



تحلیل فضایی آسیب پذیری شهری در زمان رخداد های امواج حدی گرم با استفاده از شاخص خودهمبستگی فضایی MORANs I (مطالعه موردی شهر شیراز)

فهیمة هوشمند

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

محمد ابراهیم عفیفی

دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران (نویسنده مسئول)

afifi.ebrahim6353@gmail.com

پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۲

دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۵

چکیده

موج های گرمایی شدید از مهم ترین بلایای آب و هوایی بوده که هر سال پیامدهای زیست محیطی مخربی را در طبیعت به جای می گذارند. در این پژوهش برای بررسی روند سری زمانی فراوانی ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) رخداد های امواج گرم شهر شیراز از دو نمایه روزهای گرم و امواج گرم (روزهای گرم با تداوم ۲ روز و بیشتر) از آماره ناپارامتریک تحلیل روند Sens استفاده شده که نتایج آن در همه ایستگاه ها بیانگر وجود یک روند افزایشی هم در تعداد روزهای گرم شهر شیراز و هم در فراوانی رخداد های امواج گرم در ۵ ایستگاه سطح شهر شیراز بوده است. هدف اساسی این پژوهش، تحلیل فضایی آسیب پذیری شهر شیراز در زمان رخداد امواج گرم است که بر اساس تحلیل فراوانی امواج گرم ثبت شده است. با استفاده از تحلیل آمار فضایی لکه های داغ، نواحی بحرانی شهر شیراز حین رخداد موج گرم شناسایی شد و میزان جمعیت در معرض خطر با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع به دست آمد. نتایج نشان داد که هسته های بحرانی داغ در روزهای حاکمیت موج گرم در ساعت ۱۲، عموماً مناطق شمالی و جنوبی را به صورت معنی داری درگیر کرده است. میانگین دمایی این هسته داغ حرارتی به طور متوسط در طی دو موج گرم، به بیش از ۴۳ درجه سانتی گراد رسیده است. دمای این هسته داغ حرارتی به صورت معنی داری حین رخداد موج گرم بالا می رود.

واژگان کلیدی: آمار فضایی، امواج گرم، رخداد های حدی، شهر شیراز، لکه های داغ.

مقدمه

تغییر اقلیم یا به عبارت دقیق‌تر گرمایش جهانی امروزه مهم‌ترین چالش محیطی است که در مقابل جوامع بشری قرار گرفته است (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم^۱، ۲۰۱۴). اثرات گسترده این تغییرات آب و هوایی در همه ابعاد حیات بشری قابل مشاهده است. دما نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین عناصر اقلیمی به شدت از تغییرات آب و هوایی متأثر می‌شود. دما از مهم‌ترین عناصر مؤلفه جوی دستگاه آب و هوا بوده و در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر آب و هوا نیز موثر است (قویدل و رضایی، ۱۳۹۴). افزایش رخدادهای حدی دما شامل امواج گرم زمستانه و تابستانه، امواج سرد زمستانه و تابستانه، سرماهای دیررس بهاره، امواج گرمایی زودرس بهاره، رکوردهای دمایی فصل گرم، تغییرات فضایی نواحی دمایی و نیز جابه‌جایی فصلی دما از تظاهرات اصلی تغییرات آب و هوایی در زمینه دما می‌باشد (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). از امواج گرم تعریف روشنی ارائه نشده است.

امواج گرم که یکی از رخدادهای فرین مهم دمایی است، در کشور ما به یکی از نمایه‌های اصلی گرمایش جهانی (در کنار نمایه اصلی یعنی خشکسالی) تبدیل شده است. به گونه‌ای که در دو دهه اخیر (از سال ۲۰۰۰ به بعد)، رکوردهای دمایی بیشینه در بسیاری از نواحی کشور از جمله خوزستان (دمای بالای ۶۰ درجه در تیر ماه)، قصر شیرین، نواحی مرکزی ایران ثبت شده است (حدادی، ۱۳۸۸). پدیده جزایر حرارتی بعنوان یک پدیده مهم محیطی که در شهرهای بزرگ بیشتر دیده می‌شود با رشد چشمگیر شهرنشینی در کشور ما نیز موجب افزایش میزان حملات قلبی، مشکلات تنفسی، مشکلات روحی و روانی ناشی از گرمای زیاد و ورود ریزگردها شده که این پدیده سلامت افراد را تهدید می‌کند (ابراهیمی هروی، ۱۳۹۳). رخدادهای مرگ و میر مرتبط با دماهای فرین حدی گرم را در شهرهای بیابانی اسنوران^۲ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرکانس رخداد امواج گرم از سال ۱۹۹۰ به صورت معنی‌داری افزایش یافته است. این افزایش مرگ و میرهای مرتبط با گرمزدگی و بیماری‌های مرتبط با گرما در مورد ایالت‌هایی که تراکم جمعیتی بیشتری دارند و در بافت‌های شهری بوده‌اند، بالاتر بود (آسترا و باندلا^۳، ۲۰۱۷).

در کنار مرگ و میرهای مرتبط با امواج گرم، تعداد مراجعین به بیمارستان‌ها در رخدادهای گرم تابستانه، نیز یکی از شاخص‌های خسارت زایی موج گرم است که مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته است؛ به طوری که مادرگان و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی تعداد مرگ و میرهای کلان شهر نیویورک در حالت‌های بحرانی موج گرم طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۱ کردند. ایشان نشان دادند که در روزهایی که موج گرم و ابرگرم حاکم بوده است تعداد مرگ و میرهای ثبت شده بیمارستان مرکزی نیویورک، حدود ۱۵ تا ۱۹ درصد بالاتر از روزهای عادی بوده است. ایشان مشاهده کردند که در شهر نیویورک، میزان مرگ و میر سیاه پوستان در رخدادهای حدی گرم از سایر نژادها بالاتر بوده است.

