مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره نوزدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۷۱ تا ۸۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی مشخصه های موج های گرما و شاخص های دمایی در شهر کربلا طی سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۲۴

معصومه قرائی[۲،۱]، فاطمه چاپاری نیا[۳]، مصطفی هادئی[۳،۲*]

۱- گروه سلامت در حوادث و بلایا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات تغییر اقلیم و سلامت، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، امواج گرما، میانگین دما، حداقل دما

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mostafa.hadei@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: شهر کربلا به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مقاصد زیارتی جهان که سالانه میلیون‌ها زائر را پذیراست، در معرض خطرات ناشی از گرما و امواج گرمای شدید قرار دارد. بررسی روندهای دمایی و ویژگی‌های امواج گرما در این شهر برای پیش‌بینی ریسک‌های اقلیمی و حفاظت از سلامت زائران و ساکنان اهمیت بالایی دارد. این مطالعه با هدف تحلیل روند میانگین، حداقل و حداکثر دما و ارزیابی فراوانی، مدت زمان و شدت امواج گرما در دوره ۲۰۰۹ الی ۲۰۲۴ انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه، داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و متوسط از پایگاه GSOD استخراج شد. برای شناسایی دقیق امواج گرما، از شاخص عامل گرمای اضافی (EHF) که شرایط اقلیمی مرجع و سازگاری جمعیت را در نظر می‌گیرد، استفاده شد. شاخص‌های مختلف امواج گرما از نظر تعداد، مدت زمان و شدت آنها برای توصیف رفتار امواج گرما محاسبه گردید. روند تغییرات دما و شاخص‌ها با استفاده از رگرسیون خطی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که طی دوره مطالعه، میانگین، حداقل و حداکثر دمای سالانه در کربلا روندی افزایشی داشته‌اند. فعالیت امواج گرما نیز به طور قابل توجهی تشدید شده است؛ به‌طوری که تعداد روزهای تحت تأثیر موج گرما از کمتر از ۲۰ روز در سال‌های اولیه به بیش از ۴۰ روز در برخی سال‌ها رسیده است. طولانی‌ترین موج گرما تا ۳۱ روز ادامه داشته و شاخص‌های شدت و دامنه امواج گرما نیز روند افزایشی نشان دادند. این الگوها بیانگر افزایش فشار حرارتی و مطابق با روند گرمایش منطقه خاورمیانه هستند.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که شهر کربلا طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ با افزایش محسوس دما و تشدید تعداد، شدت و مدت امواج گرما روبه‌رو بوده است. افزایش هم‌زمان دماهای حداقل و حداکثر و وقوع امواج گرمای طولانی، ریسک‌های قابل‌توجهی برای سلامت عمومی به‌ویژه در دوران تجمعات انبوه انسانی ایجاد می‌کند. تقویت سامانه‌های هشدار زودهنگام، توسعه زیرساخت‌های خنک‌کننده، گسترش فضاهای سبز و ارتقای آگاهی عمومی از اقدامات ضروری برای کاهش مخاطرات گرما و افزایش تاب‌آوری شهر در برابر پیامدهای تغییر اقلیم است.

Please cite this article as: Gharaee M, Chaparinia F, Hadei M. Analysis of heatwave characteristics and temperature indices in Karbala city during the years 2009 to 2024. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):71-86.

Copyright © 2026 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

مقدمه

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم، تأثیرات گسترده‌ای بر سلامت انسان، امنیت غذایی، منابع آب و توسعه پایدار دارد. گزارش ششم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) تأکید می‌کند که افزایش دمای جهانی حتی به میزان $^{\circ}C$ ۱/۵ نیز می‌تواند پیامدهای جدی برای سلامت و معیشت انسان‌ها داشته باشد (۱، ۲). سازمان جهانی بهداشت (WHO) نیز هشدار می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به افزایش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های مرتبط با گرما، سوءتغذیه و بیماری‌های منتقله از طریق آب و حشرات شود (۳). در این میان، موج‌های گرما به‌عنوان یکی از بارزترین و مستقیم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم، تهدیدی جدی برای سلامت عمومی محسوب می‌شوند. بررسی شاخص‌های دمایی و ویژگی‌های موج‌های گرما در مناطق مختلف، از جمله شهر کربلا، اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا این شهر به‌دلیل شرایط اقلیمی و جمعیتی خود در برابر گرماهای شدید بسیار آسیب‌پذیر است. درک این الگوها می‌تواند شواهد علمی ارزشمندی برای برنامه‌ریزی‌های بهداشت عمومی و اقدامات سازگاری فراهم کند (۴-۶).

