نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۳، زمستان ۱۴۰۰

ارزیابی مخاطره بیوکلیمایی رخدادهای موج گرم در شهر تهران

دریافت مقاله: ۹۸/۱۰/۲۶ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۵/۱۷

صفحات: ۴۷۸-۴۶۵

شهرام امامقلی: دکتری آب و هواشناسی شهری، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.
Email: shahram.emam@yahoo.com
غلامرضا جانبازقبادی: استادیار و عضو هیأت علمی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران[1].
Email: gghobadi@yahoo.com
پرویز رضایی: دانشیار اقلیم شناسی و عضو هیئت علمی گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
Email: rezaei@iaurasht.ac.ir
صدرالدین متولی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور ، ایران.
Email: s_motevali@iaunour.ac.ir

چکیده

هدف این تحقیق تحلیل فضایی آسیب‌پذیری کلانشهر تهران در برابر رخداد امواج گرم است. داده های مورد استفاده تحقیق شامل داده‌های روزانه دمای بیشینه ۵ ایستگاه سینوپتیک شهر تهران (ژئوفیزیک، مهرآباد، دوشان تپه، چیتگر، شمال تهران) طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۸ است. برای شناسایی و استخراج امواج گرم از روش صدک ها(صدک ۹۵م) و تداوم بیش از دو روز متوالی استفاده گردید. روند سری زمانی رخدادهای سالانه امواج گرم در کلان شهر تهران با استفاده از دو آزمون ناپارامتریک تحلیل روند بررسی شد و یک موج گرم تیپیک برای تحلیل توزیع فضایی تنش های حرارتی در سطح کلان شهر تهران انتخاب گردید. توزیع دمایی موج گرم انتخاب شده در روز پیک فعالیت موج، با استفاده از تصاویر حرارتی، سنجنده TIRS لندست ۸ و الگوریتم دمای درخشش، به دست آمد و در نهایت تحلیل مخاطره بیوکلیمایی تنش گرمایی موج گرم در ارتباط با جمعیت بلوک های اماری کلان شهر تهران با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع بررسی گردید. نتایج نشان داد در همه ایستگاه های مورد بررسی طی دوره آماری ۳۲ ساله، رخداد سالانه امواج گرم روند افزایشی داشته است. بررسی توزیع فضایی دما در هنگام حاکمیت موج گرم ۳۰ تیر تا ۶ مرداد سال ۱۳۹۲، نشان داد که دمای کلان شهر تهران در سطح زمین در حین رخداد موج گرم با توجه به نوع کاربری از ۴۰ تا ۴۷ درجه متفاوت است. تحلیل لکه های داغ بیانکر آن بود که تنش حرارتی ناشی از موج گرم حاکم، مناطق۶، ۷، ۸، ۱۰،۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴، ۷، و ۱۹ شهر تهران را به صورت معنی‌داری درگیر کرده است. میانگین دمایی این هسته داغ حرارتی به‌طور متوسط در طی دو موج گرم، به بیش از ۴۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است. به‌طور کلی ۲۹۵۴۴۸۵ نفر از جمعیت شهر تهران که برابر ۳۵ درصد از جمعیت شهر تهران قرار گرفته است، تراکم مسکونی زیاد در این مناطق شهر، عدم گردش هوای مناسب، ترافیک شهری، کمبود و توزیع نامناسب فضای سبز شهری در این مناطق، از مهمترین عوامل تشدید کننده تنش حرارتی موج گرم در این مناطق هستند.

کلید واژگان: آمار فضایی، امواج گرم، رخدادهای حدی، شهر تهران، لکه‌های داغ.

---

۱ . **نویسنده مسئول**: مازندران، جویبار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جویبار، گروه جغرافیا ۰۹۱۱۲۰۷۱۰۸۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

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 متاثر می‌شود. دما از مهم ترین 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 که شامل امواج گرم زمستانه و تابستانه و نیز امواج سرد زمستانه و تابستانه، سرماهای دیررس بهاره، امواج گرمایی زودرس بهاره، رکوردهای دمایی فصل گرم، تغییرات فضایی نواحی دمایی، 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، باروس[۲] در اواخر قرن ۱۹ موج گرم را دوره ای دانست که دمای هوا در این دوره بیش از ۳۲/۳ درجه سانتی‌گراد (۹۰درجه فارنهایت) باشد و حداقل سه روز این شرایط ادامه داشته باشد. 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 و ... از سال ۱۹۵۰ به بعد ثبت شده است (حدادی، ۱۳۸۸). امواج گرم که از دو دهه قبل به یکی از مهم‌ترین و جدی‌ترین مخاطرات اقلیمی به‌ویژه در اقلیم شهری بدل شده است، تأثیرات وسیع این مخاطره جوی در مرگ و میرهای ناشی از تنش‌های گرمایی و گرمازدگی، عود و تشدید برخی علایم بیماران قلبی و عروقی، سکته‌ها، از دست رفت آب بدن، همگی از مظاهر این مخاطره اقلیم شهری هستند که نظر به میزان چشمگیر تلفات جانی ناشی از موج گرم و گرمازدگی به‌عنوان یکی از مخاطرات نوظهور در اقلیم شهری (نسبت به سیل و خشکسالی و طوفان) در نواحی مختلف جهان این پدیده مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه این شاخص حدی بسیاری از پدیده‌های محیطی را تحت تأثیر خود قرار میدهد، در سطح جهان مطالعات زیادی در زمینه شناسایی و اثرات موج گرما به‌ویژه بر روی سلامت انسان، صورت گرفته است GiYang Sen (2010) Populita et al (2011) Rojer et al (2006) Diaz et al (2011) Pascal. 2012) از جمله کسانی بودن که در این زمینه تحقیقاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که رابطه مستقیمی بین موج گرمایی و مرگ‌ومیر وجود دارد. آسترا و باندلا[۳] (۲۰۱۷)، رخدادهای مرگ و میر مرتبط با دماهای فرین حدی گرم را درشهرهای بیابانی اسنوران[۴] طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فرکانس رخداد امواج گرم از سال ۱۹۹۰ به‌صورت معنی‌داری افزایش یافته است. این افزایش مرگ ومیرهای مرتبط با گرمازدگی و بیماری‌های مرتبط با گرما در مورد ایالت‌هایی که تراکم جمعیتی بیشتری دارند

