌ی یک برابر مساحت شهر در اطراف آن انتخاب شد. سپس توزیع فراوانی دمای رویه‌ی زمین در این گستره‌ی روستایی از کم‌ترین تا بیشترین مقدار ثبت شده محاسبه شد. در ادامه، دمای که بیشترین فراوانی را در منطقه‌ی روستایی داشت به عنوان نماینده‌ی منطقه‌ی روستایی انتخاب شد و برای این کار از رابطه ۷ استفاده گردید:

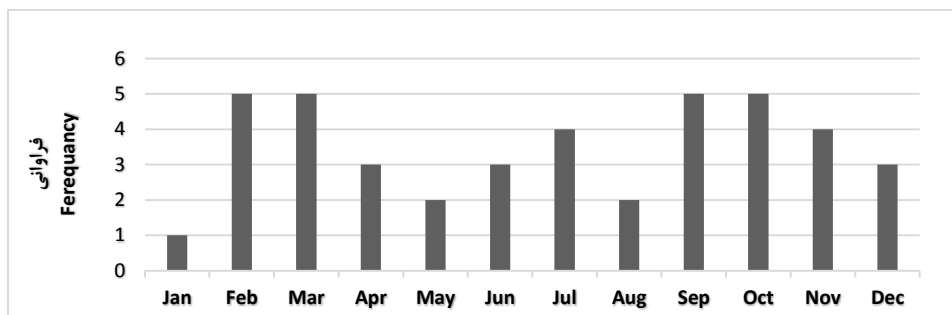
$$SUHI = MLST_{urban} - FLST_{rural} \quad (7)$$

که در این رابطه SUHI جزیره‌ی گرمایی رویه‌ی زمین،  $MLST_{urban}$  میانگین دمای رویه‌ی زمین در منطقه‌ی شهری و  $FLST_{rural}$  دمای رویه‌ی زمین با بیشترین فراوانی رخداد در منطقه‌ی روستایی است.

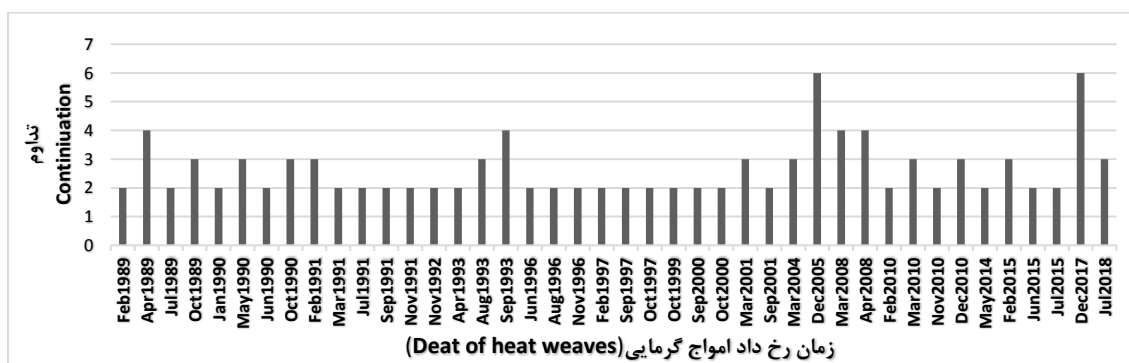


شکل ۲- فراوانی سالانه و روند موج گرمایی در ایستگاه سنندج (۱۹۸۹-۲۰۱۸)

Figure 2- Annual frequency and heat wave trend in Sanandaj station (1989-2018)



شکل ۳- فراوانی ماهانه امواج گرمایی در ایستگاه سنندج (۱۹۸۹-۲۰۱۸)  
Figure 3- Monthly frequency of heat waves in Sanandaj station (1989-2018)



شکل ۴- زمان رخ داد و تداوم امواج گرمایی در ایستگاه سنندج (۱۹۸۹-۲۰۱۸)  
Figure 4- Time of occurrence and continuation of heat waves in Sanandaj station (1989-2008)