مجرد و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل آماری هم‌دیدگی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران پرداختند. ایشان با تحلیل شرایط سینوپتیکی رخدادهای امواج گرم در غرب کشور دو الگوی عمده و اصلی هم‌دید مولد این رخدادها را

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² Snoran

³ Astera & Bandella



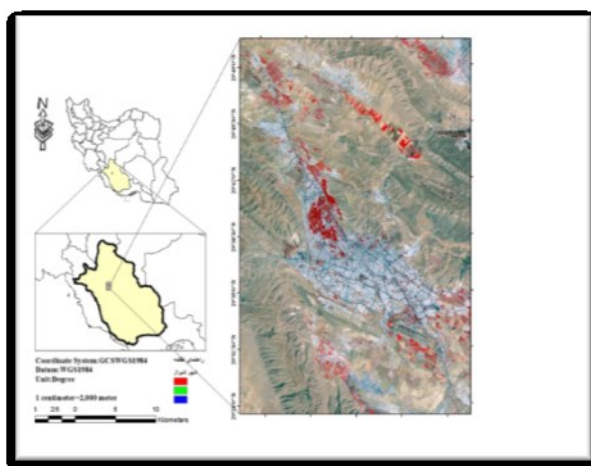
استخراج کردند. ایشان نتیجه گرفتند که پرارتفاع آזור و پرفشار عربستان دو الگوی سینوپتیکی عمده مولد امواج گرمایی در منطقه بوده و زمان آغاز آن از مرداد است.

رحیمی (۱۳۹۶) اقدام به بررسی و تحلیل امواج گرم رخداده در سال ۱۳۸۹ در استان خوزستان کرد. ایشان برای تحلیل سینوپتیک گرم‌ترین‌ها از میان ۵ موج که یک موج فوق گرم ۴ روزه به وقوع پیوسته از روز ۱۴ تا ۱۷ تیرماه بود، برای مطالعه انتخاب کرد. نتایج تحلیل سینوپتیک موج فوق گرم یاد شده نشان داد که استقرار یک کم فشار در سطح زمین و استیلای پرفشار در سطوح میانی تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و همچنین افزایش شدید ضخامت جو بر روی استان خوزستان که موجب فرونشینی هوای گرم و گرمایش بیش از حد سطح زمین می‌شود، عوامل دینامیک- سینوپتیک وقوع روزهای فوق گرم هستند. پژوهش کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۶) نقش پهنه‌های ساخت شهری را در تشکیل و تشدید جزایر حرارتی نشان داد به طوری که تفاوت دمایی محیط‌های شهری با محیط‌های غیر شهری، ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. عقیفی و همکاران در سال ۱۴۰۰ در پژوهشی به بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER در شهر شیراز پرداخته‌اند. در این تحقیق از ۵ باند برای بازیابی توزیع دمای سطح زمین و تعیین اثرات محلی جزیره حرارتی استفاده شده است. ایشان نتیجه گرفتند که اثر جزیره حرارتی شهری در شیراز اساساً در مناطق صنعتی غرب و مسکونی و جنوب شرق شیراز واقع شده است.

با وجود اهمیت روزافزون گرمایش جهانی و فراوانی رخداد امواج گرم به ویژه در فصل گرم و افزایش خسارات مالی و جانی آن، مطالعه جامعی در مورد میزان آسیب‌پذیری بالقوه نواحی شهری درمقابل رخداد موج گرم به مثابه یکی از فرایندهای حدی اقلیم صورت نگرفته است. هدف اساسی پژوهش حاضر بررسی میزان آسیب‌پذیری شهر شیراز در برابر امواج گرم به منزله یکی از مخاطرات نوظهور اقلیمی است.

معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه، شهر شیراز می‌باشد که به عنوان یکی از مناطق صنعتی، توریستی و جمعیتی دارای رشد بالای توسعه شهری و افزایش جمعیت بوده است. با توجه به تاثیر عرض جغرافیایی و اقلیم‌های مختلف بر دمای سطح و پدیده جزایر حرارتی، شهر شیراز دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک است. شهر شیراز به عنوان مرکز استان فارس در دشتی تقریباً مستطیل شکل در ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع شهر شیراز از سطح دریا ۱۵۴۰ متر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۴۳/۲ درجه سانتی‌گراد در فصول گرم و حداقل درجه حرارت ۱۴- درجه سانتیگراد در فصول سرد می‌باشد. میزان بارندگی سالانه بیش از ۳۰۷ میلی‌متر بوده و روزهای یخبندان حدود ۵۴ روز می‌باشد.



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه، شیراز

مواد و روش‌ها

منابع داده‌ها

حرارت سطح زمین شاخص مهمی در مطالعه مل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و فعل و انفعالات بین زمین و اتمسفر در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است. تصاویر سنجنده از دور به دلیل پوشش وسیع و به هنگام بودن منبع اطلاعاتی مناسبی در تهیه نقشه‌های حرارتی و تخمین انرژی تشعشعی سطح زمین می‌باشند (آخوندزاده، ۱۳۸۶). منابع داده این تحقیق، تصویر ماهواره TERRA سنجنده ASTER به تاریخ ۳۰ آوریل ۲۰۰۷ و ۳۰ آوریل ۲۰۱۱، داده‌های دمایی مرکز تحقیقات هواشناسی و نقشه‌های کاربری اراضی اداره هواشناسی، جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای شهر شیراز می‌باشد. سنجنده ASTER دارای ۱۴ باند در حیطه‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)، مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) و مادون قرمز گرمایی (TIR) است. تصاویر دریافتی در سه حیطه طیفی دارای توان تفکیک مکانی متفاوت می‌باشند که توان تفکیک باندهای VNIR ۱۵ متر، باندهای SWIR دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متر، تصاویر مادون قرمز گرمایی دارای تفکیک مکانی ۹۰ متر و باند ۱۰ سنجنده ASTER مقدار گرمای گسیل شده از سطوح را اندازه‌گیری می‌کند.

روش تحلیل

در مرحله اول، فرین‌های حرارتی گرم یا همان امواج گرم با استفاده از روش صدک‌ها و با قید صدک ۹۵ ام (یعنی فرین‌های گرمی که احتمال رخداد آن‌ها در یک سال ۵ درصد و کمتر بوده است) با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک مذکور استخراج گردید. روند سری زمانی و آستانه متوسط این فرین‌های حدی، براساس آمار ایستگاه سینوپتیک فرودگاه شهید دستغیب شیراز با استفاده از دو آزمون تحلیل روند ناپارامتریک مورد بررسی قرار گرفت. دمای سطح شهر در هنگام موج گرم با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین سنجنده MODIS مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از مدل‌های آمار فضایی الگوهای توزیع فضایی شدت حرارت فرین گرم در سطح شهر شیراز و مناطق در معرض تنش‌های حاد حرارتی با استفاده از آمار خودهمبستگی فضایی محلی و عمومی مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل روند سری زمانی رخدادهای فرین گرم