۱ Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)

۲ Barus

۳ Astera & Bandella

۴ Snoran

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

و دربافت‌های 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 خسارت زایی موج گرم است که مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته است به‌طوری که مادریگان[۱] و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی تعداد مرگ و میرهای کلان شهر نیویورک 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.

ازهر[۲] و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به تولید نقشه ریسک شاخص گرمازدگی در هند نمودند. ایشان با به کارگیری داده‌های مربوط به توزیع جمعیت در مناطق شهری ۶۴۰ منطقه جمعیتی هند، اقدام به توسعه یک شاخص آسیب‌پذیری گرمایی در هند نمودند که مبتنی بر دادهای جمعیتی اخذ شده از سرشماری اخیر هند، تصاویر ماهواره‌ای، ویژگی‌های بافت مسکونی شهرهای مورد بررسی بود. نتایج تحقیق ایشان که در واقع شامل نقشه ریسک گرمازدگی در کشور هند بود بیانگر آن بود که مراکز شهری و سکونتی که در بخش‌های مرکزی کشور هند قرار گرفته اند نسبت به نواحی حاشیه ای در معرض ریسک‌های بالاتری از گرمازدگی قرار دارند. در ایران نیز در زمینه شناسایی و عوامل ایجاد امواج گرمایی پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است، از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه رحیمی (۱۳۹۴) اقدام به بررسی و تحلیل امواج گرم رخداده در سال ۱۳۸۹ در استان خوزستان کرد. ایشان برای تحلیل سینوپتیک گرم‌ترین آها از میان ۵ موج که یک موج فوق گرم ۴ روزه به وقوع پیوسته از روز ۱۴ تا ۱۷ تیرماه بود، برای مطالعه انتخاب گردید. 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 هم چنین افزایش شدید ضخامت جو بر روی استان خوزستان که موجب فرونشینی هوای گرم و گرمایش بیش از حد سطح زمین می-شود، عوامل دینامیک- سینوپتیک وقوع روزهای فوق گرم هستند. پژوهش کریمی فیروزجایی و کیاورز ۱۳۹۶) نقش پهنه‌های ساخت شهر ی را در تشکیل و تشدید جزایر حرارتی نشان داد، به گونه ای که در تفاوت دمایی محیط‌های شهری با محیط‌های غیر شهری، ۳ تا ۴ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. مجرد و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل آماری همدیدی 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 استخراج کردند. ایشان نتیجه گرفتند که پرارتفاع آزور و پرفشار عربستان دو الگوی سینوپتیکی عمده مولد امواج گرمایی در منطقه بوده و زمان آغاز آن از مرداد است. باوجود اهمیت روزافزون گرمایش جهانی و فراوانی رخداد امواج گرم به ویژه در فصل گرم و افزایش خسارات مالی و جانی آن، مطالعهٔ جامعی در مورد میزان آسیب‌پذیری بالقوهٔ نواحی شهری درمقابل رخداد موج گرم به مثابهٔ یکی از فرایندهای حدی اقلیم، صورت نگرفته است. هدف اساسی پژوهش حاضر بررسی میزان آسیب‌پذیری شهر تهران، دربرابر امواج گرم به منزلهٔ یکی از مخاطرات نوظهور اقلیمی است.

---

۱ Madrigan

۲ Azhar

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]

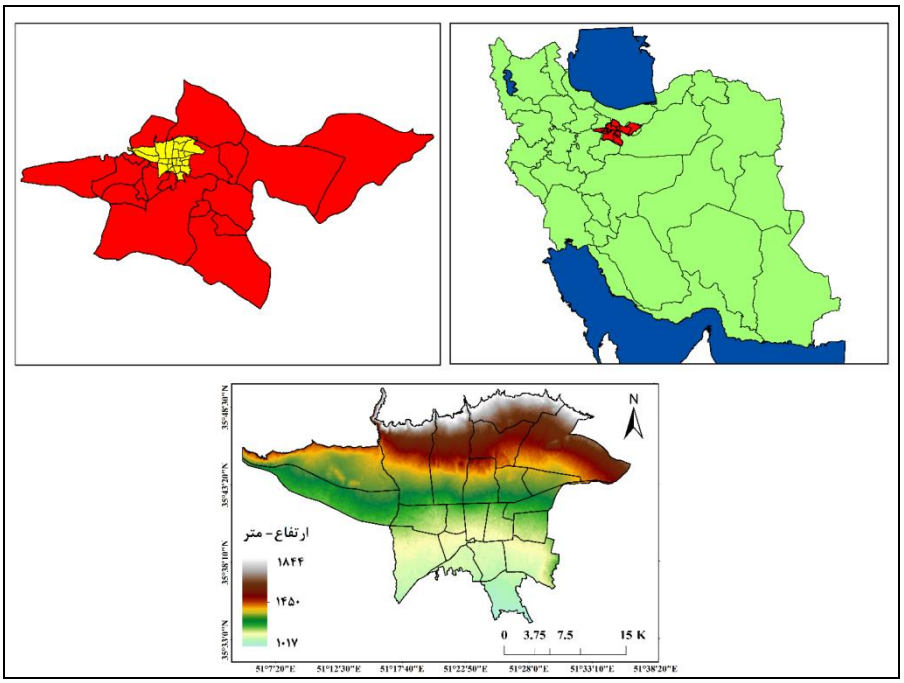
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه‌ی شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه‌ی شرقی، به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی شمالی به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر گسترده شده است. ارتفاع آن از سطح آبهای آزادبین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است و از جنوب به کوه‌های ری و بیبی شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان محصور شده است. در نتیجه در جنوب و شمال دارای آب و هوایی متفاوت است. نواحی شمالی از آب و هوای سرد و خشک و نواحی جنوبی از آب و هوای گرم و خشک برخوردار می باشند (تاریخچه تهران، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۷). شکل(۱).