درصد رطوبت نسبی و حداکثر سرعت باد در زمان رخ داد امواج گرمایی کمتر از شرایط قبل از موج گرمایی بوده است. بررسی شدت جزایر حرارتی در این شهر نشان داد که در روز هنگام در هر دو شرایط (وجود و عدم موج گرمایی) جزیره‌ی سرمای در مرکز شهر تشکیل شده است که در شرایط حاکمیت موج گرمایی از شدت جزیره‌ی سرمای کاسته شده و همچنان که در نمودار مشاهده می‌شود، در ماه‌های پایانی زمستان (فوریه) حتی در روز هنگام نیز جزیره‌ی گرمایی در مرکز این شهر ایجاد شده است. در شب هنگام چه در شرایط عادی و چه در شرایط رخ داد امواج گرمایی، جزیره‌ی گرمایی در مرکز شهر تشکیل شده که البته شدت جزایر گرمایی شبانه اغلب در زمان حاکمیت موج گرمایی در اواخر زمستان به طور کاملاً محسوس، بیشتر از شرایط عادی بوده است. به عنوان نمونه، در سوم فوریه ۲۰۱۵ (شرایط موج گرمایی) در مقایسه با ۲۴ ژانویه ۲۰۱۵ (شرایط عادی) جزایر گرمایی شبانه بیش از ۲ درجه شدت یافته است. بررسی وضعیت جزایر حرارتی در ماه‌های گرم سال (جدول ۲ شکل ۶). نشان داد که در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در مرکز شهر جزیره‌ی سرمای وجود داشته که شدت آن در زمان حاکمیت امواج گرمایی خصوصاً در ماه‌های مربوط به فصل تابستان گاهی بیش از ۲/۵ درجه بالاتر از شرایط عادی بوده است. در شب هنگام اغلب جزیره‌ی گرمایی در مرکز شهر وجود داشته که شدت آن بیشتر از

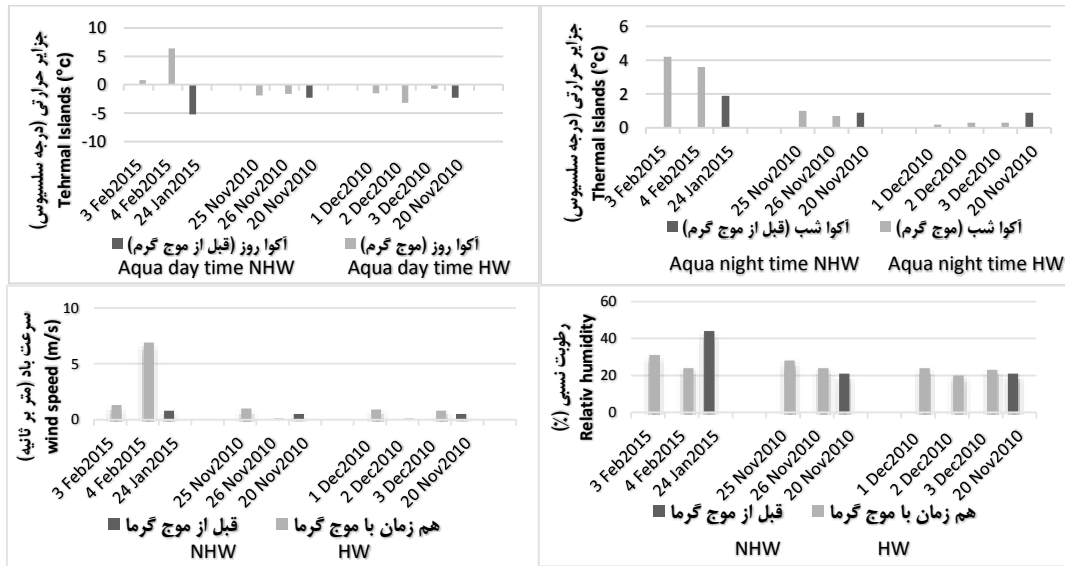
#### مقایسه‌ی شدت جزایر حرارتی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد

با مقایسه‌ی مقادیر جزیره‌ی حرارتی در روزهای توأم با موج گرمایی و روز عادی بدون موج گرما با پایین‌ترین دمای حداکثر قبل از هر موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال نتایج حاصل گردید که در جدول ۲ ارائه شده که در این جدول، ارقام مثبت حاصل از محاسبه‌ی اختلاف دمای رویه‌ی زمین در مناطق شهری و غیر شهری نشان‌گر جزیره‌ی گرمایی شهری و ارقام منفی نمایان‌گر جزیره‌ی سرمای شهری در مرکز شهر سنندج می‌باشد. همچنین جهت مقایسه‌ی ملموس‌تر شدت جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد، پارامترهای مذکور در قالب نمودار در اشکال ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. طبق جدول و نمودارهای عنوان شده، در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در ماه‌های گرم و سرد سال، اغلب در روز، دمای مرکز شهر سنندج از دمای مناطق غیر شهری اطراف آن کمتر ولی در شب، بیشتر بوده است. بنابراین اغلب در روز، جزیره‌ی سرمای و در شب، جزیره‌ی گرمایی در مرکز این شهر ایجاد شده است. همچنین بررسی‌ها نشان دادند که امواج گرمایی کوتاه مدت ۲ روزه نیز در تشدید جزایر حرارتی شهری مؤثر بوده است. طبق جدول ۲ و شکل ۵ در ماه‌های سرد،

### نتیجه گیری

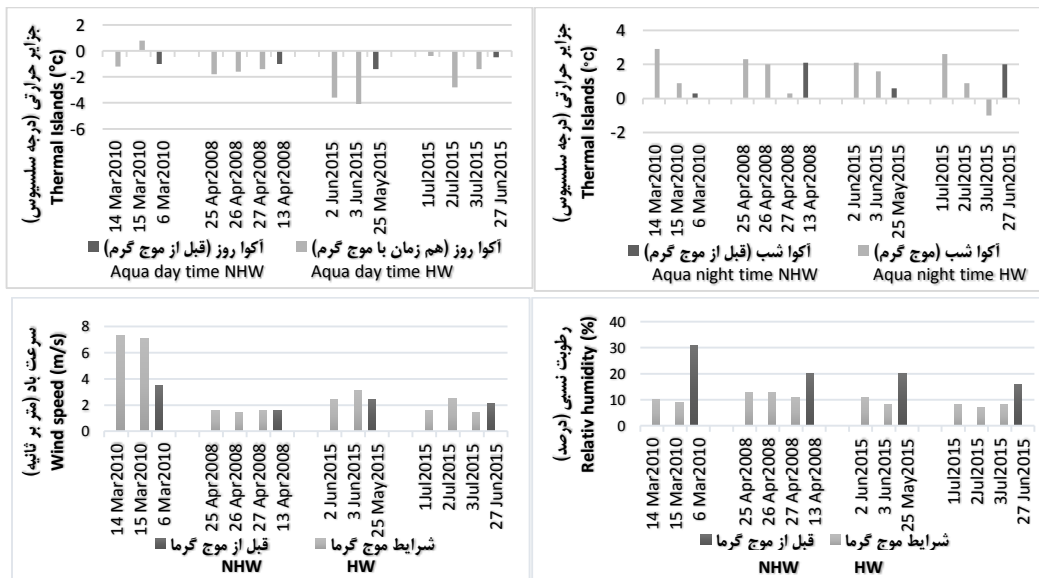
امواج گرما از زیان‌بارترین فرین‌های جوی می‌باشد که آگاهی از زمان وقوع و رابطه آن با پدیده‌هایی همچون جزایر حرارتی شهری، می‌تواند در کاهش آثار مخرب این مخاطره‌ی اقلیمی مفید واقع شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر رخ داد امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی در شهر سنندج بود.