به منظور تحلیل روند سری های زمانی شاخص های مورد نظر از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده گردید. تأثیرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی سریهای زمانی یکی از اصلیتیرین مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر آزمون من-کندال نشان از تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری زمانی است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) نشانهی وجود روند در سری داده ها است. در آزمون من-کندال مقدار هر داده با تمام مقادیر دادههای بعدی مقایسه میگردد. مراحل محاسبه ی آماره ی این آزمون برای سریهای زمانی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ مطابق زیر است:

رابطه ی ۱

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_k)$$

که در آن sign معادل:

رابطه ی ۲

$$\text{sign}(x_i - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases}$$

احتمال مرتبط با S و اندازه نمونه، n، محاسبه می گردد تا با استفاده از آماره ی Z اندازه ی روند مطابق زیر بدست آید:

رابطه ی ۳

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

که در آن واریانس از طریق معادله ی زیر محاسبه میشود:

رابطه ی ۴

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

شاخص خود همبستگی فضایی MORANs I

به منظور تحلیل فضایی لکه های داغ^۴ دمای هوا، از تحلیل خودهمبستگی فضایی موران استفاده شد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶). مقدار آماره موران جهانی به وسیله ی رابطه ی ۵ محاسبه می شود.



$$I = \frac{n}{s} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه ۵ (ضریب خودهمبستگی فضایی موران)}$$

بطوری که X_i و X_j مقادیر متغیر را در مکان‌های i و j نشان می‌دهد. همچنین \bar{x} میانگین ویژگی هر ایستگاه را نشان می‌دهد. مقدار وزن فضایی عارضه‌های i و j می‌باشد. اگر i و j در همسایگی یکدیگر قرار گرفته باشند، مقدار w_{ij} برابر با یک می‌باشد. در صورتی که i و j در همسایگی یکدیگر نباشند، مقدار w_{ij} صفر به دست می‌آید. s نیز مجموع تمام عناصر را نشان می‌دهد. دامنه ی تغییرات شاخص موران جهانی بین -۱ تا +۱ است. در صورتیکه مقادیر موران معنی‌دار و بزرگتر از صفر باشد، همبستگی فضایی مثبت و خوشه‌ای است؛ در غیر اینصورت همبستگی فضایی منفی و به صورت پراکنده می‌باشد. زمانیکه $Z(I)$ صفر است، مبین الگوی تصادفی در ارزش ملاحظات می‌باشد. (تانگلین^۵، ۲۰۰۷ و گریفیت^۶، ۲۰۰۳).

در ادامه برای کشف دقیقتر نواحی حرارتی بحرانی سطح شهر شیراز از آماره تحلیل لکه‌های داغ^۷ و تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌های انسلین^۸ که خود مبتنی بر آماره موران محلی است، استفاده گردید. تحلیل لکه‌های داغ این تحلیل که مبتنی بر آماره G_i Getis-Ord است، برای شناسایی بلوک‌های جمعیتی سطح شهر شیراز که هنگام تسلط موج گرم، دمای هوای آن‌ها به صورت معنی‌داری (در سطح اطمینان ۰/۹۵) $(P_value = 0.05)$ بالاتر از اطراف بوده است، استفاده گردید. نمره Z محاسبه شده این آماره نشان می‌دهد که در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چهارچوب مفهومی این تحلیل اینگونه عمل کند که عارضه‌ای لکه داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه ی آن از نظر آماری به صورت معنی‌داری بالاتر از اطراف باشند. آماره G_i Getis-Ord به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - x \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad \text{رابطه ۶ آماره (Getis-Ord } G_i)$$

که در این رابطه، X_j دمای موقعیت j حین موج گرم، $w_{i,j}$ وزن فضایی بین موقعیت مشاهداتی i و j ، n نیز تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. مولفه S نیز به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad \text{رابطه ۸}$$

تحلیل فراوانی روزهای حدی گرم

⁵ -Tonglin

⁶ -Griffith

⁷ Hot-Spot

⁸ Cluster-outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)



روزهای حدی در این مطالعه روزهایی هستند که از آستانه صدکی تجاوز کرده است. این روزها ممکن است طی یک دوره موج گرم و یا خارج از موج گرم شناسایی شوند. باتوجه به جدول سالهای ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۶ با بیش از ۴۰ روز حدی گرم در تمامی ایستگاههای مطالعاتی (بجز ایستگاه سازمان آب فارس در سال ۱۹۹۵) به عنوان گرمترین سالها در طول دوره آماری مورد بررسی شناسایی شدند. سال ۲۰۰۷ با بیش از ۴۰ روز حدی گرم در تقریبا اکثر ایستگاههای شهر شیراز، جزء گرمترین سالها بوده است. در مجموع در طول دوره آماری مورد بررسی فراوانی تعداد روزهای گرم در بیشتر ایستگاههای مطالعاتی شهر شیراز رو به افزایش بوده است.

جدول ۱. ویژگیهای آماری تعداد روزهای موج گرم در ایستگاههای شهر شیراز

سال	فرودگاه	شهرک گلستان	شهرک صدرا	سازمان آب	زرقان
۱۹۸۷	۲۳	۲۷	۲۷	۲۶	۲۹
۱۹۸۸	۲۹	۲۴	۱۹	۲۷	۲۷
۱۹۸۹	۵۰	۳۷	۲۴	۴۸	۳۰
۱۹۹۰	۴۰	۳۱	۲۵	۳۱	۳۳
۱۹۹۱	۳۲	۲۲	۳۱	۱۹	۲۸
۱۹۹۲	۲۶	۲۴	۲۷	۱۹	۲۷
۱۹۹۳	۱۷	۱۵	۱۸	۱۲	۱۶
۱۹۹۴	۳۶	۳۳	۳۵	۲۷	۲۸
۱۹۹۵	۴۵	۴۵	۴۲	۳۷	۳۲
۱۹۹۶	۲۵	۱۵	۲۲	۱۲	۱۷
۱۹۹۷	۴۷	۴۴	۴۶	۴۰	۴۶
۱۹۹۸	۳۹	۳۲	۳۵	۲۸	۳۰
۱۹۹۹	۳۵	۲۵	۳۴	۱۷	۳۱
۲۰۰۰	۴۱	۴۴	۴۰	۳۴	۳۸
۲۰۰۱	۳۵	۳۵	۳۳	۲۷	۳۳
۲۰۰۲	۳۲	۳۹	۳۳	۳۰	۳۱
۲۰۰۳	۴۰	۳۹	۴۴	۳۰	۳۳
۲۰۰۴	۴۳	۴۶	۴۲	۲۱	۴۲
۲۰۰۵	۳۶	۴۱	۳۷	۲۹	۳۲
۲۰۰۶	۵۶	۵۷	۴۶	۴۰	۴۳
۲۰۰۷	۴۰	۵۱	۴۴	۴۰	۳۶
۲۰۰۸	۴۷	۴۴	۴۱	۳۵	۳۸
۲۰۰۹	۴۵	۵۳	۴۷	۳۶	۳۲
۲۰۱۰	۴۲	۴۱	۳۹	۳۷	۳۵
۲۰۱۱	۴۹	۴۹	۴۵	۳۳	۳۰
۲۰۱۲	۳۹	۴۷	۴۸	۳۴	۲۹



