



Spatial Analysis of Bioclimatic Vulnerability of Kermanshah Facing Heat Wave

Hossein Yavari¹, Mostafa Karampour^{2*}, Daruosh Yarahmadi³

¹ Ph.D. Student of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran

² Assistant Professor of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran

³ Associate Professor of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 21 November 2018

Accepted 10 February 2019

Available online 27 May 2019

Keywords:

Extrem Events, Spatial Statistic, Heat Stress, Critical Zone, Kermanshah City.

Citation: Yavari, H., Karampour, M., Yarahmadi, D. (2019). Spatial Analysis of Bioclimatic Vulnerability of Kermanshah Facing Heat Wave. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (1), 37-50. doi: [10.22126/GES.2019.1062](https://doi.org/10.22126/GES.2019.1062)

ABSTRACT

Nowadays, extreme events, as one of the signs of climate change, have become major climatic hazards. The main objective of this study is to investigate the population exposed hyperthermia in Kermanshah at the time of the heat waves. In this regard, the heat waves of Kermanshah synoptic station were extracted during 2000-2015, and the heat wave in July from 7 to 13 was selected as the case study. The land surface temperature of Kermanshah city was extracted by applying a single channel algorithm on the thermal bands of TIRS sensor of the Landsat 8 platform for July 9, 2015. The obtained LST turned into air temperature using 09 UTC air temperature of Kermanshah meteorological Synoptic station. Using spatial statistics analysis of hot spots, critical regions of Kermanshah were identified during heat wave and the population of high risk was obtained from demographic block of 2016 census using tabular matrix analysis. The results showed that 6 districts of Kermanshah with an area of 3072 hectares form a critical heat core. The daily temperature mean of this heat core for 6 heat wave days was not less than 36 degrees Celsius, while the mean of maximum temperature of this part of the city was 47 degrees Celsius. The analysis of the tabular matrix indicates that according to the census of 2016, 0.52 of the total population of the city of Kermanshah, 492285 people, were located in the critical core area, and the population density in this core was 160 people per hectare, which is twice the density of Kermanshah city. 0.44 of the population of two demographic class (99893 people) that have high vulnerability to heat waves, heat stress and hyperthermia, namely, young children (under the age of 10) and the elderly (over the age of 60) are located in the heat core area.



تحلیل فضایی آسیب‌پذیری زیست‌اقليمی شهر کرمانشاه در مواجهه با مخاطره اقليمي موج گرم

حسین یاوری^۱، مصطفی کریمپور^{۲*}، داریوش یاراحمدی^۳

^۱ دانشجوی دکتری اقليم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

^۲ استادیار اقليم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

^۳ دانشیار اقليم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

رخدادهای حدی اقليمي امروزه به‌مثابه یکی از تظاهرات اصلی تغییر اقليم، به مخاطرات مهم اقليمي تبدیل شده‌اند. هدف اساسی پژوهش پیش رو، تحلیل فضایی آسیب‌پذیری شهر کرمانشاه در زمان رخداد امواج گرم است. در این راستا، امواج گرم از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰ استخراج شد و از میان آن‌ها موج گرم ۷ تا ۱۳ جولای ۲۰۱۵ انتخاب شد. دمای سطح زمین شهر کرمانشاه با اعمال الگوریتم تک‌کانال روی باندهای گرمایی سنجنده حرارتی لندست ۸ برای روز ۹ جولای ۲۰۱۵، استخراج و با استفاده از داده‌های دیدبانی شده ساعت ۰۹ ایستگاه هواشناسی کرمانشاه، برای همان روز به دمای هوا تبدیل شد. با استفاده از تحلیل آمار فضایی لگه‌های داغ، نواحی بحرانی شهر کرمانشاه حین رخداد موج گرم شناسایی شد و میزان جمعیت در معرض خطر از بلوک‌های جمعیتی سرشماری ۱۳۹۵ با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع به‌دست آمد. نتایج نشان داد که شش منطقه از شهر کرمانشاه با مساحتی برابر ۳۰۷۲ هکتار یک هسته گرمایی بحرانی را تشکیل داده‌اند. میانگین دمای روزانه این هسته داغ طی شش روز موج گرم کمتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد نبوده در حالی که میانگین دمای بیشینه این بخش از شهر برابر ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. تحلیل ماتریس متقاطع بیانگر آن بود که براساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵، ۵۲٪ از جمعیت کل شهر کرمانشاه، یعنی ۴۹۲۲۸۵ نفر در محدوده هسته بحرانی قرار گرفته و تراکم جمعیتی در این هسته داغ برابر ۱۶۰ نفر در هکتار بود که دو برابر تراکم متوسط شهر کرمانشاه است. ۴۴٪ از جمعیت دو طبقه جمعیتی که آسیب‌پذیری بالایی در برابر امواج گرم، تنش‌های گرمایی و گرم‌زدگی دارند، یعنی خردسالان (رده سنی زیر ۱۰ سال) و کهن‌سالان (رده سنی بالای ۶۰ سال) (۹۹۸۹۳ نفر) در این هسته جمعیتی قرار دارند.

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۳۰ آبان ۱۳۹۷

پذیرش ۲۱ بهمن ۱۳۹۷

دسترسی آنلاین ۶ خرداد ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

رخدادهای حدی، آمار فضایی، پهنه‌های بحرانی، تنش‌های گرمایی، شهر کرمانشاه.

استناد: یاوری، حسین؛ کریمپور، مصطفی؛ یاراحمدی، داریوش (۱۳۹۸). تحلیل فضایی آسیب‌پذیری زیست‌اقليمی شهر کرمانشاه در مواجهه با مخاطره اقليمي موج گرم. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۷ (۱)، ۳۷-۵۰.

doi: [10.22126/GES.2019.1062](https://doi.org/10.22126/GES.2019.1062)

مقدمه

امروزه گرمایش جهانی به مثابه جدی‌ترین و مهم‌ترین چالش زیست‌محیطی که جوامع بشری با آن روبه‌رو هستند، تأثیرات گسترده‌ای بر جنبه‌های مختلف زندگی بشری اعمال کرده است. مناطق شهرنشین کمتر از ۱/۰٪ از سطح زمین را اشغال می‌کنند (لی و جانگ^۱، ۲۰۱۱)، اما بیشتر جمعیت جهان (۶/۶ میلیارد نفر) در حال حاضر در مناطق شهری، زندگی می‌کنند (میلر و ساما^۲، ۲۰۱۳). توسعه کالبدی فضاهای شهری سبب تغییر چشم‌اندازهای طبیعی به کاربری‌های انسان‌ساخت و تغییر سطوح با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت می‌شود.

تغییر و تبدیل در پوشش‌های سطحی زمین، تأثیر مهمی بر شرایط جوی و آب‌وهوای محلی دارد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). در دهه‌های اخیر کاربری و پوشش سطح زمین در کلان‌شهرها نسبت به پیرامون بسیار متفاوت است. تمرکز و تراکم جمعیت زیادی در فضاهای شهری، به‌صورت بالقوه، باعث افزایش آسیب‌پذیری شهرها و خسارت‌زایی هرچه بیشتر مخاطرات محیطی به‌ویژه مخاطرات اقلیمی می‌شود. افزایش جمعیت، رشد سریع صنعتی‌شدن، افزایش آلودگی هوا در ترازهای پایین جو و آثار جزیره گرمایی، سبب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در وضع هوا و اقلیم محلی شهرهای بزرگ شده است. افزایش فراوانی و شدت مخاطرات اقلیمی و نیز ایجاد مخاطرات اقلیمی نوظهور یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تغییر اقلیم است.