وضعیت عادی بوده است به طور مثال: در ۱۴ مارس ۲۰۱۰ (شرایط موج گرما) در مقایسه با ۶ مارس ۲۰۱۰ (شرایط عادی) بیش از ۲/۵ درجه بر شدت جزیره ی گرمایی شبانه افزوده شده است. همچنین در اثر وقوع موج گرما، سرعت باد و به ویژه رطوبت نسبی در ماه‌های گرم، محسوس‌تر از ماه‌های سرد سال کاهش یافته است.



شکل ۵- جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های سرد

Figure 5- Thermal islands, wind and relative humidity in HW and NHW conditions in cold months



شکل ۶- جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های گرم

Figure 6- Thermal islands, wind and relative humidity in HW and NHW conditions in hot months

جدول ۲- جزیره‌ی حرارتی محاسبه شده در ماه‌های سرد و گرم در شرایط وجود و عدم موج گرمایی

Table 2- Thermal Island in cold and hot months in HW and NHW conditions

شرایط وجود و عدم موج گرم (Heat Wave and No Heat Wave Condition)	تاریخ Date	حداکثر دما (T Max) (°C)	جهت باد Wind (direction)	سرعت باد (Wind speed m/s)	رطوبت نسبی (Relative Humidity %)	جزیره‌ی حرارتی سطحی شهر (°C)(SUHI)	
						روز (Day- time) ۱۳:۳۸-۱۵:۲۴	شب (Night- ) (time ۰۲:۳۱-۰۳:۵۳)
(Cold months) ماه‌های سرد سال							
وجود موج گرم <sup>۱</sup> (HW)	Feb 3th 2015	18	S	1.3	31	0.8	4.2
	Feb 4th 2015	18	S	6.9	24	6.4	3.6
عدم موج گرم <sup>۱</sup> (NHW)	Jan 24th 2015	11.2	NW	0.8	44	-5.2	1.9
وجود موج گرم (HW)	Nov 25th 2010	20.2	W	1	28	-1.9	1
	Nov 26th 2010	20.4	NW	0.1	24	-1.6	0.7
عدم موج گرم (NHW)	Nov 20th 2010	17.8	N	0.5	21	-2.3	0.9
وجود موج گرم (HW)	Dec 1th 2010	21.2	E	0.9	24	-1.5	0.2
	Dec 2 th 2010	21.2	N	0.1	20	-3.2	0.3
	Dec 3 th 2010	21.2	NW	0.8	23	-0.7	0.3
عدم موج گرم (NHW)	Nov 20th 2010	17.8	N	0.5	21	-2.3	0.9
(Hot months) ماه‌های گرم سال							
وجود موج گرم (HW)	Apr 25th 2008	31.6	S	1.6	13	-1.8	2.3
	Apr 26th 2008	32.5	S	1.4	13	-1.6	2
	Apr 27th 2008	32.8	SW	1.6	11	-1.4	0.3
عدم موج گرم (NHW)	Apr 13th 2008	23	SW	1.6	20	-1	2.1
وجود موج گرم (HW)	Mar14th 2010	26.4	S	7.3	10	-1.2	2.9
	Mar15th 2010	27.6	S	7.1	9	0.8	0.9
عدم موج گرم (NHW)	Mar 6th 2010	18.2	S	3.5	31	-1	0.3
وجود موج گرم (HW)	Jun 2th 2015	37	S	2.4	11	-3.6	2.1
	Jun 3th 2015	37.6	SW	3.1	8	-4.1	1.6
عدم موج گرم (NHW)	May25th 2015	29.2	SW	2.4	20	-1.4	0.6
وجود موج گرم (HW)	Jul 1th 2015	42.6	W	1.6	8	-0.4	2.6
	Jul 2th 2015	42.2	W	2.5	7	-2.8	0.9
	Jul 3th 2015	42	S	1.4	8	-1.4	-1
عدم موج گرم (NHW)	Jun 27th 2015	32.4	W	21.1	16	-0.5	2