۳۶	۳۷	۴۳	۴۶	۴۲	۲۰۱۳
۳۲	۳۵	۴۲	۴۵	۴۷	۲۰۱۴
۳۹	۲۹	۴۱	۴۸	۴۴	۲۰۱۵
۴۱	۳۴	۳۴	۴۷	۴۸	۲۰۱۶

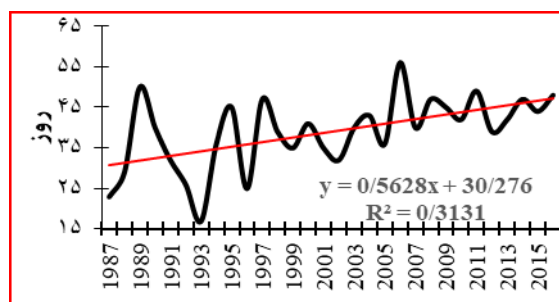
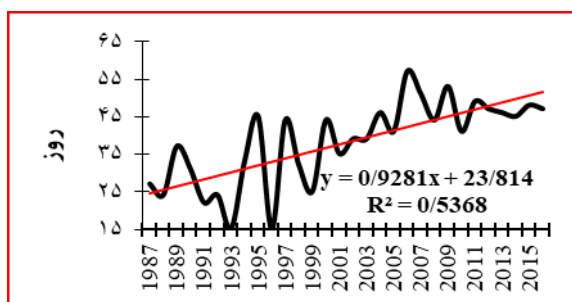
در جدول زیر ویژگی‌های آماری روزهای حدی گرم در ایستگاه‌های شهر شیراز آمده است.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری روزهای حدی گرم در ایستگاه‌های شهر شیراز

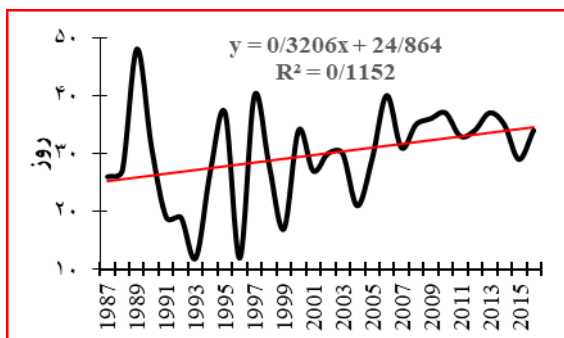
مجموع	فرودگاه	شهرک گلستان	شهرک صدرا	سازمان آب	زرقان
۱۱۷۰	۱۱۴۶	۱۰۹۷	۸۹۵	۹۷۴	
۳۹	۳۸/۲	۳۶/۵	۲۹/۸	۳۲/۴	
۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۰	
۸/۸	۱۱/۱	۹	۸/۳	۶/۵	
سال ۲۰۰۶	سال ۲۰۰۶	سال ۲۰۱۲	سال ۱۹۸۹	سال ۱۹۹۷	
سال ۱۹۹۳	سال ۱۹۹۶	سال ۱۹۹۳	سال ۱۹۹۳	سال ۱۹۹۳	

آشکارسازی روند سری زمانی روزهای گرم

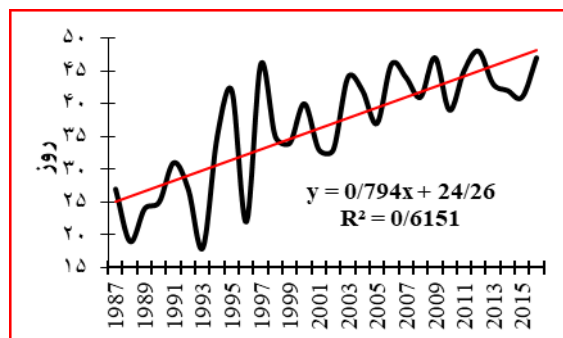
برای آشکارسازی روند سالانه سری زمانی تعداد روزهای گرم در ایستگاه‌های سطح شهر شیراز طی دروه آماری مورد بررسی (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶)، از آماره تخمینگر شیب Sens استفاده شده که به صورت نمودارهای شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در ایستگاه فرودگاه براساس این روش ناپارامتریک تخمینگر شیب، هر ساله حدود ۰/۵۶ روز تعداد روزهای حدی گرم و در ایستگاه شمال شیراز (شهرک گلستان) هر ساله حدود ۰/۹۲ روز تعداد روزهای حدی گرم افزایش یافته است. در ایستگاه شهرک صدرا نیز هر ساله حدود ۰/۷۹ روز تعداد روزهای حدی گرم و در ایستگاه سازمان آب فارس هر ساله حدود ۰/۳۲ روز تعداد روزهای حدی گرم افزایش یافته است. در ایستگاه زرقان نیز طی دروه آماری مورد بررسی هر ساله حدود ۰/۳۲ روز تعداد روزهای حدی گرم افزایش یافته است.