فروانی رخدادهای حدی مانند امواج گرم، از سال ۲۰۰۵ به‌بعد در لیست مخاطرات اقلیمی حاد سازمان بهداشت جهانی قرار گرفته است (برکو^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). در دهه اول قرن ۲۱ بیش از ۱۳۶ هزار نفر بر اثر امواج گرم جان خود را از دست داده و این رقم در مقایسه با دهه قبل از آن (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰) که مرگ گزارش شده است، افزایش ۲۳۰۰ درصدی نشان می‌دهد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۴، ۲۰۱۴). از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ متوسط افزایش مرگ و میر متأثر از امواج گرما ۰/۸٪ افزایش یافته است. در حالی که افزایش مرگ به‌دلیل دیگر مخاطرات اقلیمی مثل سیل، طوفان، خشک‌سالی و موج سرما، ۰/۲٪ بوده است (برکو و همکاران، ۲۰۱۴). در ایالات متحده، متوسط مرگ و میر سالانه که به‌طور مستقیم با امواج گرما در ارتباط است، به ۴۰۰ نفر می‌رسد و بیش از ۶۰۰۰ نفر نیز بستری می‌شوند (مرکز کنترل بیماری‌های ایالات متحده^۵، ۲۰۱۶). اثرات امواج گرما در قاره اروپا خیلی بیشتر از دیگر قاره‌ها است؛ برای نمونه در سال ۲۰۰۳ بیش از ۸۰۰۰۰ نفر در اروپا بر اثر این مخاطرات از دنیا رفتند (هرتل^۶ و همکاران، ۲۰۰۹). مرگ بر اثر امواج گرما در روسیه در سال ۲۰۱۰، بیش از ۵۴۰۰۰ نفر برآورد شده است (شاپوشنیکو^۷ و همکاران، ۲۰۱۴).

شهر کرمانشاه به‌تنهایی ۴۸٪ از کل جمعیت استان کرمانشاه را به خود اختصاص داده است. این تراکم جمعیت بالا به‌ویژه در بخش‌های مرکزی شهر، به‌صورت بالقوه می‌تواند آسیب‌پذیری شهر را در برابر بسیاری از مخاطرات طبیعی به‌خصوص مخاطرات اقلیمی بالا ببرد. آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ بیانگر آن بود که ۲۴٪ از جمعیت ساکن شهر کرمانشاه را سالمندان بالای ۶۰ سال و خردسالان زیر ۹ سال تشکیل داده‌اند که این رده‌های سنی در برابر مخاطرات ناشی از امواج گرم و گرم‌زدگی آسیب‌پذیری بالایی دارند.

مرگ و میرهای مرتبط با رخداد حدی موج گرم یکی از موضوعات مورد توجه پژوهشگران بوده است به‌طوری

1- Lee & Jong

2- Miller & Sama

3- Berko

4- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

5- Centers for Disease Control (CDC)

6- Hertel

7- Shaposhnikov

که آسترا و باندلا^۱ (۲۰۱۷)، اقدام به بررسی مرگ و میرهای مرتبط با رخدادهای حدی گرم در شهرهای بیابانی اسنوران^۲ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۵۰ کردند و مشاهده نمودند 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.

در کنار مرگ و میرهای مرتبط با امواج گرم، تعداد مراجعین به بیمارستان‌ها در رخدادهای گرم تابستانه، نیز یکی از شاخص‌های خسارت‌زایی موج گرم است که مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته است به طوری که مادرگان^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، تعداد بیماران مرتبط با گرم‌زدگی کلان‌شهر نیویورک و حالت‌های بحرانی موج گرم طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۱ بررسی کردند. در این پژوهش به وضوح دیده می‌شود که در روزهایی که موج گرم و ابرگرم حاکم بوده است، تعداد مراجعان مرتبط با گرم‌زدگی ثبت‌شده بیمارستان مرکزی نیویورک، حدود ۱۵٪ تا ۱۹٪ بالاتر از روزهای عادی بوده است. این پژوهش نشان داد که در شهر نیویورک، میزان مرگ و میر سیاه‌پوستان در رخدادهای حدی گرم از سایر نژادها بالاتر بوده است. ویژگی‌های جمعیتی خود شهر نیز از جمله میزان تراکم مسکونی و جمعیتی می‌تواند تأثیر امواج گرم را تشدید کرده یا تأثیر آن را تعدیل کند برای نمونه لمنسو^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی رخدادهای حدی موج گرم در کلان‌شهر پاریس را بررسی کردند. ایشان دمای هوای مناطق مختلف شهر را با اندازه‌گیری‌های میدانی طی رخدادهای موج گرم بررسی کرده، تأثیرات دمایی توسعه کالبدی شهر پاریس را بر تغییرات دمایی شهر بررسی کردند و نشان دادند که در مناطق با تمرکز بالای جمعیتی، میزان خسارات و هزینه‌های تحمیل‌شده موج گرم نسبت به مناطق کم‌تراکم به صورت تصاعدی بالا می‌رود. نتیجه این پژوهش بیانگر آن بود که تراکم مسکونی و جمعیتی، مهم‌ترین نقطه‌ضعف آسیب‌پذیری شهر در برابر موج گرم است.

از آنجا که موج گرم حاصل شرایط سینوپتیکی خاصی است، آشکارسازی الگوهای هم‌دید می‌تواند امواج گرم، یکی دیگر از رویکردهایی است که در زمینه تحلیل موج گرم بررسی شده است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰؛ قویدل رحیمی و رضایی، ۱۳۹۴؛ مجرد و همکاران، ۱۳۹۴)، در همین راستا تحلیل آماری سری زمانی موج گرم (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴)، یا آشکارسازی امواج گرم (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲) نیز مورد بررسی پژوهشگران بوده است. رخداد موج گرم اگرچه به صورت اولیه حاصل شرایط جوئی و اتمسفری است، اما ویژگی‌های کاربری اراضی و تغییرات آن و نیز توزیع و سرانه فضای سبز شهری می‌تواند تأثیر چشمگیری در تشدید و یا کاهش تنش‌های حرارتی ناشی از موج گرم داشته باشد. طاوسی (۱۳۹۷) نشان داد که در شهر اصفهان، فضای سبز چه در سایه و چه در آفتاب، خنک‌تر از خیابان‌های پیرامونی است. تفاوت دمایی فضای سبز و محیط شهری در روزهای گرم‌تر حتی به ۷/۶ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. چنین نتیجه‌ای در پژوهش پیرنظر و همکاران (۱۳۹۷) نیز مشاهده شد با این تفاوت که این نوشتار، نشان داد که نقش خنک‌کنندگی فضای سبز در سطح شهر، پس از پهنه‌های آبی بوده است. جزایر حرارتی شهری یکی دیگر از عواملی است که می‌تواند تأثیر امواج گرمایی را به‌ویژه در شب، تشدید کند، پژوهش کریمی فیروزجایی و کیاورز (۱۳۹۶) نقش پهنه‌های ساخت شهری را در تشکیل و تشدید جزایر حرارتی نشان داد، به گونه‌ای که در تفاوت دمایی محیط‌های شهری با محیط‌های غیر شهری، ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد بوده است.