گرم سال تأثیر محسوسی داشته است و با توجه به پیش‌بینی دانشمندان در خصوص وقوع تغییر اقلیم و گرمایش زمین طی دهه‌های آتی، احتمال می‌رود در این شهر، خصوصاً در شب هنگام و در ماه‌های گرم سال، جزایر گرمایی شبانه شدت بیشتری پیدا کند. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های اکثر پژوهش‌گران هم راستا بود از جمله: قبادی و همکاران (۱۶)، باسارا (۵)، فوندا و سنتامورس (۱۱)، الماسی و همکاران (۱)، دی رایدر و همکاران (۷)، حسینی (۱۸)، کرم پور و همکاران (۲۱)، کاشکی و همکاران (۲۲).

طبق یافته‌های پژوهش حاضر، باتوجه به این‌که جزایر حرارتی شهری حتی در شرایط عدم موج گرمایی در مرکز این شهر وجود داشته و با رخ داد موج گرمایی تحت تأثیر قرار گرفته است. لذا جهت کاستن شدت جزایر حرارتی در مرکز این شهر ذکر چند راهکار ضروری به نظر می‌رسد. از جمله: پوشاندن سطوح و ساختمان‌ها با مصالحی با ظرفیت گرمایی بالا، استفاده از درختان و درختچه‌ها در اطراف ساختمان‌ها، حفاظت از پوشش گیاهی طبیعی منطقه و افزودن فضاهای سبز و ایجاد بام سبز در مرکز شهر، توجه به جهت باد در ساخت و سازها و احداث غیر متمرکز آن‌ها در مرکز شهر به منظور کانالیزه شدن باد و تخلیه‌ی حرارتی بین ساختمان‌ها.

### سپاسگزاری

با سپاس از همکاری سازمان هواشناسی کشور و اساتید محترم راهنما و مشاور، مقاله‌ی حاضر مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

طبق نتایج حاصل، فراوانی و تداوم بیشتر مخاطره‌ی موج گرمایی طی دوره‌ی مورد مطالعه به ویژه در ماه‌های سرد سال، می‌تواند از آثار تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در منطقه‌ی مورد مطالعه باشد که این رخ داد شدید و مداوم موج گرما در شهر سنندج به عنوان نماینده‌ی سایر شهرهای استان کردستان به ویژه در اواخر زمستان و اوایل بهار که طبیعت آمادگی دماهای بالا را ندارد، می‌تواند سبب جوانه زنی و گل دهی زود هنگام محصولات زراعی و باغی شده و کشاورزی و باغداری را که جزء مشاغل اصلی ساکنین این منطقه است تحت تأثیر منفی قرار دهد و خسارات فراوان اقتصادی برای مردم این استان به دنبال داشته باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی تأثیر رخ داد امواج گرمایی بر جزایر حرارتی، در روز هنگام حومه‌ی شهر به دلیل داشتن آسمانی صاف و بدون آلودگی، با حداقل پوشش گیاهی و نبود منابع آب سطحی و داشتن زمین‌های لخت با ظرفیت گرمایی پایین، نسبت به مرکز شهر سریع‌تر تحت تأثیر امواج گرمایی قرار گرفته و در نتیجه با گرم‌تر شدن رویه‌ی زمین در اطراف شهر نسبت به مرکز آن، جزیره‌ی گرمایی در مرکز شهر تشکیل یافته است. در شب هنگام حومه‌ی شهر به دلیل ظرفیت گرمایی پایین، گرمای جذب شده در طول روز را سریع‌تر، از دست داده و لذا نسبت به مرکز شهر سردتر شده و در نتیجه در مرکز شهر به دلیل بالاتر بودن دمای رویه‌ی زمین، جزیره‌ی گرمایی تشکیل شده است. همچنین با وقوع موج گرما، به دلیل رابطه معکوسی که بین دما و رطوبت نسبی وجود دارد، میزان رطوبت نسبی مرکز شهری اغلب در مقایسه با روزهایی عادی کاهش یافته است. در مجموع می‌توان گفت که رخ داد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی در شهر سنندج به ویژه در ماه‌های