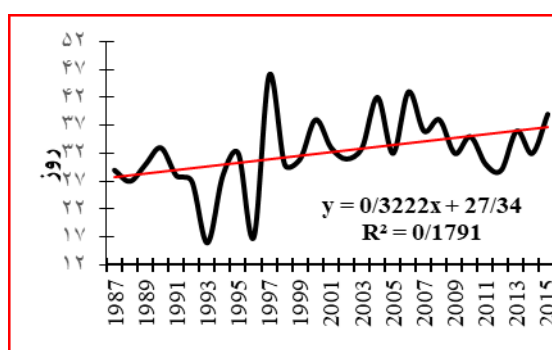
ایستگاه شهرک گلستان



ایستگاه فرودگاه



ایستگاه سازمان آب فارس

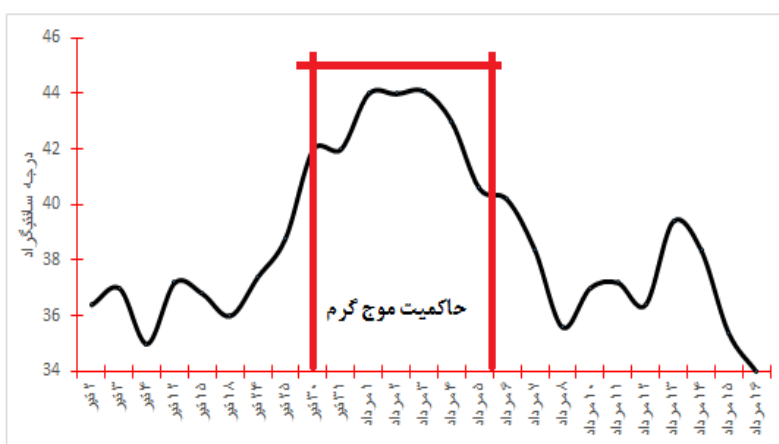


ایستگاه شهرک صدرا

ایستگاه زرقان

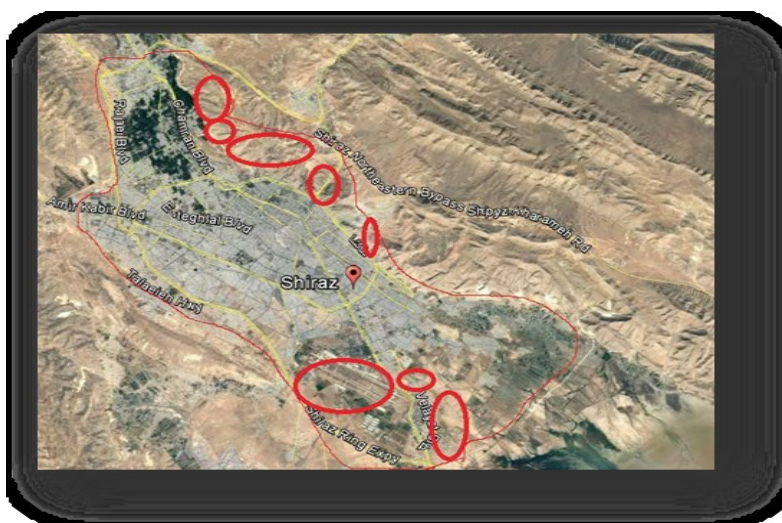
شکل ۲. آشکارسازی فراوانی تعداد روزهای حدی گرم در ایستگاه‌های شهر شیراز، طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶

برای ارزیابی خطر بالقوه گرم‌زدگی و جمعیت در معرض خطر گرم‌زدگی، از دو موج گرم شناسایی شده، موج گرم ۲۰ تا ۲۸ جولای ۲۰۱۳ (۳۰ تیر تا ۶ مرداد ۱۳۹۲) انتخاب شد. میانگین دمای سطح شهر شیراز طی حاکمیت این موج گرم بیشتر از ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. دمای دیده‌بانی شده ساعت ۱۲ به صورت میانگین در تیرماه به ۴۰/۵ و در مرداد ماه ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد رسید که در مقایسه با سال قبل بین ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد در تیرماه و مرداد افزایش داشته است. میانگین دمای ساعت ۱۲ ایستگاه‌های ۵ گانه سطح شهر شیراز در این روزها به ۴۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است.



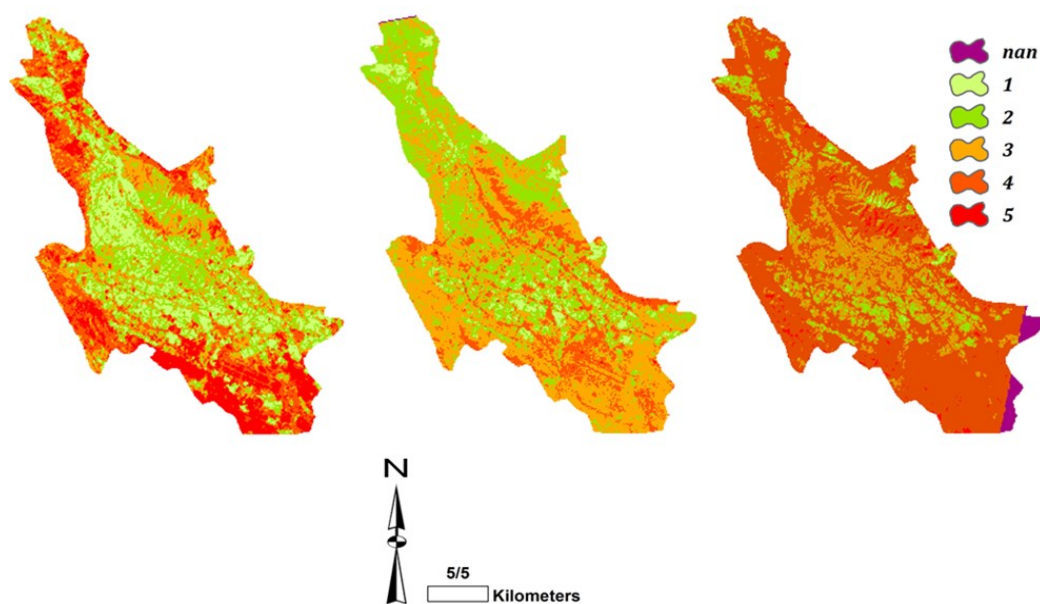
شکل ۳. دمای دیده‌بانی شده ساعت ۱۲ به وقت محلی، متوسط ایستگاه‌های ۵ گانه سطح شهر شیراز طی دوره حاکمیت موج گرم ۳۰ تیر تا ۶ مرداد سال ۱۳۹۲