1- Astera & Bandella

2- Snoran

3- Madrigano

4- Lemonsu

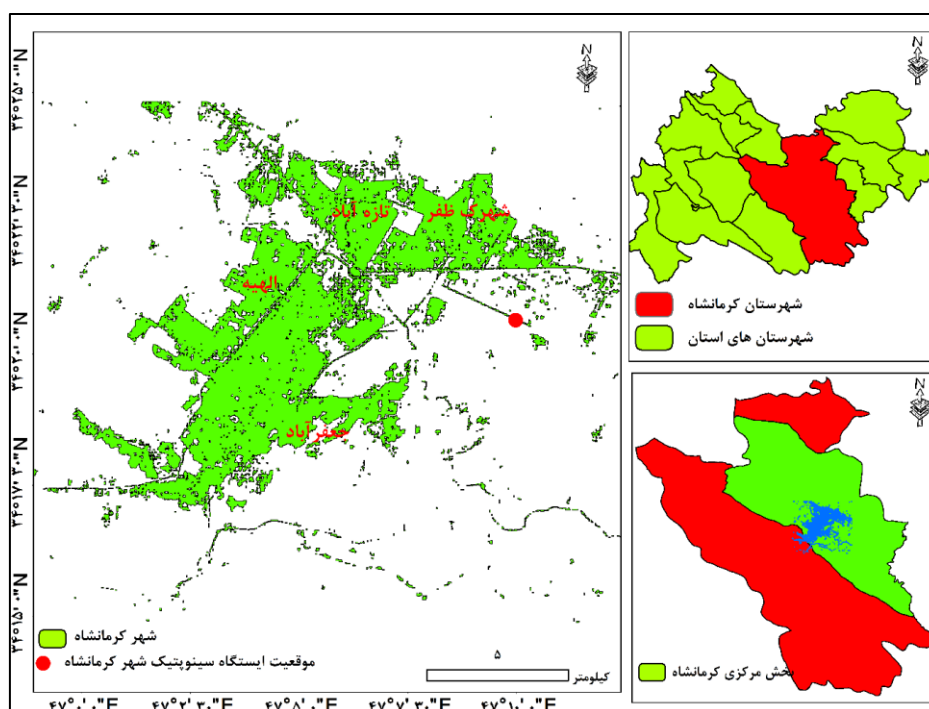
با وجود اهمیت روزافزون گرمایش جهانی و فراوانی رخداد امواج گرم به ویژه در فصل گرم و افزایش خسارات مالی و جانی آن، مطالعه جامعی در مورد میزان آسیب‌پذیری بالقوه نواحی شهری در مقابل رخداد موج گرم به‌مثابه یکی از فرایندهای حدی اقلیم، صورت نگرفته است. هدف اساسی پژوهش حاضر بررسی میزان آسیب‌پذیری شهر کرمانشاه،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

معرفی منطقه مورد بررسی

در نوشتار حاضر شهر کرمانشاه (براساس محدوده شهرداری سال ۱۳۹۵) مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). این شهر با جمعیت ۹۴۶۶۵۱ نفر در سال ۱۳۹۵، بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه و پس از تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، کرج، شیراز، اهواز و قم، نهمین شهر پرجمعیت ایران است. این شهر با مساحت ۹۵/۵ کیلومتر مربع، به‌تنهایی ۴۸٪ از کل جمعیت استان کرمانشاه را به خود اختصاص داده است. ارتفاع متوسط آن ۱۴۰۰ متر از سطح دریا بوده و تراکم جمعیت متوسط در این شهر، ۹۹۱۲ نفر در کیلومتر مربع است.

مواد و روش‌ها

از آنجا که هدف اساسی نوشتار پیش رو بررسی میزان شدت رخداد حدی موج گرم در شهر کرمانشاه و جمعیت در معرض ریسک تنش گرمایی موج گرم است، لذا داده‌های مورد استفاده و روش کار پژوهش در راستای دستیابی به این هدف ارائه می‌شود. در پژوهش حاضر از دو دسته داده استفاده شده است (جدول ۱). دسته اول، داده‌های مربوط به دمای ثبت‌شده مشاهدات هشت‌گانه شبانه‌روزی ایستگاه هواشناسی شهر کرمانشاه است که از طریق آن‌ها امواج گرم شناسایی شد. دسته دوم، داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ است که از باندهای گرمایی آن، یعنی باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده مادون قرمز گرمایی^۱ برای محاسبه دمای سطح زمین و سپس دمای هوای ارتفاع دومتری محیط شهر استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت شهر کرمانشاه در سطح شهرستان و استان کرمانشاه

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش

نوع داده	منبع	دوره آماری	دقت زمانی - مکانی
داده‌های ایستگاهی	ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه	۲۰۱۵-۲۰۰۰	روزانه
داده‌های سنجش‌از‌دور	باندهای حرارتی سنجنده لندست ۸	۹ جولای ۲۰۱۵	۱۰۰ متر ریسپل شده به ۳۰ متر

در پژوهش پیش رو برای شناسایی رخدادهای حدی گرم، پس از محاسبه مقدار متوسط بیشینه دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه، برای محاسبه و تفکیک روزهای همراه با دماهای فرین از روش فومیاکی^۱ و همکاران (۲۰۰۷) که از آن با نام شاخص یا آستانه «انحراف نرمال شده دما» یا شاخص فومیاکی نیز یاد می‌شود، استفاده شد. برای اینکه شاخص‌های این روش برای تمام سال مورد استفاده باشد، شاخص‌ها بر مبنای انحراف از میانگین بلندمدت روزانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ ایستگاه استوار شده است. شاخص انحراف نرمال شده دما بر اساس پژوهش فومیاکی و همکاران (۲۰۰۷)، به شرح رابطه ۱ مدل‌بندی می‌شود:

$$NTD_{ijn} = \Delta T_{max_{ijn}} / \bar{\sigma} \quad \text{رابطه ۱ (شاخص فومیاکی)}$$

که در آن NTD : انحراف نرمال شده دما؛ N : مجموع تعداد روزهای سال؛ T_{max} : انحراف از میانگین بیشینه دمای روزانه ایستگاه؛ i : در روز؛ j : از سال؛ n و σ : نیز انحراف معیار میانگین بلندمدت ایستگاه i در روز j است که به صورت رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$\Delta T_{max_{ijn}} = \Delta T_{max_{ijn}} - \overline{T_{max_{ij}}} \quad \text{رابطه ۲ (شاخص انحراف نرمال شده)}$$

با توجه به شدت و ضعف مقادیر شاخص یادشده در روزهای مختلف، مقادیر ۱ تا ۲ به‌مثابه روزهای گرم، مقادیر ۲ تا ۳ روزهای بسیار گرم و مقادیر بالاتر از ۳، به‌منزله روزهای آبرگرم طبقه‌بندی شده است (جدول ۲). از آنجا که تنها ایستگاه موجود در سطح شهر، ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمانشاه است که در حاشیه شمال شرقی شهر واقع است، لذا با تکیه بر آن با دقت بالایی نمی‌توان میزان خسارت‌زایی بیوکلیمایی مخاطره امواج گرم را در مناطق مختلف شهر کرمانشاه بررسی کرد؛ به همین دلیل، برای محاسبه دمای هوا در محیط شهر کرمانشاه، از داده‌های مربوط به باندهای گرمایی تصاویر سنجنده گرمایی لندست ۸ (باند ۱۰ و ۱۱) طی موج گرم مورد مطالعه، استفاده شد. نخست دمای سطح زمین با استفاده از محاسبه دمای درخشندگی به‌دست آمد و در مرحله بعد، دمای سطح زمین با استفاده از توسعه یک تابع رگرسیونی تبدیل به دمای هوای ارتفاع دومتری شد. از الگوریتم تک‌کانال برای استخراج دمای سطح زمین از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده گرمایی لندست ۸ استفاده شد (شکل ۲). مقادیر پارامترهای مورد نیاز در این الگوریتم در فایل فراداده تصاویر اخذشده لندست در دسترس است. در این روش که مبتنی بر شاخص پوشش گیاهی است، ابتدا مقدار عددی دی.ان. پیکسل‌های باندهای یادشده بر اساس رابطه ۳ به رادیانس طیفی تبدیل می‌شود.

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL \quad \text{رابطه ۳ (استخراج رادیانس طیفی باندها)}$$

که در آن AL : میزان رادیانس طیفی؛ ML : ضریب رادیانس هر باند؛ AL : مقدار ثابت هر باند؛ Q_{cal} : نیز مقادیر DN پیکسل باندهای گرمایی TIRS است.