شکل(۱).



شکل(۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده و روش کار

در این تحقیق به طور کلی از سه دسته از داده ها استفاده شده است. دسته اول داده های هواشناسی ایستگاهی که از ۵ ایستگاه سینوپتیک شهر تهران شامل چیتگر، مهرآباد، ژئوفیزیک، دوشان تپه و شمال تهران، برای دوره آماری ۳۲ ساله ۱۹۸۷-۲۰۱۸ به صورت روزانه، برای عنصر دمای بیشینه استفاده شد. دسته دوم داده ها، تصاویر حرارتی سنجنده TIRS لندست ۸ بود که برای بررسی وضعیت توزیع فضایی دمای سطح زمین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

در سطح کلان شهر تهران در روز حاکمیت موج گرم استفاده شد. دسته سوم از داده ها، مربوط به بلوک های آماری سرشماری شده شهر تهران بود که برای سال ۱۳۹۵، از درگاه ملی مرکز آمار ایران اخذ شد. جدول(۱).

جدول(۱). داده‌های مورد استفاده در تحقیق

داده	منبع اخذ	دوره آماری	دقت زمانی-مکانی
داده های هواشناسی	ایستگاه های سینوپتیک سطح شهر تهران	۱۹۸۷-۲۰۱۸	دیدبانی های روزانه
داده های دمای سطح زمین	۱-محصول MOD11A2 سنجنده MODIS ۲-تصاویر ماهواره ای لندست	روزهای موج گرم نمونه موردی	۱ کیلومتر- ۱ روزه برای داده های مادیس ۳۰دات متر برای تصاویر لندست
بلوک های جمعیتی شهر تهران	درگاه ملی آمار ایران و مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران	دو سرشماری ۱۳۹۰-۱۳۹۵	دو دوره آماری به تفکیک بلوک آماری شهر تهران

آشکارسازی و استخراج امواج گرم

برای تفکیک و آشکارسازی امواج گرم، با استفاده از داده های روزانه دمای بیشینه ۵ ایستگاه سینوپتیک شهر تهران ایستگاه های مهرآباد، چیتگر، ژئوفیزیک، شمال تهران و دوشان تپه، از دو شاخص استفاده شد. شاخص اول که در واقع مبتنی بر انحراف نرمال شده دمای بیشینه هر روز، نسبت به میانگین دمای بیشینه همان روز در طی کل دوره ۳۳ ساله یعنی ۱۹۸۷-۲۰۱۸ میباشد: رابطه (۱) شاخص انحراف نرمال شده دمای بیشینه روزانه را نشان می دهد.

رابطه (۱)

$$\Delta Tmax_{ijn}=\Delta Tmax_{ijn}-\overline{Tmax_{ij}}$$

که در این شاخص i، j و n، به ترتیب شماره ایستگاه، شماره روز در سال و سال مورد نظر است. براساس این شاخص، اگر انحراف دمای بیشینه هر روز نسبت به میانگین بلندمدت دمای بیشینه روزانه بیش از ۲ واحد باشد، به معنی رخداد یک موج گرم در نظر گرفته میشود. اما فیلتر دوم، تداوم دمای بالا به مدت حداقل دو روز متوالی است. بنابراین بالاتر بودن اختلاف دمای روز مذکور از میانگین دمای بلندمدت همان روز و تداوم بیش از دو روز متوالی به عنوان شاخص موج گرم در نظر گرفته شد.

تحلیل روند سری زمانی رخدادهای سالانه موج گرم

برای آشکارسازی روند سری زمانی از آزمون ناپارامتریک تخمینگر شیب Sens استفاده گردید که به صورت رابطه (۲) ارائه شده است (سن[۱]،۱۹۶۶):

$$Q = \text{Median}\left(\frac{w_j - w_i}{j - i}\right), \quad \forall j > i$$

رابطه (۲) (تخمینگر شیب)

۱. Sen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

در رابطه (۲) Q برآوردگر شیب خط روند و w_i وw_j به ترتیب تعداد رخدادهای موج گرم در سال i ام و j ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) Q نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است (زمانی و همکاران، ۲۰۱۴).