نتایج حاصل از اجرای تحلیل آمار فضایی لکه‌های داغ HOT-SPOT، در نقشه شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که در این نقشه دیده می‌شود، هسته‌های بحرانی حرارتی که در سطح اطمینان 0.05 ($P_value = 0.05$)، به صورت معنی‌داری از مناطق اطراف گرم‌تر بوده‌اند، آشکار شده است. هسته‌های بحرانی داغ، در روزهای حاکمیت موج گرم در ساعت ۱۲، عموماً مناطق شمالی و جنوبی را به صورت معنی‌داری درگیر کرده است. شدت تنش گرمایی موج گرم در این مناطق به صورت معنی‌داری بالا بوده است. میانگین دمایی این هسته داغ حرارتی به طور متوسط در طی دو موج گرم، به بیش از ۴۳ درجه سانتیگراد رسیده است. بخش‌های محدودی از منطقه ۲ و نیز منطقه ۵ شهر شیراز نیز در این هسته داغ حرارتی قرار گرفته است این هسته داغ حرارتی در سطح شهر شیراز که در ساعت ۱۲ روزهای حاکمیت موج گرم، میانگین فضایی دمای آن به بیش از ۴۳ درجه سانتیگراد با ضریب تغییرات فضایی $1/2$ درجه سانتیگراد، مساحتی در حدود ۱۲۸ کیلومتر مربع که برابر ۲۵ درصد از مساحت کل بلوک‌های آماری شهر شیراز است را در بر گرفته است. بخش‌هایی وسیعی نیز از بلوک‌های جمعیتی شهر شیراز از لحاظ آماری، براساس تحلیل آمار فضایی HOT-SPOT معنی‌دار نبوده‌اند. این بخش‌ها، که عموماً شامل شرقی و شمال غربی تنش حرارتی به صورت معنی‌داری بالا نبوده است که تشکیل یک هسته حرارتی داغ را در سطح اطمینان 0.05 ($P_value = 0.05$) بدهد.



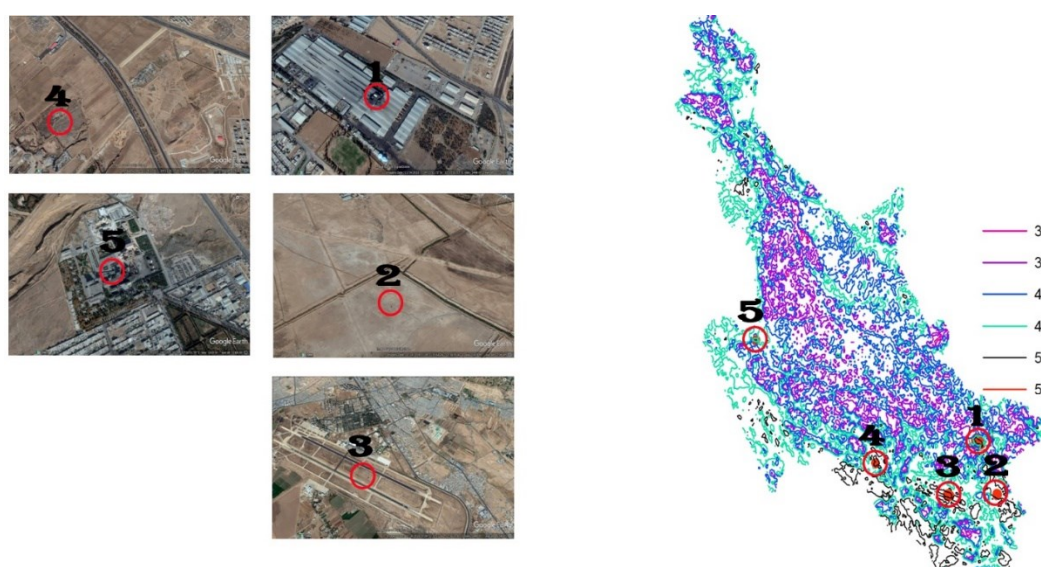
شکل ۴. تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهر شیراز

در شکل ۵ مشاهده می‌شود در تصویر تابستان تعداد این نقاط داغ در تابستان ۵ و در زمستان طی روز ۲ و طی شب ۱ عدد تشخیص داده شده‌اند.



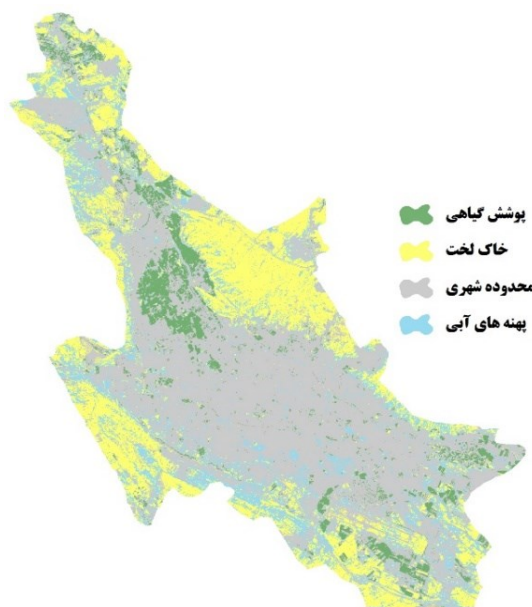
شکل ۵. نقشه های حرارتی نرمال شده به ۵ طبقه دمایی استاندارد، از سمت راست نقشه زمستان روز، زمستان شب، تابستان روز

همانگونه در شکل ۶ نشان داده شده است، نقطه شماره یک منطبق بر یک کارخانه می باشد و حتی ناحیه دایره ای کبود در تصویری حاکی دمای بالای این نقطه می باشد، نقطه شماره ۲ بر فرودگاه شیراز قرار دارد و نقطه شماره ۵ کارخانه سیمان فارس منطبق می باشد. همانگونه که در تصاویر نیز دیده می شود نقطه ۵ (کارخانه سیمان فارس) به طور واضحی در هر سه تصویر شکل ۵ مکان خود را حفظ کرده است که این امر گویای ماندگاری دمای بالای این نقطه در زمانهای مختلف سال و شرایط مختلف شبانه روز می باشد. نقاط داغ (Hot Spot) در تصویر به صورت لکه های قرمز رنگی دیده می شوند که برای وضوح بیشتر آنها دایره های قرمز رنگ نیز در اطراف آنها کشیده شده است.