جدول ۲. طبقات شاخص انحراف نرمال شده جهت آشکارسازی رخدادهای گرم

طبقه	مقدار شاخص انحراف نرمال شده
گرم	۱-۲
بسیار گرم	۲-۳
داغ	بالاتر از ۳

در مرحله دوم تبدیل رادیانس طیفی به دمای درخشندگی به صورت رابطه ۴ انجام می گیرد:

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 275.15 \quad \text{رابطه ۴ (استخراج دمای درخشندگی)}$$

که در آن $L\lambda$: میزان رادیانس طیفی محاسبه شده در بالا، $K1$ و $K2$: مقادیر ثابت برای هر باند و BT : نیز دمای درخشندگی محاسبه شده بر حسب درجه سانتی گراد است. مرحله سوم، استخراج بازتابش سطحی^۱ است که پیش نیاز آن محاسبه شاخص پوشش گیاهی و سپس شاخص نسبت پوشش گیاهی به صورت رابطه ۵ تا ۸ است:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \text{رابطه ۵ (شاخص پوشش گیاهی)}$$

که در آن RED و NIR : باندهای قرمز و مادون قرمز برای سنجنده OLI ، که به ترتیب باندهای ۴ و ۵ بوده است. شاخص نسبت پوشش گیاهی نیز بر اساس شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی به صورت رابطه ۶ محاسبه می شود:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad \text{رابطه ۶ (شاخص نسبت پوشش گیاهی)}$$

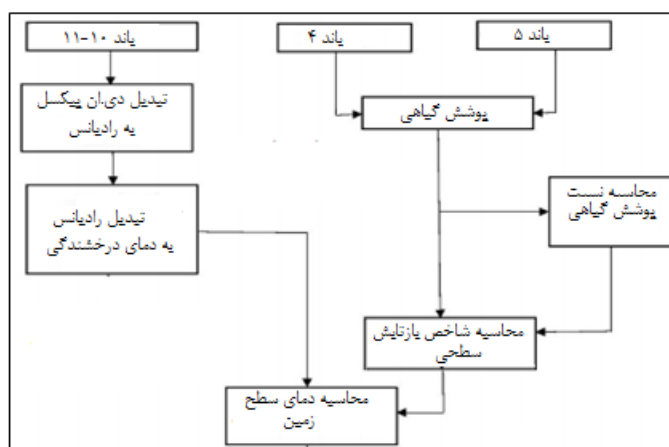
که در آن، مقادیر کمینه و بیشینه پوشش گیاهی منطقه در نظر گرفته شده است؛ و در نهایت شاخص بازتابش سطحی به صورت رابطه ۷ محاسبه می شود:

$$LSE = 0.004 \times PV + 0.986 \quad \text{رابطه ۷ (محاسبه شاخص بازتابش سطحی)}$$

در نهایت دمای سطح زمین بر حسب درجه سانتی گراد عبارت است از:

$$LST = (BT/1) + W \times (BT/14380) \times \ln(LSE) \quad \text{رابطه ۸ (دمای سطح زمین)}$$

برای تبدیل دمای سطح زمین استخراج شده از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده حرارتی لندست ۸ به دمای هوای ارتفاع دومتری، از داده های دمای هوای ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه استفاده شد. داده های دمایی مربوط به مشاهده ساعت ۰۹ یوتی.سی. ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه که برابر ساعت ۱۳:۳۰ محلی است، به دلیل نزدیک بودن به زمان گذار ماهواره لندست ۸ از سطح شهر کرمانشاه (ساعت ۱۱:۳۰ تا ۱۲ به وقت محلی) برای تبدیل دمای استخراج شده سطح زمین به دمای هوا، استفاده شد.



شکل ۲. الگوریتم استخراج دمای سطح زمین از باندهای سنجنده گرمایی لندست ۸

1- Land Surface Emisivity(LSE)

2- UTC

برای شناسایی و آشکارسازی بلوک‌ها یا نواحی بحرانی شهر کرمانشاه حین رخداد امواج گرم، از مدل آمار فضایی تحلیل لگه‌های داغ استفاده شد. این تحلیل که مبتنی بر آماره جی. گتیس آرد^۱ است، برای شناسایی نواحی یا محله‌هایی از شهر کرمانشاه که حین رخداد موج گرم، دمای هوای آن‌ها به صورت معنی‌داری (در سطح اطمینان $0/95$ ($P_value = 0/05$) بالاتر از اطراف بوده است، استفاده شد. نمره Z محاسبه‌شده این آماره نشان می‌دهد که در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چارچوب مفهومی این تحلیل این‌گونه عمل می‌کند که عارضه‌های لگه داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه آن از نظر آماری به صورت معنی‌داری بالاتر از اطراف باشند. برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری جمعیت در معرض خطر دماهای بحرانی حین موج گرم در شهر کرمانشاه، از داده‌های مربوط به بلوک‌های جمعیتی شهر کرمانشاه برای سرشماری‌های ۱۳۹۵ استفاده شد. با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع ارتباط بین نواحی بحرانی آشکارشده، دمای حین موج گرم در سطح شهر و میزان جمعیت در معرض خطر دماهای بحرانی در مناطق مختلف شهر کرمانشاه شناسایی شد.

نتایج

برای ارزیابی خطر بالقوه گرم‌زدگی و جمعیت در معرض خطر گرم‌زدگی، موج گرم ۷ تا ۱۲ جولای سال ۲۰۱۵ (۱۶ تا ۲۱ تیر ۱۳۹۴) به مثابه مطالعه موردی انتخاب شد. این موج گرم از روز ۱۶ تیر ۱۳۹۴ شروع شد. میانگین دمای بیشینه شهر در طی این دوره شش روزه حاکمیت موج گرم در دیدبانی ساعت ۰۹ یوتی.سی. ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه که برابر ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی بوده، برابر ۳۹ درجه سانتی‌گراد بوده و میانگین دمای بیشینه نیز طی این دوره، برابر ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۳).

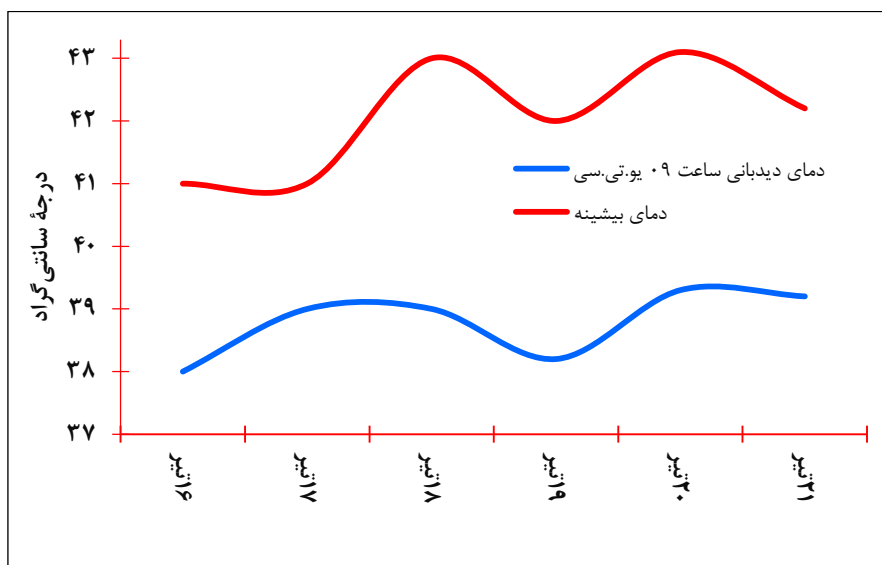
گرم‌ترین روز این موج گرم از لحاظ دمای دیدبانی شده ساعت ۰۹ ایستگاه (ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی)، روز پنجم این موج بوده است که دمای آن به ۳۹/۳ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه به ۴۳/۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۳). به طور کلی طی این موج گرم، میانگین دمای ساعت ۰۹ شهر (ایستگاه کرمانشاه) برابر ۳۹ درجه و میانگین دمای بیشینه نیز برابر ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۴).