تحلیل تنش های حرارتی موج گرم در ارتباط با بلوک های جمعیتی شهر تهران

برای بررسی تنش های حرارتی هنگام حاکمیت موج گرم در سطح کلانشهر تهران، یک موج گرم انتخاب و توزیع فضایی دما در سطح شهر با استفاده از تصویر حرارتی سنجنده ،TIRS، بررسی شد. دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم دمای درخشش از روی تصاویر TIRS استخراج گردید. توزیع فضایی دما در سطح بلوک های جمعیتی شهر تهران، و جمعیت در معرض ریسک گرمازدگی، با استفاده از تحلیل ماتریس متقاطع در محیط GIS بررسی شد.

برای شناسایی بلکوک‌های جمعیتی سطح شهر تهران که هنگام تسلط موج گرم، دمای هوای آن ها به صورت معنی‌داری (در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value =0.05)) بالاتر از اطراف بوده است، از آماره فضایی لکه های داغ HOT-SPOT استفاده شد. چهارچوب مفهومی این تحلیل اینگونه عمل کند که عارضه‌ای لکه داغ تلقّی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه ی آن از نظر آماری به صورت معنی‌داری بالاتر از اطراف باشند. آماره Getis-Ord Gi به صورت زابطه (۳) محاسبه میگردد:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{i,j} - \bar{x}\sum_{i=1}^{n} w_{i,j}}{S\sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^{n} w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

رابطه (۳). آماره (Getis-Ord Gi)

برای ارزیابی میزان آسیبپیری جمعیت در معرض خطر دماها ی بحرانی حین موج گرم در شهر تهران، از داده-های مربوط به بلوک‌های جمعیتی شهر تهران برای سرشمار های سال ۱۳۹۵ استفاده شد

نتایج

در جدول (۲) ویژگی های آماری رخدادهای سالانه امواج گرم، ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده میشود، رخدادهای موج گرم ایستگاه‌های مطالعاتی سطح شهر تهران گویای آن است که طی دوره مورد بررسی، در ایستگاه مهرآباد به طور متوسط ۶موج گرم ثبت شده است، بالاترین تعداد موج‌های گرم، در این ایستگاه مربوط به سال ۲۰۱۵ می‌باشد که ۹ موج گرم در این سال ثبت شده است و کم‌ترین تعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال ۱۹۹۱ بوده که در این سال ۲ موج گرم ثبت شده است. در ایستگاه شمال تهران به طور متوسط ۵ موج گرم ثبت شده است، بالاترین تعداد موج‌های گرم، در این ایستگاه مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ می‌باشد که ۸ موج گرم در این سال‌ها ثبت شده است و کم‌ترین نعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال ۱۹۹۱ بوده که در این سال ۲ موج گرم ثبت شده است. در ایستگاه ژئوفیزیک به طور متوسط ۵ موج گرم ثبت شده است، بالاترین تعداد موج‌های گرم، در این ایستگاه مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ می‌باشد که ۸ موج گرم در این سال ثبت شده است و کم‌ترین نعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال ۱۹۹۱ بوده که در

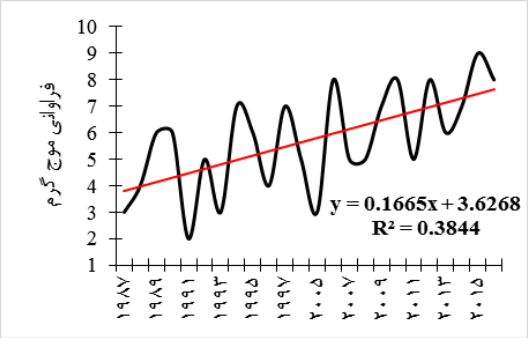
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

این سال ۲ موج گرم ثبت شده است. در ایستگاه دوشان تپه به طور متوسط ۵ موج گرم ثبت شده است، بالاترین تعداد موج‌های گرم، در این ایستگاه مربوط به سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ می‌باشد که ۸ موج گرم در این سال ثبت شده است و کم‌ترین نعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ بوده که در این سال ۳ موج گرم ثبت شده است. در ایستگاه چیتگر به طور متوسط ۵ موج گرم ثبت شده است، بالاترین تعداد موج‌های گرم، در این ایستگاه مربوط به سال ۲۰۱۶ می‌باشد که ۸ موج گرم در این سال ثبت شده است و کم‌ترین نعداد امواج گرمایی نیز مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ بوده که در این سال ۲ موج گرم ثبت شده است.

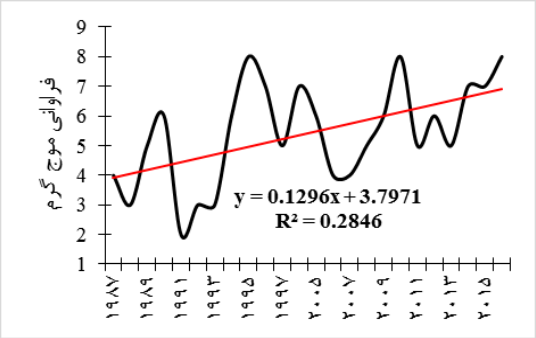
جدول(۲). ویژگی‌های آماری تعداد امواج گرم در ایستگاه‌های شهر تهران

	مهرآباد	شمال تهران	ژئوفیزیک	دوشان تپه	چیتگر
میانگین	۶	۵	۵	۵	۵
انحراف معیار	۲	۱/۷	۱/۵	۱/۶۴	۱/۶
ضریب تغییرات	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۳۳
بیشینه	سال ۲۰۱۵	سالهای ۲۰۱۰،۱۹۹۵ و ۲۰۱۶	سالهای ۲۰۱۰و ۲۰۱۴	سالهای ۲۰۱۰ ،۲۰۱۵،۲۰۱۲ و ۲۰۱۶	سال ۲۰۱۶
کمینه	سال ۱۹۹۱	سال ۱۹۹۱	سال ۱۹۹۱	سالهای ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲	سالهای ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱

برای ارزیابی روند سالانه سری زمانی فراوانی رخدادهای امواج گرمایی در ایستگاه‌های شهر تهران طی دروه آماری مورد بررسی (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶)، از آماره برآوردگر شیب Sens استفاده شد که به صورت نمودار شکل (۲) ارائه شده است. همانطور که در این نمودار سری زمانی و روند ناپارامتریک خطی برازش داده شده بر آن مشاهده می‌گردد، براساس این روش ناپارامتریک برآوردگر شیب، در ایستگاه مهرآباد هر ساله حدود ۰/۱۶، در ایستگاه شمال تهران هر ساله حدود ۰/۱۲، در ایستگاه ژئوفیزیک هر ساله حدود ۰/۱۵، در ایستگاه دوشان تپه هر ساله حدود ۰/۱۶ و در ایستگاه چیتگر نیز هر ساله حدود ۰/۱۷ فراوانی رخدادهای امواج گرمایی افزایش یافته است.

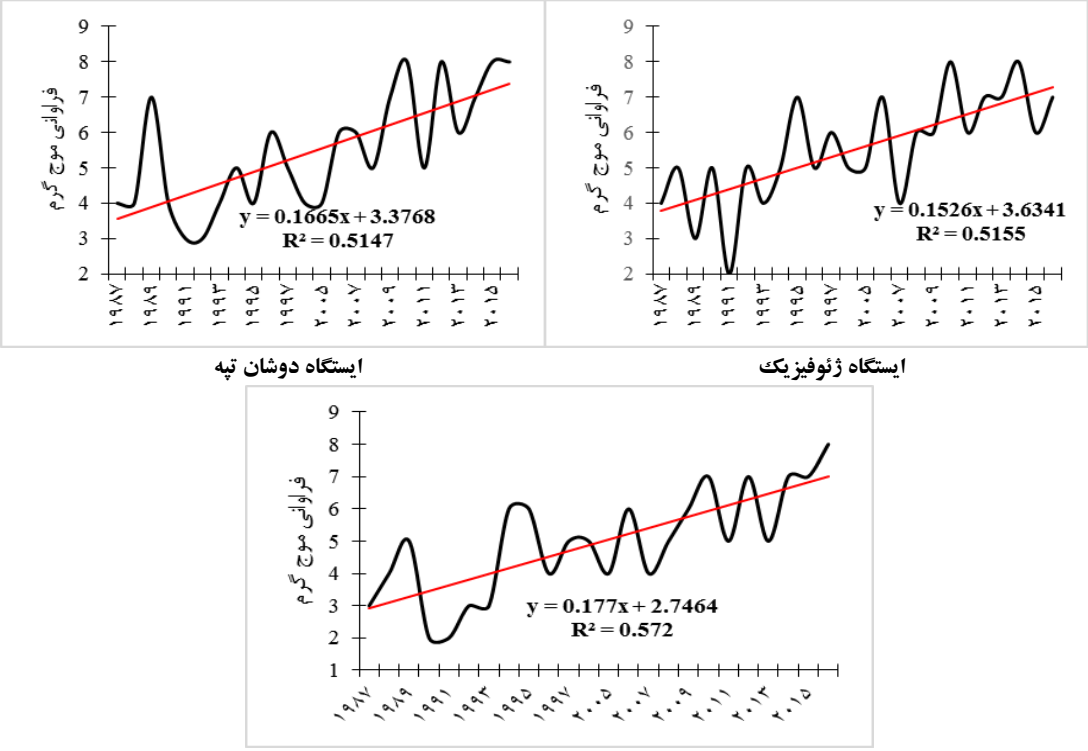


ایستگاه مهرآباد



ایستگاه شمال تهران

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]



ایستگاه دوشان تپه

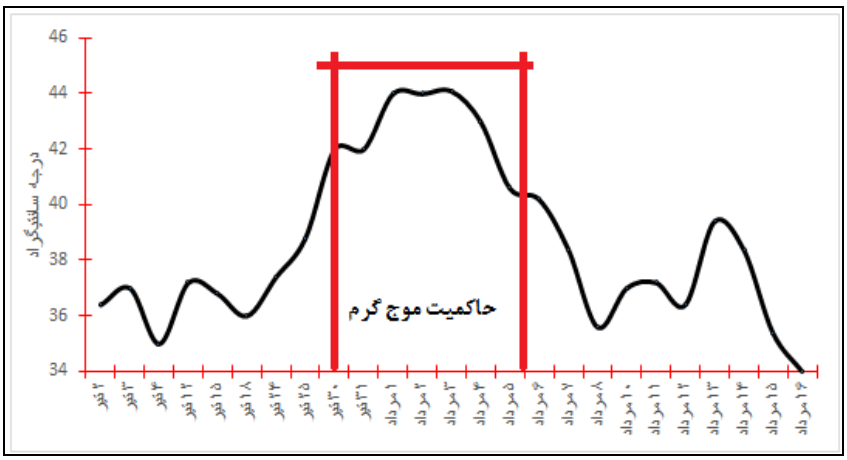
ایستگاه ژئوفیزیک

ایستگاه چیتگر

شکل (۲). فراوانی رخدادهای موج گرم در ایستگاه‌های شهر تهران، طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا۲۰۱۶