شکل ۶. آشکار سازی نقاط داغ بر روی نقشه و تصویر ماهواره ای موقعیت آنها بر روی زمین

همانطور که از مقایسه شکل های قبل با شکل ۷ مشاهده می گردد، مناطق شمالی و جنوبی شهر شیراز که عموماً کاربری اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی است دارای بالاترین دما (بیش از ۴۶ دزجه سانتی گراد) بوده است. رابطه دمای سطح زمین با کاربری اراضی کاملاً واضح می باشد، چنانچه طبقات دمایی بسیار بالا تا حدود زیادی منطبق بر کاربری خاک لخت و در درجه بعدی منطبق بر کاربری شهری می باشند. پهنه های گیاهی و آبی به ترتیب کمترین مقدار حرارت را نشان می دهند. این امر همچنین اثر خنک کنندگی پوشش گیاهی در محیط های آلوده و گرم شهری را نشان می دهد. (شکل ۷). خاک لخت بیشترین دمای سطح را در تمام شهرها و پس از آن سطوح ساختمانی دارای دمای بیشتر نسبت به پوشش گیاهی و پوشش گیاهی دارای کمترین میانگین دمای سطح است (افشار، ۱۳۷۹ و اکبری، ۱۳۷۹). همچنین ارتباط قوی میان نوع کاربری و دمای سطح و نقش موثر پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطح در پژوهشی در شهر تبریز با بررسی رابطه ی میان NDVI و حرارت سطح نشان داده شده است (امیری، ۱۳۸۶).



شکل ۷: نقشه کاربری اراضی شیراز

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می گردد در این هسته داغ حرارتی که به صورت معنی داری دمای آن حین رخداد موج گرم بالا میرود، به طور کلی ۲۹۵۴۴۸۵ نفر از جمعیت شهر شیراز (برابر با ۳۵ درصد از جمعیت شهر شیراز) قرار گرفته است. در این هسته داغ حرارتی تعداد ۱۳۰۰۰۰ بلوک آماری که برابر ۴۰ درصد از کل بلوک های جمعیتی شهر شیراز است، قرار دارد.

جدول ۳. آنالیز ماتریس متقاطع^۹ هسته حرارتی آشکار شده شهر شیراز در هنگام حاکمیت موج گرم در سطح شهر و جمعیت و

رده های سنی آسیب پذیر در برابر تنش های حرارتی موج گرم سطح شهر شیراز

نفر	طبقات دمایی
۲۹۵۴۴۸۵	جمعیت کل

^۹ Tabulate Intersection



۳۵۲۷۵۰	کهنسالان بالای ۶۵ سال
۹۱۲۸۹۰	کودکان زیر ۱۰ سال
۱۳۴۱۰	تعداد بلوک های جمعیتی

در هسته داغ آشکار شده شهر شیراز در هنگام حاکمیت موج گرم، تعداد ۳۵۲۷۵۰ کهنسال بالای ۶۵ سال اعم از زن و مرد وجود دارند. این تعداد کهنسال، برابر ۰/۴۱ از کل جمعیت این رده سنی می باشد. تنش های حرارتی می تواند به صورت چشم گیری یک ریسک عمده برای سلامتی این رده سنی به حساب آید. تعداد ۹۱۲۸۹۰ کودک زیر ۱۰ سال اعم از کودکان دختر و پسر در بلوک های جمعیتی واقع شده در هسته داغ حرارتی شهر شیراز هنگام حاکمیت موج گرم قرار گرفته است. این تعداد کودکان زیر ۱۰ سال برابر ۶۰ درصد از کل کودکان شهر شیراز است.

بحث

در این پژوهش مخاطره بیوکلیمایی رخداد های موج گرم در شهر شیراز بررسی شده است. تنش های حرارتی تابستانه ناشی از موج گرم در شهر شیراز، هر ساله در تابستان باعث ظهور و تشدید بسیاری از بیماری های ناشی از تنش گرمزدگی^{۱۰} می شود. بررسی پیشینه پژوهش نشان دهنده آن است که تاکنون در پژوهش های داخل کشور گرمزدگی ها و تنش های حرارتی مرتبط با امواج گرم در محیط های شهری و جمعیت در معرض مخاطره گرمزدگی های حاد بررسی نشده است. اما با نگاهی دقیق تر به موضوع دو نکته بسیار مهم آشکار می شود: از یک طرف پژوهش های متعدد جهانی و داخلی نشان داده اند که در راستای رخداد گرمایش جهانی، افزون بر میانگین عمومی دما، تعداد رخداد های حدی دمایی از قبیل امواج گرم و سرد در سه دهه اخیر روند افزایشی داشته است. از طرف دیگر، روزه روز تعداد و تراکم جمعیتی و مسکونی شهرها روند افزایشی خواهد داشت؛ بنابراین از یک سو با افزایش فراوانی رخداد حدی موج گرم و ازدیگرسو با افزایش جمعیت شهری و افزایش تراکم مسکونی شهر، انتظار می رود اثر هم افزای این دو عامل اقلیمی و انسانی، تأثیرات مخرب موج گرم نیز در محیط شهری افزایش یابد که پژوهش های بسیاری این روند را به صورت عینی در نواحی مختلف جهان اثبات کرده اند. براساس آمار جمعیتی مناطق شیراز، در سال ۱۳۹۵، منطقه ۵ شیراز با جمعیت بالغ بر ۹۱۷ هزار و ۲۶۱ نفر، پرجمعیت ترین منطقه شیراز و منطقه ۲ با جمعیت ۱۷۵۳۹۸ نفر کم جمعیت ترین منطقه شیراز بوده اند. در این پژوهش نتایج نشان داد طی ۳ دهه اخیر (۲۰۱۶-۱۹۸۷) رخداد های حدی موج گرم در شهر شیراز روند افزایشی داشته است. هسته های بحرانی داغ، در روز های حاکمیت موج گرم در ساعت ۱۲، عموماً مناطق شمالی و جنوبی را به صورت معنی داری درگیر کرده است. میانگین دمایی این هسته داغ حرارتی به طور متوسط در طی دو موج گرم، به بیش از ۴۳ درجه سانتیگراد رسیده است. بخش های محدودی از منطقه ۱ و ۳ و ۵ شهر شیراز نیز در این هسته داغ حرارتی قرار گرفته است این هسته داغ حرارتی در سطح شهر شیراز که در ساعت ۱۲ روز های حاکمیت موج گرم، میانگین فضایی دمای آن به بیش از ۴۳ درجه سانتیگراد با ضریب تغییرات فضایی ۱/۲ درجه سانتیگراد، مساحتی در حدود ۱۲۸ کیلومتر مربع که برابر ۲۵ درصد از مساحت کل بلوک های

¹⁰ Hypothermia



آماري شهر شيراز است را در بر گرفته است. همچنين بيش از ۴۰ درصد از كل جمعيت كهנסال شهر شيراز در محدوده حاكميت هسته داغ حرارتي هنگام حاكميت موج گرم قرار گرفته است.