### منابع

- 1- Almasi F., Tawoosi T., and Hosseinabadi N. 2016. Analysis of Behavior and Frequency Changes in the Occurrence of Heat Waves in Ahvaz, Journal of Spatial Planning 19: 150-137. (In Persian with English abstract)
- 2- Almusaed A. 2011. The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. Biophilic and Bioclimatic Architecture 21: 139-150.
- 3- Azizi Gh. 2004. Climate change, Tehran, Ghoms Publishing, first edition, 434.
- 4- Bai L., Gangqiang D., Shaohua G., Peng B., Buda S., Dahe Q., Ramamurthy P., and Bou-Zeid E. 2017. Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. Journal of Geophysical Research Atmospheres an. 122: 168-178.
- 5- Basara J., Basara H., Bradley I., and Kenneth C. 2018. The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. Advances in Meteorology 7: 1-10.
- 6- Ceccherini G., Russo S., Ametzoy I., Patricia R., Claudia C., and Moreno C. 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. Nat. Hazards Earth System 16: 821-831.
- 7- De Ridder K., Maiheu B., Lauwaet D., Daglis I A., Keramitsoglou I., Kourtidis K., Manunta P., and Paganini M. 2016. Urban Heat Island Intensification during Hot Spells-The Case of Paris during the Summer of 2003. Urbanscience 1: 1-11.
- 8- Dobrovolny P., and 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.
- 9- Feng C., Xuchao Y., and 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.

- 10- Feron R., Sarah R., Cordero P., Alessdro J., Damiani L., Jorquera E., sepulveda V., Asencio Laroze D., Labbe F., Carrasco J., and torres G. 2019, observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific Reports* 9: 1-15.
- 11- Founda D., and 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.
- 12- Fujibe F., Yamazaki N., Kobayashi K., and 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.
- 13- Fumiaki F., Yamazaki N., Kobayashi K., and Nakamigawa H. 2007. Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, papers in Meterology and Geophysics, 58.
- 14- Ghasemifar E., and Naserpour S. 2019. Synoptic analysis of heat and cold waves on the southern shores of the Caspian Sea, *Journal of Geographical Information (Sepehr)* 103: 146-137. (In Persian with English abstract)
- 15- Ghavidel F. 2014. Identification, classification and synoptic analysis of heat waves in northwest of Iran, M.Sc. Thesis, University of Tabriz, Supervisor: Saeed Jahanbakhsh. (In Persian with English abstract)
- 16- Ghobadi A., Khosravi M., and 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. (In Persian with English abstract)
- 17- Hoshyar M., Sobhani B., and Hoseyni S.A. 2018. Perspective Changes Maximum Temperator Urmia Using Disposition Statistics Contact CanESM2 Model, *Journal of Geography and Planning* 63: 325-305. (In Persian with English abstract)
- 18- 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. (In Persian with English abstract)
- 19- <https://search.earthdata.nasa.gov/>.
- 20- Ismail Nejad M., Khosravi M., Alijani B., and Masoudian A. 2013. Identification heat waves of Iran, *Geography and Development* 3: 39-54. (In Persian with English abstract)
- 21- Karampoor M., Rafiyi J., and Jafari A. 2017. Synoptic identification and analysis of heat waves in western Iran (Ilam, Khuzestan, Lorestan, Kermanshah), *Environmental Hazard Management (former hazard knowledge)* 3: 263-279. (In Persian with English abstract)
- 22- Kashki A., Karami M., Baaghideh M., and Ali Moradi M.R. 2019. Statistical analysis of Zabul heat waves, *Changes and Weather Hazards* 1: 40-55. (In Persian with English abstract)
- 23- Khandelwal S., Goyal R., Kaul N., and 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.
- 24- Lazzarini M., Marpu P.R., and 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.
- 25- Lemonsu A., Vigié V., Daniel M., and 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.
- 26- Meteorological Organization of Iran .<http://www.irimo.ir>.
- 27- Mojarad F., Nasiriyah M., and Hashemi S. 2018. Investigation of periodic and seasonal changes of day and night heat island in Kermanshah City using satellite images, *Earth and Space Physics* 44: 479-494. (In Persian with English abstract)
- 28- Muhire I., and Ahmed F. 2016. Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology* 123: 399-414.
- 29- Omidvar K., Mahmoud Abadi M., Olfati S., and Moradi Kh. 2016. Investigation of the possibility of heat waves in selected stations of Kermanshah province, *Journal of Environmental Hazards* 10: 1-20. (In Persian with English abstract)
- 30- Paravantis J., Santamouris M., Constantinos C., Efthymiou Ch., and Kontoulis N. 2017. Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heat waves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, June 2013, *Sustainability* .1-22.
- 31- Rahimi D., Mir Hashemi H., and Alizadeh T. 2016. Analysis of heat waves structure in the west and northwest of Iran, *Geography and Environmental Planning* 3: 69-80. (In Persian with English abstract)
- 32- Ramamurthy P., and Bou-Zeid E. 2017. Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 1: 168-178.
- 33- Rohini P., Pajeevan M., and Mukhopahay P. 2019. Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics* 53: 975-988.
- 34- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen M., and Marquis K.B, IPCC. 2007.
- 35- Sadeghi H., Aghighi M.A., and Suri D. 2017. Investigation of the occurrence of the phenomenon of urban thermal islands using Aster satellite images (Study area: Shiraz city), Third International Conference on Research in Engineering Sciences, 9<sup>th</sup> of September. (In Persian with English abstract)
- 36- Tan J., Zheng Y., Tang X., Guo C., Li Li., Song Y., Kalkstein A.J., and Furong Li. 2010. The Urban heat island and its impact on heat waves and human health in shanghai. *International Journal of Biometeorology* 54: 75-84.