برای تحلیل توزیع فضایی تنش های حرارتی ناشی از موج گرم در کلان شهر تهران، یک نمونه موج گرم تیپیک که در همه ایستگاه های مورد بررسی، ثبت شده و تداوم آن در همه ایستگاه ها، بیش از ۳ روز بوده است انتخاب شد. این موج گرم تیپیک ۲۰ تا ۲۸ جولای ۲۰۱۳ (۳۰ تیر تا ۶ مرداد ۱۳۹۲)، در سطح ایستگاه های شهر تهران ثبت شده است می‌باشد. این موج گرم یکی از طولانی‌ترین و گرمترین امواج گرم ثبت شده شهر تهران بوده که در همه ایستگاه‌های سطح شهر تهران و حتی استان‌های البرز، قم و سمنان نیز ثبت شده اند. میانگین دمای هوای سطح شهر تهران طی حاکمیت این موج گرم بیشتر از ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. دمای دیده‌بانی شده ساعت ۱۲ به‌صورت 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 تهران در این روزها به ۴۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است. شکل(۳).

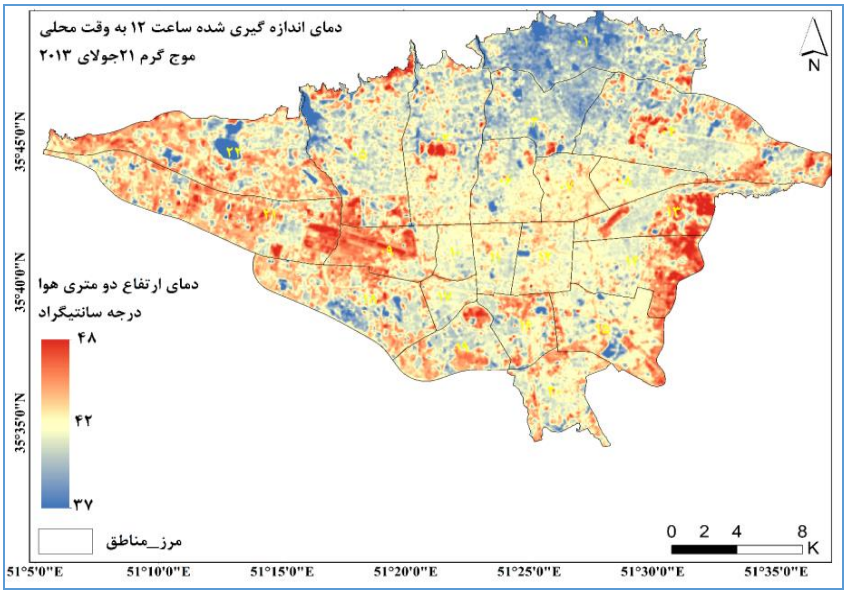
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]



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

در شکل (۴) دمای سطح زمین استخراج شده از تصاویر سنجنده TIRS برای روز ۲۱ جولای ۲۰۱۳، یعنی ۳۱ مرداد ۱۳۹۲، ارائه شده است. . همانطور که در نقشه شکل ۴ مشاهده می‌گردد، دامنه دمای سطح شهر تهران در ساعت ۱۲ ظهر، بین ۳۷ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. مناطق غربی شهر تهران شامل منطقه ۲۲، منطقه ۲۱ که عموما کاربری اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی است، دارای بالاترین دما و بیش از ۴۶ دزجه سانتی‌گراد بوده است. بخش های از مناطق ۹ و مناطق ۱۸ و ۱۹ شهر تهران نیز، در ساعت ۱۲ روز ۳۱ مرداد ۱۳۹۲، دارای دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد بوده اند. در بخش‌های شرقی شهر تهران نیز بخش‌هایی از دو منطقه ۱۳ و ۱۴ شهر، دارای دماهای بالاتر از ۴۴ درجه سانتی‌گراد بوده‌اند. بخش‌های شمالی شهر تهران مناطق ۱، ۳ و بخش‌های از مناطق ۲ و ۴ شهر تهران در این ساعت دارای دمایی برابر ۴۱ تا ۴۲ درجه سانتی-گراد بوده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]



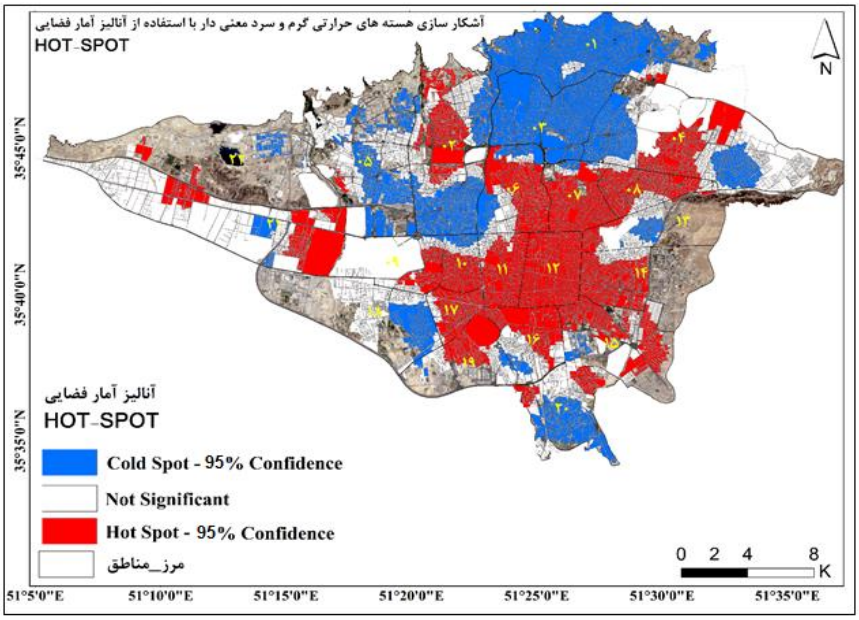
شکل (۴). تصویر دمای سطح شهر تهران در ساعت ۱۲ روز دوم حاکمیت موج گرم روز ۲۱ جولای ۲۰۱۳ (۳۱ مرداد ۱۳۹۲) استخراج شده از باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸

برای بررسی جمعیت سطح شهر تهران از نقشه های توزیع فضایی بلوک های جمعیتی سطح شهر تهران مربوط به سرشماری سال ۱۳۹۵، سازمان آمار ایران استفاده گردید براساس این داده ها، جمعیت پایتخت ۸ میلیون و ۶۷۹ هزار و ۹۵۰ نفر است که از این جمعیت ۴ میلیون ۳۶۴ هزار و ۷۵۴ نفر را زنان و ۴ میلیون و ۳۱۵ هزارو ۲۰۵ نفر را مردان تشکیل می‌دهند پرجمعیت ترین منطقه تهران و منطقه ۲۲ با جمعیت ۱۷۵۳۹۸ نفر کم جمعیت ترین منطقه تهران بوده اند. توزیع طبقه سنی کودکان زیر ۱۰ سال در همه مناطق مختلف شهر تهران وجود دارد. اما مناطق ۹، و ۲۱ بیشترین فراوانی بلوک های با جمعیت بالای کودکان زیر ۱۰ سال را داشته اند.

نتایج حاصل از اجرای تحلیل آمار فضایی لکه‌های داغ HOT-SPOT، در شکل (۵) ارائه شده است. همانطور که در این نقشه دیده می‌شود، هسته‌های بحرانی حرارتی که در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value = 0.05)، به صورت معنی‌داری از مناطق اطراف گرمتر بوده‌اند، آشکار شده است. هسته های بحرانی داغ، در روز های حاکمیت موج گرم در ساعت ۱۲، عموما مناطق۶، ۷، ۸، ۱۱،۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴، ۷، و ۱۹ را به صورت معنی-داری درگیر کرده است. شدت تنش گرمایی موج گرم در این مناطق به‌صورت 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. بخش های محدودی از منطقه ۲ و نیز منطقه ۲۱ شهر تهران نیز در این هسته داغ حرارتی قرار گرفته است این هسته داغ حرارتی در سطح شهر تهران 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 آماری شهر تهران است را در برگرفته است. بخش هایی وسیعی نیز از بلوک های جمعیتی شهر تهران همانطور که در شکل (۵) دیده می‌شود، از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

لحاظ آماری، براساس تحلیل آمار فضایی HOT-SPOT معنی دار نبوده اند. این بخش ها، که عموما شامل منطقه ۲۱ و منطقه ۴ و منطقه ۹ و ۱۶ بخش هایی از مناطق ۱۳ و ۱۴ و ۵ و نیز بخش هایی از منطقه ۲ را در برگرفته است، تنش حرارتی به صورت معنی داری بالا نبوده است که تشکیل یک هسته حرارتی داغ را در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value = 0.05) بدهد.



شکل (۵). آشکارسازی هسته‌های داغ حرارتی در روزهای حاکمیت موج گرم (میانگین دو موج گرم مورد بررسی) در بلوک‌های جمعیتی سطح شهر تهران با استفاده از آنالیز آمار فضایی HOT-SPOT

توزیع فضایی جمعیت شهر تهران در ارتباط با توزیع دمای سطح شهر تهران در هنگام حاکمیت موج گرم

توزیع جمعیت شهر تهران در هسته‌های حرارتی شهر تهران که براساس آنالیز HOT-SPOT، استخراج شده است، ارائه گردیده است. این جدول با استفاده از آنالیز ماتریس متقاطع در نرم افزار ARC_GIS، تهیه شده است. در این هسته داغ حرارتی که به صورت معنی‌داری دمای آن حین رخداد موج گرم بالا می‌رود، به طور کلی ۲۹۵۴۴۸۵ نفر از جمعیت شهر تهران که برابر ۳۵ درصد از جمعیت شهر تهران قرار گرفته است. در این هسته داغ حرارتی تعداد ۱۳۰۰۰ بلوک آماری که برابر ۴۰ درصد از کل بلوک‌های جمعیتی شهر تهران است، قرار دارد. جدول (۴).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

جدول (۴). آنالیز ماتریس متقاطع[1] هسته حرارتی آشکارشده شهر تهران 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 تهران

طبقات دمایی	نفر
جمعیت کل	۲۹۵۴۴۸۵
کهنسالان بالای ۶۵ سال	۳۵۲۷۵۰
کودکان زیر ۱۰ سال	۹۱۲۸۹۰
تعداد بلوک های جمعیتی	۱۳۴۱۰ بلوک آماری

در هسته داغ آشکارشده شهر تهران 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 سنتی می‌باشد. تنش‌های حرارتی می‌تواند به صورت چشم‌گیری 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 تهران هنگام حاکمیت موج گرم، قرار گرفته است. این تعداد کودکان زیر ۱۰ سال، برابر ۶۰ درصد از کل کودکان شهر تهران است. جدول (۴).