از آنجا که دمای ارائه‌شده موج گرم مربوط به ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمانشاه بوده است و اطلاعاتی از بخش‌های داخلی شهر کرمانشاه به دست نمی‌دهد، لذا برای به دست آوردن دمای مناطق مختلف شهر کرمانشاه طی دوره شش روزه موج گرم، به تصویربرداری ماهواره‌ای سنجنده گرمایی لندست ۸ برای روز ۹ جولای ۲۰۱۵ (۱۸ تیر ۱۳۹۴ روز سوم موج گرم) برای محدوده شهر کرمانشاه اقدام شد و دمای سطح زمین محدوده شهر کرمانشاه از آن استخراج شد.

جدول ۳. دمای دیدبانی شده ساعت ۰۹ یوتی.سی. (ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی) و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه در

روزهای موج گرم

روزهای مورد بررسی	دمای دیدبانی ساعت ۰۹ یوتی.سی	دمای بیشینه
۱۶ تیر ۱۳۹۴ (۷ جولای ۲۰۱۵)	۳۸	۴۱
۱۷ تیر ۱۳۹۴ (۸ جولای ۲۰۱۵)	۳۹	۴۱
۱۸ تیر ۱۳۹۴ (۹ جولای ۲۰۱۵)	۳۹	۴۲
۱۹ تیر ۱۳۹۴ (۱۰ جولای ۲۰۱۵)	۳۸/۴	۴۳
۲۰ تیر ۱۳۹۴ (۱۱ جولای ۲۰۱۵)	۳۹/۳	۴۳/۱
۲۱ تیر ۱۳۹۴ (۱۲ جولای ۲۰۱۵)	۳۹/۲	۴۲/۵
میانگین	۳۹	۴۲/۲



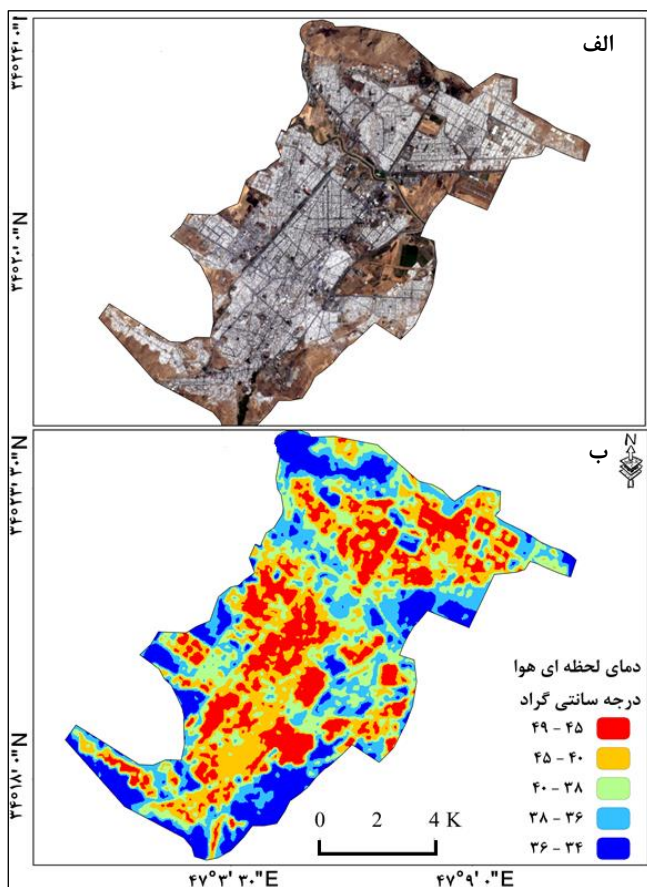
شکل ۳. میانگین دمای روزانه و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه طی روزهای موج گرم

دمای سطح زمین استخراج شده برای آن روز (ساعت ۱۲ به وقت محلی) با استفاده از مدل رگرسیونی خطی برازش داده شده بین دمای هوای موقعیت ایستگاه با دمای سطح زمین پیکسل پوشش دهنده موقعیت آن طی ۲۴ روز از ماه تیر و مرداد دوره آماری ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸، تبدیل به دمای هوای ارتفاع دومتری شد. میزان ضریب تعیین تابع برآوردگر که مبتنی بر دمای اندازه گیری شده ۲۴ روز مختلف دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۱۸ بود، برابر ۰/۸۹ بوده است (جدول ۴).

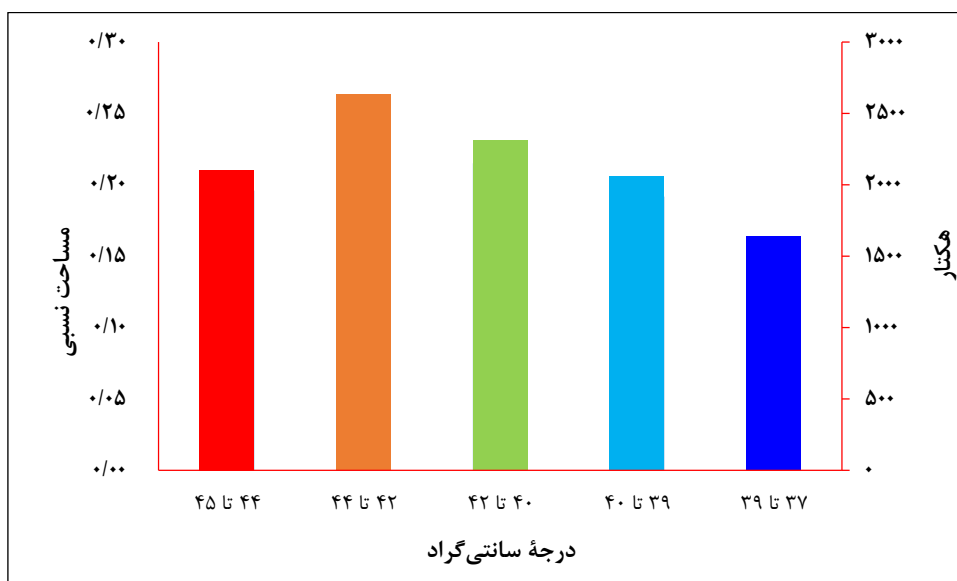
توزیع فضایی دمای هوا که با استفاده از مدل رگرسیون خطی ارائه شده (جدول ۴)، از باندهای حرارتی لندست ۸ برای شهر کرمانشاه در ساعت ۱۲ به وقت محلی روز ۱۸ تیر ۱۳۹۴ تولید شد (شکل ۴ ب). براساس نقشه توزیع فضایی دمای هوای ساعت ۱۲ کرمانشاه در روز ۱۸ تیر ۱۳۹۴، در نواحی مختلف شهر از ۳۷ تا ۴۵ درجه سانتی گراد متفاوت است. بخش های حاشیه ای شهر کرمانشاه که غالباً کاربری آن فضاهای باز شهری نظیر پارک ها یا محدوده های غیر مسکونی و فضاهای باز کم تراکم است (با توجه به شکل ۴ الف)، در دامنه دمایی ۳۷ تا ۴۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته اند. در حالی که بخش های مرکزی شهر کرمانشاه که تراکم مسکونی بالایی دارند، دارای دماهای بالای ۴۰ درجه سانتی گراد و در بخش هایی از مناطق مرکزی به ۴۴ تا ۴۵ درجه سانتی گراد می رسد (شکل ۴ ب). بخش های حاشیه ای شهر کرمانشاه که تراکم مسکونی و شهری کمی دارند و حجم بافت های شهری در آن ها کمتر از بخش های مرکزی است، دارای میانگین دمایی ۳۷ تا ۴۰ درجه سانتی گراد هستند، این بخش ها مساحتی در حدود ۳۶۸۱ هکتار که برابر ۰/۳۵ از مساحت کل شهر کرمانشاه است را به خود اختصاص داده اند. طبقه با میانگین دمایی ۴۰ تا ۴۲ درجه سانتی گراد، همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، در بخش های نیمه تراکم مرکزی شهر مشاهده می شود، این طبقه نیز مساحتی در حدود ۲۳۰۸ هکتار که برابر ۰/۲۱ از مساحت کل شهر کرمانشاه است را به خود اختصاص داده است (شکل ۵).