- 37- Weihe Z., Shuang Ji., Tsun-Hsuan Ch., Hou Y., and Zhang K. 2014. The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research* 135: 81–87.
- 38- Wilks D. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University USA, Volume 100 3rd Edition: 706.
- 39- Zhou B., Lauwaet D., Hooyberghs H., De Ridder K., Kropp J.B., and Rybski D. 2016. Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 55: 493-505.

## Investigating the Effect of Heat Waves on the Intensification of Thermal Islands in Sanandaj City From 1989 to 2018

R. Maleki Meresht<sup>1</sup>- B. Sobhani<sup>2\*</sup>- M. Moradi<sup>3</sup>

Received: 04-07-2021

Accepted: 25-09-2021

**Introduction:** Heat waves (HWs) are one of the most important climatic disasters that have devastating environmental consequences in nature every year). The purpose of this study is investigation of the effect of heat waves on the intensification of thermal islands in Sanandaj city from 1989 to 2018. The constant rise in temperature of the city as an urban heat island and the sudden occurrence of HW's as one of the major climatic hazards, is an important concern of urban management policy makers; because intensify heat of this city and cause a lot of environmental damage.

**Materials and Methods:** In order to identify HWs in Sanandaj city, from 1989 to 2018, by using Fumiaki Index and MATLAB software, days whit temperature above +2 standard deviation or above the mean Normalized Thermal Deviation (NTD) that lasted at least two days, were identified as the day with HWs and calculated by equation 1.

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

Where, T (i, j, n) is temperature of day  $i^{\text{th}}$  from month  $j^{\text{th}}$  in year  $n^{\text{th}}$  and  $\overline{T(i, j)}$  indicates the average temperature of day  $i$  from month  $j$ . To eliminate the noise in the mean, a 9-day moving average filter was performed on these data three times and calculated by the following equation.