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو مخاطره بیوکلیمایی رخدادهای موج گرم در شهر تهران بررسی شد. تنش های حرارتی تابستانه ناشی از موج گرم، در شهر تهران، هر ساله در تابستان باعث ظهور و تشدید بسیاری از بیماری های ناشی از تنش گرمازدگی[2] می‌شود. بررسی پیشینهٔ پژوهش نشان دهندهٔ آن است که تاکنون در پژوهش‌های داخل کشور گرمازدگی‌ها و تنش‌هائ حرارتی مرتبط با امواج گرم در محیط‌های شهری و جمعیت در معرض مخاطرهٔ گرمازدگی‌های حاد، بررسی نشده است اما با نگاهی دقیق‌تر به موضوع، دو نکتهٔ بسیار مهم آشکار می-شود :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 ازقبیل امواج گرم و سرد در سه دههٔ 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، روزبه 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 می‌رود اثر هم‌افزای این دو عامل اقلیمی وانسانی، تأثیرات مخرّب موج گرم نیز در محیط شهری افزایش یابد که پژوهش‌های بسیاری این روند را به‌صورت عینی در نواحی مختلف جهان اثبات کرده اند؛ براساس آمار جمعیتی مناطق تهران، در سال ۱۳۹۵، منطقه ۴ تهران با جمعیت بالغ بر ۹۱۷ هزار و ۲۶۱ نفر، پرجمعیت ترین منطقه تهران و منطقه ۲۲ با جمعیت ۱۷۵۳۹۸ نفر کم جمعیت ترین منطقه تهران بوده اند. در این پژوهش نتایج نشان داد طی ۳ دهه اخیر (۱۹۸۷-۲۰۱۶) رخدادهای حدی گرم در شهر تهران روند

[1] Tabulate Intersection

[2] Hypothermia

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

افزایشی داشته است. هسته های بحرانی داغ، در روز های حاکمیت موج گرم در ساعت ۱۲، عموما مناطق۶، ۷، ۸، ۱۰،۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴، ۷، و ۱۹ را به صورت معنی‌داری 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 ۲ و نیز منطقه ۲۱ شهر تهران نیز در این هسته داغ حرارتی قرار گرفته است این هسته داغ حرارتی در سطح شهر تهران 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 آماری شهر تهران است را در برگرفته است همچنین بیش از ۴۰ درصد از کل جمعیت کهنسال شهر تهران در محدوده حاکمیت هسته داغ حرارتی هنگام حاکمیت موج گرم قرار گرفته است. می‌توان این ارتباط بین بالا بودن میانگین دمای هوا در نواحی با تراکم بالای جمعیت را با توزیع ساختار و بافت شهری تبیین کرد، هرتل و همکاران (۲۰۰۹) و آسترا و باندلا (۲۰۱۷)، این رابطه را در پژوهش خود این گونه توجیه کرده‌اند: تمرکز جمعیت، افزایش تراکم مسکونی در نواحی مرکزی شهر، ترافیک شهری و جمعیت بالا ، تمرکز فعالیت‌های گرمازا در بخش‌های مرکزی شهر را به همراه خواهد داشت. با توجه به روند رو به افزایش رخدادهای موج گرم ناشی از گرمایش جهانی انتظار می رود که در آیندهٔ بسیار نزدیک مشکلات مربوط به تأثیرات منفی موج گرم در سطح شهر به شد ت تشدید شده و در بخش‌های اورژانس بیمارستان‌های شهر، به وضوح شاهد مراجعان مرتبط با گرمازدگی و تنش‌های گرمایی باشیم.

مخاطره بیوکلیمایی موج گرم یکی از مخاطرات نوظهور اقلیمی است که در سال های اخیر روند افزایشی قابل توجهی در فراوانی این رخدادهای حدی وجود دارد. در این تحقیق نیز مشاهده شد که در همه ایستگاه های شهر تهران فراونی رخدادهای حدی گرم روند افزایشی داشته است. تنش های حرارتی ناشی از رخداد یک موج گرم تیپیک در سطح شهر تهران، میتواند دمای لحظه ای سطح زمین را در شهر تهران به بیش از ۴۷ درجه سانتیگراد برساند که این آستانه دمایی یک مخاطره بالقوه برای رده های سنی آسیب پذیر در برابر گرمازدگی و تنش های گرمایی به شمار میرود. در این تحقیق مشاهده گردید که در زمان حاکمیت موج گرم، هسته های بحرانی حراتی در مناطق۶، ۷، ۸، ۱۰،۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴، ۷، و ۱۹ شهر تهران تشکل شده که این عرصه های بحرانی حرارتی، بیش از ۴۰ درصد از کل جمعیت کهنسال شهر تهران را در برگرفته است.

منابع

تاریخچه تهران، (۱۳۸۷). **موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.**

حدادی، حسین (۱۳۸۸). **تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما در ایران.** پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی 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، ۲۸(۳): ۲۳-۴۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]

قویدل‌رحیمی، یوسف؛ رضایی، محمد. (۱۳۹۴). **جستاری پیرامون شناسایی، طبقه بندی و تحلییل سیبنوپتیک امواج گرمایی استان تهران**. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۹ (۵۴)، ۲۵۳-۲۷۷.

مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر؛ رستمی، طیبه (۱۳۹۴). **تحلیل آماری همدیدی امواج گرم بالای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، در غرب ایران**.جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳ (۱)، ۴۷-۵۱.

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.

Choobin, B., Malekian, A. (2013). **Relationship between Fluctuations in the Water and Aquifer Salinization (Case Study: Aquifer Aspas Fars Provinece).** Journal of Desert Managemen, 1, 13-2.-

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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.143.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.63.465]