جدول ۴. تابع برآوردگر دمای هوای شهر کرمانشاه براساس دمای سطح زمین

مقدار خطا (درجه سانتی گراد)	ضریب تبیین	خطای استاندارد	مدل اجرا شده
۰/۹۱	۰/۸۹۷	خطی تک متغیره	مدل اجرا شده
		۱/۲	عرض از مبدأ
		۰/۸۸	ضریب دمای سطح زمین



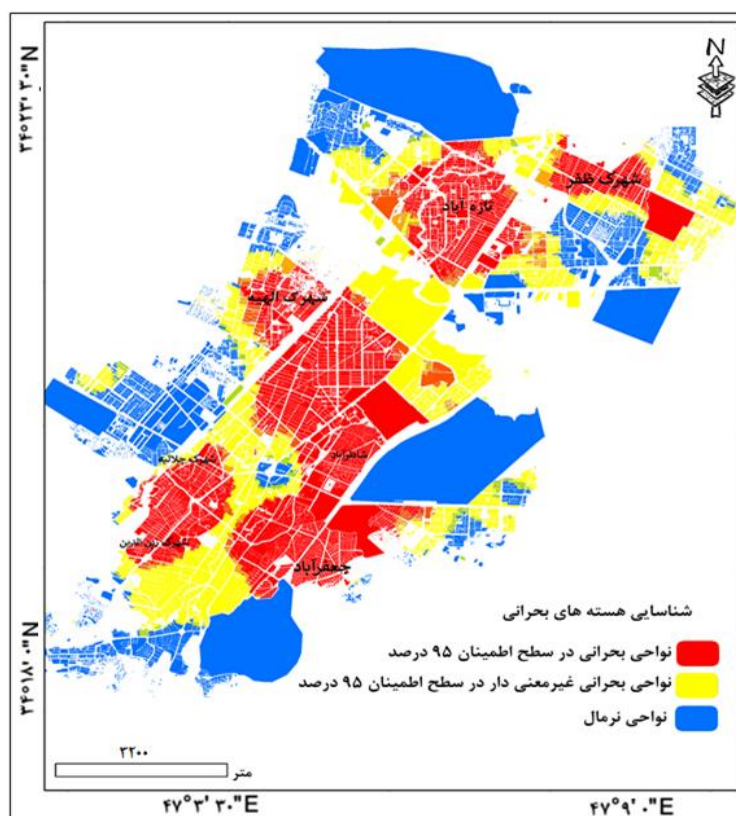
شکل ۴. الف: ترکیب مرئی شهر کرمانشاه برای روز ۱۸ تیر ۱۳۹۴؛ ب: توزیع دمای لحظه‌ای هوای شهر کرمانشاه ساعت ۱۲ روز ۱۸ تیر ۱۳۹۴
 طبقه دمایی ۴۲ تا ۴۴ درجه سانتی‌گراد نیز در بخش‌های مرکزی شهر مشاهده می‌شود، این طبقه ۲۴٪ از مساحت شهر کرمانشاه را که برابر ۲۶۳۱ هکتار است را به خود اختصاص داده است. طبقه با بیشترین دمای لحظه‌ای در ساعت ۱۳ شهر کرمانشاه که دمای آن بین ۴۴ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد در نوسان است، حدود ۲۱۰۱ هکتار از مساحت شهر کرمانشاه که برابر ۰/۱۹ از مساحت کل شهر است را دربر گرفته است (شکل ۵).



شکل ۵. مساحت طبقات دمایی شهر کرمانشاه که براساس دمای لحظه‌ای روز ۱۸ تیر (۹ جولای ۲۰۱۵) طبقه‌بندی شده است

نتایج حاصل از تحلیل آماره لگه‌های داغ جی. بیانگر آن بود که بخش وسیعی از مساحت شهر کرمانشاه دمای لحظه‌ای دارد که به صورت معنی‌داری از سایر نواحی اطراف خود بالاتر است (شکل ۶). دمای این بخش‌ها که بین ۴۲ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد است، به طور معنی‌داری از نواحی اطراف بیشتر بوده است و در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = ۰/۰۵$) تشکیل یک هسته داغ معنی‌دار را داده است. مساحت این طبقه بحرانی برابر ۳۰۷۲ هکتار بوده است که ۰/۳۲ از کل مساحت شهر کرمانشاه بوده است. میانگین دمای روزانه این هسته داغ طی شش روز موج گرم سال ۱۳۹۴ کمتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد نبوده در حالی که میانگین دمای بیشینه این بخش از شهر برابر ۴۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. مناطق شهری تازه‌آباد و شهرک ظفر در شمال شرق و شهرک الهیه و بخش‌های مرکزی شهر و مناطق شاطرآباد و جعفرآباد در بخش‌های جنوبی و جنوب غرب شهر کرمانشاه و نیز در بخش‌های جنوب غرب، شهرک‌های زین‌الدین و جلالیه در این هسته داغ قرار گرفته‌اند (شکل ۶). برای محاسبه میزان جمعیت در معرض خطر گرمزدگی از لایه مربوط به جمعیت شهر کرمانشاه براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ استفاده شد. براساس این سرشماری، جمعیت شهر کرمانشاه برابر ۹۴۶۶۵۱ نفر بوده است که از این تعداد ۱۳۶۰۹۰ نفر را جمعیت خردسال زیر ۱۰ سال که برابر ۱۴٪ کل جمعیت شهر است، تشکیل می‌دهد و جمعیت سالمندان بالای ۶۰ سال نیز ۹۰۹۴۰ بوده که ۱۰٪ از کل جمعیت را به خود اختصاص می‌دهد.

نتایج حاصل از تحلیل تقاطعی بین توزیع هسته‌های داغ گرمایی شهر کرمانشاه طی موج گرم شش روزه ۷ تا ۱۳ جولای ۲۰۱۵ و جمعیت در معرض مخاطره گرمزدگی، بیانگر آن است که ۵۲٪ از جمعیت کل شهر کرمانشاه، یعنی ۴۹۲۲۸۵ نفر در بخش‌هایی از شهر قرار گرفته‌اند که طی موج گرم مورد بررسی دمای آن‌ها براساس شاخص لگه‌های داغ، در محدوده بحرانی معنی‌دار بوده است (جدول ۵).



شکل ۶. آشکارسازی نواحی بحرانی گرمایی شهر کرمانشاه طی رخ داده شش روزه موج گرم ۷ تا ۱۲ جولای ۲۰۱۵ با استفاده از آماره جی. گتیس آرد در سطح اطمینان ۹۵٪.

جدول ۵. ماتریس تحلیل تقاطعی از تباط بین هسته‌های دمایی بحرانی آشکار شده طی موج گرم و جمعیت در معرض خطر گرم‌زدگی

کل جمعیت	تراکم	خردسالان زیر ۱۰ سال	سال‌مندان بالای ۶۰ سال
۹۴۶۵۱	۹۸ نفر در هکتار	۱۳۶۰۹۰	۹۰۹۴۰
۴۹۲۲۸۵	۱۶۰ نفر در هکتار	۵۴۴۳۶	۳۵۳۷۶

تراکم جمعیتی کل شهر کرمانشاه برابر ۹۸ نفر در هکتار بوده در حالی که تراکم جمعیتی در این هسته داغ، برابر ۱۶۰ نفر در هکتار بوده است (جدول ۵). دو طبقه جمعیتی که آسیب‌پذیری بالایی در برابر امواج گرم و تنش‌های گرمایی دارند، یعنی خردسالان (کودکان در رده سنی زیر ۱۰ سال) و کهن‌سالان (سال‌مندان در رده سنی بالای ۶۰ سال) نیز در ماتریس تحلیل متقاطع بررسی شده است. نتایج بیانگر آن است که ۴۰٪ از جمعیت خردسالان شهر کرمانشاه (۵۴۴۳۶ نفر) در این هسته گرمایی قرار گرفته‌اند که حین رخداد موج گرم مورد بررسی، دمای ساعت ۱۲ محلی در این بخش از شهر بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۵). ۳۸٪ از جمعیت سال‌مندان کل شهر کرمانشاه (۳۳۳۷۶ نفر) نیز در این بلوک جمعیتی که دمای بیشینه آن حین رخداد موج گرم ۴۴ درجه سانتی‌گراد بوده، قرار گرفته است.