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - \overline{T(i, j)} \quad (2)$$

Where,  $\Delta T = (i, j, n)$  indicates absolute deviation of temperature from the average on day  $j^{\text{th}}$  of the month  $i^{\text{th}}$ , in year  $n^{\text{th}}$  compared to the average temperature of the same day. In order to the values of temperature deviation of different times and places to be comparable at a certain time and place, it is necessary to standardize these absolute values of temperature deviation by means of temperature diffraction. Like day-to-day changes, diffuse  $T\Delta$  at 31 days for each day is calculated by the following equation.

$$\overline{\sigma^2(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=-16}^{j+16} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N \quad (3)$$

The value  $\overline{T(i, j)}$  is the average temperature deviation in 31 days that is calculated by the following equation.

$$\overline{\Delta T^* (i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=-16}^{j+16} T(i, j', n) \div 31N \quad (4)$$

Finally, (NTD) is calculated by the following equation.

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)} \quad (5)$$

Where  $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\overline{\sigma^2(i, j)}}$ . Then in MATLAB software, days with temperatures +2 above average (NTD) and lasting at least two days, were selected as the day with the HW.

$$\text{NTD}(i), \text{NTD}(i+1), \dots, \text{NTD}(i+p-1) \geq 2, \text{NTD}(i-1), \text{NTD}(i+p) \leq \quad (6)$$

Then the thermal island was calculated in Sanandaj city using Equation 7.

1 and 2- Ph.D. Student and Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: sobhani@uma.ac.ir)

3- Ph.D. of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

DOI: 10.22067/JSW.2021.71049.1061

$$\text{SUHI} = \text{MLST}_{\text{urban}} - \text{FLST}_{\text{rural}} \quad (7)$$

Where, SUHI is the island surface heat index,  $\text{MLST}_{\text{urban}}$  and  $\text{FLST}_{\text{rural}}$  are the average surface temperature of urban and rural areas, respectively.

**Results and Discussion:** The results showed that, during the study period (1989-2008), the highest frequency of HW hazards in this city was in September, February, March, and October 1991. The maximum duration of HWs was 6 days, which occurred in December 2017 and 2005, therefore long-term HWs have been experienced in this city. Results also showed, in both HW and NHW conditions, in the hot and cold months of the year, often a cold island is formed in the city center during the day and a heat island is formed at night. Results also showed that short-time heat waves have been effective in intensifying heat islands. Examination of the intensity of thermal islands in this city showed that during the day in both HW and NHW conditions, which in the HW conditions dominance of the cold island compared to normal day, it has been reduced and in the last months of winter (February), even during the day, a heat island has been created in the center of the city. At night time, in both HW and NHW conditions, a heat island was created in Sanandaj center, but the intensity of night-time heat islands in HW conditions is often significantly higher than normal conditions especially in the winter. Investigation of the condition of thermal islands in the warm months of the year showed that in both HWs, a cold island has been created in the city center that the intensity of cold islands during the HW conditions, especially in the summer months, was often higher than NHW conditions. At night time, there was often a heat island in the city center that was more intense than normal day. Also, in HW conditions, wind speed and especially relative humidity has decreased significantly more than the cold months of the year.

**Conclusion:** According to the results the highest incidence of HW hazards occurred in the winter and early spring. Also, long-term (6-days) HW occurred in this period. The increasing trend, frequency and continuation of HW, especially in the cold months of the year, can be the effects of climate change and global warming. Severe and continuous HWs occurred in Sanandaj city, especially in late winter, can cause early germination and flowering of crops and gardens and it will negatively affect agriculture and horticulture and will lead to great economic losses. The effects of HWs on heat islands occurred in the suburbs due to having a clear sky without pollution, with minimal vegetation and lack of surface water resources and ground with low heat capacity is affected by HWs faster than the city center and as the land surface around the city becomes warmer than its center, a cold island is formed in the city center. At night, the suburbs due to low heat capacity, lose absorbed heat faster and as a result, the heat island is formed in the city center. In general, the occurrence of heat waves in the intensification of thermal islands in the Sanandaj city, especially in the warm months of the year, has a significant effect, and it is likely to intensify in the coming decades, especially at night during the hot months of the year.

**Keywords:** Fumiaki index, Heat waves, Sanandaj city, Thermal islands