مي توان اين ارتباط بين بالا بودن ميانگين دماي هوا در نواحي با تراكم بالاي جمعيت را با توزيع ساختار و بافت شهري تبين كرد. آسترا و باندلا (۲۰۱۷)، اين رابطه را در پژوهش خود اين گونه توجيه كرده اند: تمرکز جمعيت، افزايش تراكم مسكوني در نواحي مركزي شهر، ترافيك شهري و جمعيت بالا، تمرکز فعاليت هاي گرمازا در بخش هاي مركزي شهر را به همراه خواهد داشت. با توجه به روند رو به افزايش رخدادهاي موج گرم ناشي از گرمایش جهانی انتظار می رود که در آینده بسیار نزدیک مشکلات مربوط به تأثیرات منفی موج گرم در سطح شهر به شدت تشدید شده و در بخش های اورژانس بیمارستان های شهر به وضوح شاهد مراجعان مرتبط با گرمزدگی و تنش های گرمایی باشیم.

نتیجه گیری

در اين پژوهش مشخص شد كه بيش از ۴۰ درصد از كل جمعيت كهנסال شهر شيراز در محدوده حاكميت هسته داغ حرارتي هنگام حاكميت موج گرم قرار گرفته است، لذا موج گرم را مي توان به عنوان يكي از تهديدات اساسي بيوكليمي شهر شيراز به حساب آورد. اين امواج گرم مي تواند تعداد مراجعات اورژانسى بیمارستان را كه عموماً مربوط به رده سني كهנסالان است افزايش دهد. ريسك هايپوترمي يا گرمزدگي حاد در بخش هايي از شيراز كه به عنوان هسته داغ حرارتي شناخته شده است، بايد مورد توجه سازمان ها و نهادهاي متولي از جمله مركز فوريت هاي پزشكي و اورژانس شيراز قرار بگيرد. تعداد ۹۱۲۸۹۰ كودك زير ۱۰ سال اعم از كودكان دختر و پسر در بلوك هاي جمعيتي واقع شده در هسته داغ حرارتي شهر شيراز هنگام حاكميت موج گرم قرار گرفته است. اين تعداد كودكان زير ۱۰ سال، برابر ۶۰ درصد از كل كودكان شهر شيراز است. بنابراين بخش اعظم جمعيت كودكان زير ۱۰ سال در موقعيت اين هسته داغ حرارتي قرار گرفته اند. ريسك موج گرم در اين رده سني بيشتر در زمينه گرمزدگي يا هايپوترمي و افت سطح آب بدن كودكان ظاهر شده و در صورت نبود بيماري هاي زمينه اي، كمتر منجر به حملات قلبي و عصبي مي شود.



منابع

- ابراهیمی هروی، بهروز، ۱۳۹۳، تحلیل روابط بین جزایر حرارتی شهری و تغییرات کاربری/ پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در کلانشهر کرج، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه سنجش از دور.
- افشار، مژگان، ۱۳۷۹، بررسی و شناخت جزیره حرارتی شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
- اکبری، هادی. ۱۳۷۹، بررسی الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران با استفاده از اطلاعات حرارتی لندست TM، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- امیری، رضا، علیمحمدی، عباس، علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۶، مطالعه تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست، مجله محیط شناسی، سال سی و سوم، ۴۳، صفحه ۱۲۰-۱۰۷.
- آخوند زاده، مهدی و سراجیان، محمد رضا. ۱۳۸۶، کاربرد تصاویر ماهواره ای Terra-ASTER در نمایش جزایر حرارتی در مناطق شهری -شهر تهران، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی. قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی. دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- حدادی، حسین ۱۳۸۸، تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما در ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس
- رحیمی، داریوش؛ میرهاشمی، حمید؛ علیزاده، تیمور ۱۳۹۶، بررسی تحلیل ساختار امواج گرمایی در غرب و جنوب غرب ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، شماره ۳.
- عقیقی، محمد ابراهیم، محمدی، مجتبی، ۱۴۰۰، بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دهم، شماره ۳۷، صص ۲۱-۴۴
- فاطمی، سید باقر، رضایی، یوسف، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، ۱۳۸۴.
- قویدل رحیمی، یوسف، رضایی، محمد ۱۳۹۴، جستاری پیرامون شناسایی، طبقه بندی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی استان شیراز. جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۹ (۵۴)، ۲۷۷-۲۵۳.
- کریمی فیروزجایی، محمد، کیاورز، مجید، علوی پناه، سیدکاظم، ۱۳۹۶، پایش و پیش بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره ۵، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۵۱
- مجرد، فیروز، معصوم پور، جعفر؛ رستمی، طیبه ۱۳۹۴، تحلیل آماری همبندی امواج گرم بالای ۴۰ درجه سانتی گراد، در غرب ایران. جغرافیا و مخابرات محیطی، ۱۳ (۱)، ۴۷-۵۱.
- مجنونیان، ه. ۱۳۷۴. مباحثی پیرامون پارک ها، فضای سبز و تفرجگاه ها. سازمان پارک ها و فضای سبز تهران.
- Austria P. F., Bandala, E. R. (2017). Temperature and heat-related mortality trends in the Sonoran and Mojave desert region. *Atmosphere*, 8 (53), 1-13.
- Griffith, D. A. (2003). Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering: Gaining Understanding through Theory and Scientific Visu-alization, *Advances in Spatial Science*, Springer, 247.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working group II contribution to the IPCC fifth assessment report*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2.



- Madrigano, J., Ito, K., Johnson, S., Kinney, P. L., Matte, T. (2015). A case-only study of vulnerability to heat wave-related mortality in New York city (2000-2011). *Environ Health Perspect*, 123 (7), 672-678.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- Tonglin, Z., Lin, Ge., (2007). A decomposition of Moran's I for clustering detection, *Computational statistics and data analysis*, 51.
- Wang, ZB, Fang, CL. (2016). Spatial-temporal characteristics and determinants of PM 2.5 in the Bohai Rim Urban Agglomeration. *Chemosphere*; 148:148-62.