بحث

در پژوهش پیش رو توزیع فضایی ریسک تنش‌های حرارتی ناشی از رخداد حدی موج گرم در سطح شهر کرمانشاه بررسی شد. در گام اول برای بررسی توزیع فضایی دمای هوا حین رخداد موج گرم در سطح شهر، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده گرمایی لندست ۸ استفاده شد. دقت فضایی بالای تصاویر سنجنده حرارتی این ماهواره باعث شده است که برای بازیابی و بررسی ساختار فضایی دمای سطح زمین و به تبع آن دمای هوا، بارها مورد استفاده قرار گیرد (دان^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ چاترج^۲ و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی پیشینه پژوهش نشان‌دهنده آن است که تاکنون در پژوهش‌های داخل کشور گرم‌زدگی‌ها و تنش‌های حرارتی مرتبط با امواج گرم در محیط‌های شهری و جمعیت در معرض مخاطره گرم‌زدگی‌های حاد، بررسی نشده است؛ اما با نگاهی دقیق‌تر به موضوع، دو نکته بسیار مهم آشکار می‌شود: از یک طرف پژوهش‌های متعدد جهانی و داخلی نشان داده‌اند که در راستای رخداد گرمایش جهانی، افزون بر میانگین عمومی دما، تعداد رخدادهای حدی دمایی از قبیل امواج گرم و سرد در سه دهه اخیر روند افزایشی داشته است (حاتمی زرنه و همکاران، ۱۳۹۸؛ مولودی و همکاران، ۱۳۹۵؛ لمنسو و همکاران، ۲۰۱۵؛ استرا و باندلا، ۲۰۱۷)؛ از طرف دیگر، روزه‌روز تعداد و تراکم جمعیتی و مسکونی شهرها روند افزایشی خواهد داشت؛ بنابراین از یک سو با افزایش فراوانی رخداد حدی موج گرم (به‌مثابه یکی از اثرات جانبی تغییر اقلیم که در پژوهش‌های بسیاری در نواحی مختلف جهان اثبات شده است) و از دیگر سو با افزایش جمعیت شهری و افزایش تراکم مسکونی شهر، انتظار می‌رود اثر هم‌افزای این دو عامل اقلیمی و انسانی، تأثیرات مخرب موج گرم نیز در محیط شهری افزایش یابد که پژوهش‌های بسیاری این روند را به‌صورت عینی در نواحی مختلف جهان اثبات کرده‌اند؛ به‌نحوی که پژوهش برکو و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش ۸۰۰ درصدی در میزان مرگ و میرهای ناشی از گرم‌زدگی و امواج گرم در محیط‌های شهری ایالات متحده را طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ اثبات کرده است؛ بنابراین امواج گرم و تنش‌های حرارتی ناشی از گرم‌زدگی در محیط‌های شهری در آستانه تبدیل شدن به یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیم شهری است که آگاهی از شدت موج گرم در نواحی مختلف شهری و در کنار آن آگاهی از میزان جمعیت آسیب‌پذیر در معرض ریسک گرم‌زدگی (دو رده سنی

1- Duan

2- Chatterjee

کهن سالان و کودکان، می‌تواند برای سازمان‌دهی توزیع فضایی امکانات و خدمات اورژانس شهری و مراقبت‌های ویژه مرتبط با گرمزدگی بسیار مفید باشد.

در نوشتار پیش رو ساختار توزیع فضایی دمای هوای سطح شهر کرمانشاه در هنگام رخداد یک نمونه موج گرم تیپیک (موج گرم ۷ تا ۱۲ جولای ۲۰۱۵) بررسی شد. نتایج بیانگر آن بود که در حین رخداد موج گرم یادشده، بخش وسیعی از شهر کرمانشاه شامل مناطق شهری تازه‌آباد و شهرک ظفر در شمال شرق و شهرک الهیه و بخش‌های مرکزی شهر و مناطق شاطرآباد و جعفرآباد در بخش‌های جنوبی و جنوب غرب شهر کرمانشاه و نیز در بخش‌های جنوب غرب شهر شهرک‌های زین‌الدین و جلالیه که حدود ۵۲٪ از جمعیت کل شهر کرمانشاه یعنی ۴۹۲۲۸۵ نفر را دربر گرفته‌اند، در یک هسته داغ بحرانی معنی‌دار دمایی قرار گرفته بودند. یکی از موارد جالب توجه که در پژوهش‌های مختلف مشاهده شده است، بالاتر بودن شدت تنش گرمایی در بافت‌های پتراکم جمعیتی شهرها بوده است؛ برای نمونه لمنسو و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که ساختار توزیع دمای شهری پاریس می‌تواند ارتباط معنی‌دار ضعیفی با توزیع کلی تراکم جمعیت در سطح شهر داشته باشد؛ اما به‌روشنی مشاهده کردند که دمای هوا در نواحی‌ای از شهر که تراکم جمعیت بالاتری دارند، بالاتر بوده است و رابطه‌ای تصاعدی بین تراکم جمعیت شهری و تعداد بیماران مرتبط با آسیب‌های ناشی از تنش‌های گرمایی و گرمزدگی نیز پیدا کردند؛ اما در نوشتار حاضر رابطه بین شدت تنش گرمایی و تراکم جمعیت شهری در شهر کرمانشاه به‌طور مستقیم بررسی نشده است با این حال مشاهده شد که تراکم جمعیت در هسته داغ بحرانی در شهر کرمانشاه برابر ۱۶۰ نفر در هکتار (تقریباً دوبرابر تراکم جمعیتی متوسط کل شهر کرمانشاه) بوده است.

می‌توان این ارتباط بین بالا بودن میانگین دمای هوا (به‌طور کلی و یا در حین رخداد موج گرم) در نواحی با تراکم بالای جمعیت را با توزیع ساختار و بافت شهری تبیین کرد، هر تل و همکاران (۲۰۰۹) و آسترا و باندلا (۲۰۱۷)، این رابطه را در پژوهش خود این‌گونه توجیه کرده‌اند: تمرکز جمعیت، افزایش تراکم مسکونی در نواحی مرکزی شهر، ترافیک شهری و جمعیت بالا، تمرکز فعالیت‌های گرمازا در بخش‌های مرکزی شهر را به‌همراه خواهد داشت. این موارد در کنار ضعف در تهویه هوای این بخش از شهر نسبت به حواشی شهر (به‌دلیل تمرکز بالای مسکونی) باعث می‌شود که به‌طور کلی یا حین رخداد موج گرم، تأثیرات گرمایشی آن در بخش‌هایی از شهر حادثتر از سایر نواحی باشد؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر به‌طور غیر مستقیم نشان می‌دهد، در طراحی و توسعه چیدمان شهری شهر کرمانشاه، توجه لازم به پس‌خورهای اقلیم شهری نشده است و با توجه به روند رو به افزایش رخدادهای موج گرم ناشی از گرمایش جهانی (مستند علمی اثبات‌شده) انتظار می‌رود که در آینده بسیار نزدیک مشکلات مربوط به تأثیرات منفی موج گرم در سطح شهر به‌شدت تشدید شده و در بخش‌های اورژانس بیمارستان‌های شهر، به‌وضوح شاهد مراجعان مرتبط با گرمزدگی و تنش‌های گرمایی باشیم.

نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو مشخص شد که در حین رخداد موج گرم، بخش قابل توجهی از مساحت شهر کرمانشاه در معرض ریسک دماهای بحرانی بالای ۴۰ درجه قرار می‌گیرد که در آن ۵۲٪ از جمعیت کل شهر قرار گرفته است. در رده‌های سنی آسیب‌پذیر در برابر گرمزدگی نیز مشخص شد که ۴۰٪ از جمعیت خردسالان (۵۴۴۳۶ نفر) و ۳۸٪ از جمعیت سالمندان کل شهر کرمانشاه (۳۳۳۷۶ نفر) در این هسته گرمایی قرار گرفته‌اند. قرارگیری این جمعیت قابل توجه به‌ویژه در رده‌های سنی کهن سالان و خردسالان در هسته‌های دمایی که ریسک دماهای بحرانی در آن به‌طور معنی‌داری بالا است، باعث شده است که شهر کرمانشاه به شهری آسیب‌پذیر در برابر امواج گرمایی تبدیل شود.

منابع

- اسماعيل نژاد، مرتضی؛ خسروی محمود؛ عليجانی بهلول؛ مسعودیان سيد ابوالفضل (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران. *جغرافيا و توسعه*، ۱۱ (۳۳)، ۳۹-۵۴.
- پیرنظر، مجتبی؛ روستایی، شهرام؛ فیضی‌زاده، بختیار؛ نافچی رئیسی، فاطمه (۱۳۹۷). بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ (مطالعه موردی: شهر تهران). *آمایش جغرافیایی فضا*، ۱ (۲۹)، ۲۲۷-۲۴۰.
- حاتمی زرنه، داریوش؛ حجازی‌زاده زهرا؛ ناصرزاده، محمد حسین (۱۳۹۸). تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران و ارتباط آن‌ها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۲)، ۳۵-۵۶.
- شمسی پور، علی‌اکبر؛ عزیزی، قاسم؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ مقبل، معصومه (۱۳۹۳). مطالعه الگوی دمای سطوح فیزیکی در شرایط جوئی متفاوت. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶ (۱)، ۵۹-۷۶.
- طاوسی تقی (۱۳۹۷). بررسی نقش فضاهای سبز بر تعدیل گرمای شهر موردکاوی: بوستان گل محمدی در شهر اصفهان. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۱ (۲۹)، ۶۱-۷۴.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابرگرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۳۳ (۱)، ۸۵-۱۰۰.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ رضایی، محمد (۱۳۹۴). جستاری پیرامون شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی استان کرمان. *جغرافيا و برنامه‌ریزی*، ۱۹ (۵۴)، ۲۵۳-۲۷۷.
- کریمی فیروزجایی، محمدکریمی؛ کیاورز مجید (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین شدت جزیره حرارتی و اختلاف خصوصیات بیوفیزیکی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده (مطالعه موردی: شهرهای شرق استان مازندران). *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۶ (۲)، ۱۶۵-۱۸۹.
- مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور جعفر؛ رستمی طیبه (۱۳۹۴). تحلیل آماری همدیدی امواج گرم بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، در غرب ایران. *جغرافيا و مخاطرات محیطی*، ۱۳ (۱)، ۴۷-۵۱.
- مولودی، گلانه؛ خورانی، اسداله؛ مرادی، عباس (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳ (۱)، ۱-۱۴.

References

- 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.
- Berko, J., Ingram, D. D., Saha, S., Parker, J. D. (2014). Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006-2010. *National Health Statistics Reports*, 76. National Center for Health Statistics.
- Chatterjee, R. S. Narendra, S. Shailaja, T., Dravneeta, S., Dheeraj, K. (2017). Retrieval of land surface temperature (LST) from Landsat TM6 and TIRS Data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58, 264-277.
- Duan, S., Zhao, Li, Chenguang W., Shuting, Z., Bo-Hui, T, Leng, P., Mao-Fang, G. (2019). Land-surface temperature retrieval from Landsat 8 single-channel thermal infrared data in combination with NCEP reanalysis data and ASTER GED product. *International Journal of Remote Sensing*, 40 (5-6), 1763-1778.
- Esmail Nejad, M., Khosravi, M., Alijani, B., Masoudian, A. (2014). Identifying heat waves of Iran. *Geography and development Iranin Journal*, 11 (33), 54-39 (In Persian).
- Fumiaki, F., Nobuo, Y., Kenji, K., Hiroshi, N. (2007). Long-Term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan. *Meteorology and Geophysics Journal*, 58, 63-72.

- Gavidel Rahimi, U. (2011). Identification, classification and synoptic analysis of iran super heat wave in 2010 summer. *Arid Regions Geographic Studies*, 1 (3), 85-100 (In Persian).
- Gavidel Rahimi, U., Rezaei, M. (2016). A query on identification, classification and synoptic analysis of heat waves in Kerman province. *Geography and Planing*, 19 (54), 253-277 (In Persian).
- Hatami Zareneh, D., Hejazizadeh, Z., Naserzadeh, M. H. (2019). Analysis of heat waves temporal fluctuation in North - West region of Iran and their relationship with greenhouse gases and global land-ocean temperature anomalies. *Researches in Geographical Sciences*, 19 (52), 56-35 (In Persian).
- Hertel, S., Le Tertre, A., Jockel, KH., Hoffmann, B. (2009). Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany. *European Journal of Epidemiology*, 24 (8), 407-14.
- 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.
- Karimi Firozjaei, M., Kiavarz, M. (2018). Investigating the relationship between heat island intensity and biophysical characteristics differences between built-up and non-built-up regions (Case study: Cities in East Mazandaran). *Engineering Journal of Geospatial Information Technology*, 6 (2), 165-189 (In Persian).
- Lee, S-H., Baik, J-J. (2011). Evaluation of the vegetated urban canopy model (VUCM) and Its impacts on urban boundary layer simulation. *ASIA-PACIFIC Journal of Atmospheric Sciences*, 47 (2), 151-165.
- Lemonsu, A., Vigiúé, V., Daniel, M., Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14 (2), 586-605.
- 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.
- Miller, R. B., Small, C. (2013). Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. *Environmental Science & Policy*, 6 (2), 129-137.
- Mojarrad, F., Masoompour, J., Rostami, T. (2015). Statistical-Synoptic analysis of heat waves above 40°C in the West of Iran. *Geography and environmental Hazards*, 4 (13), 41-57 (In Persian).
- Molodi G., Khorani, A., Moradi, A. (2016). Impacts of climate change on heat waves in northern coast of Persian Gulf. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3 (1), 1-14 (In Persian).
- Pyrnzt, M., Rostaii, SH., FyzyZadh, B., Raisii, F. (2018). Calculating the earth surface temperature and its relation to urban land cover classes by Landsat 8 data (Case study: Tehran city). *Geographical Planing of Spase Quarterly Journal*, 8 (29), 240-227 (In Persian).
- Shamsipour A. A., Azizi, G., Karimi, M., Moghbel, M. (2014). Study on physical surface temperature patterns in different weather conditions. *Physical Geography Research Quarterly*, 46 (1), 59-76 (In Persian).
- Shaposhnikov, D., Revich, B., Bellander, T., Bedada, G. B., Bottai, M., Kharkova, T., Kvasha, E., Lezina, E., Lind, T., Semutnikova, E., Pershagen, G. (2014). Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010. *Epidemiology*, 25 (3), 359-364.
- Tavosi, T. (2019). The Cooling effect of green spaces as a contribution to reduce the urban heat a case study Golmohamady Park in Esfahan. *Geographical Planing of Spase Quarterly Journal*, 8 (29), 61-74 (In Persian).
- U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2016). *Indicator: Heat-Related Mortality*. National Center for Health Statistics. Annual national totals provided by National Center for Environmental Health staff. <http://ephtracking.cdc.gov/showIndicatorPages.action>.