موج‌های گرما به‌عنوان یکی از شدیدترین پیامدهای تغییرات اقلیمی، تأثیرات مخربی بر سلامت عمومی دارند. سازمان جهانی بهداشت بیان می‌کند که قرار گرفتن در معرض گرمای شدید می‌تواند منجر به اختلالات قلبی، تنفسی، کلیوی و حتی مرگ شود (۴). آژانس محیط زیست اروپا نیز گزارش داده است که دمای بالا می‌تواند باعث استرس گرمایی، خستگی، سکته گرمایی و تشدید بیماری‌های مزمن شود (۷). براساس مطالعه Hadei و همکاران (۲۰۲۴)، امواج گرمایی به‌طور معناداری با افزایش مرگ‌ومیر به‌ویژه ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی در ایران مرتبط هستند (۸). در مطالعه Hosseinzadeh و همکاران نیز وقوع امواج گرما با افزایش معنادار مأموریت‌های اورژانس‌های پزشکی همراه بوده است، که نشان‌دهنده بار قابل توجه گرما بر نظام سلامت است (۹).

با وجود افزایش مطالعات در زمینه تغییرات اقلیمی، مناطق خاصی مانند کربلا کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. گزارش سازمان دیده‌بان حقوق بشر تأکید می‌کند که عراق یکی از پنج کشور نخست جهان از نظر آسیب‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی است (۱۰). ائتلاف سلامت سیاره‌ای نیز بیان می‌کند که بحران‌های محیط‌زیستی در عراق تأثیرات گسترده‌ای بر سلامت عمومی و سیستم‌های اجتماعی دارد (۱۱). مرکز اقلیم صلیب سرخ و هلال احمر نیز تأکید می‌کند که عراق یک کشور با ریسک بالای بحران‌های انسانی و بلایای طبیعی است (۱۲). مطالعات اخیر در عراق نشان داده‌اند که امواج گرما در بغداد دارای اثرات معنی‌دار بر مرگ‌ومیر (۶) و خدمات اورژانسی (۱۳) هستند. همچنین، بررسی‌های مدل‌محور نظیر Alabadla و همکاران (۱۴) روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای در تعداد روزهای بسیار گرم و شدت موج گرما در مناطق مختلف عراق گزارش کرده‌اند. در سطح منطقه خاورمیانه، مطالعاتی چون Salameh و همکاران (۱۵) و Teyton و همکاران (۱۶)، نشان داده‌اند که شاخص‌های دمای غالب مانند روزها و شب‌های گرم با افزایش مشخصی همراه بوده‌اند. این ادبیات منطقه‌ای نشان می‌دهد که گرچه پس‌زمینه‌ای علمی وجود دارد، اما مطالعه‌ای ایستگاه‌محور و بلندمدت برای کربلا هنوز انجام نشده است. کربلا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز مذهبی جهان اسلام، به ویژه برای پیروان مذهب شیعه، میزبان میلیون‌ها زائر در طول سال و به‌ویژه مناسبت‌های خاص مانند اربعین و عاشورا است. این تجمعات عظیم انسانی که گاه به چندین میلیون نفر می‌رسد، در شهری با دمای بسیار بالای تابستانی، چالش‌های جدی در حوزه سلامت عمومی و مدیریت بحران‌های محیطی ایجاد می‌کند؛ از جمله این چالش‌ها می‌توان به افزایش خطر گرمازدگی و بیهوشی، تشدید بیماری‌های قلبی و تنفسی در افراد حساس، کم‌آبی و اختلالات الکترولیتی در جمعیت زائران، فشار بر سیستم‌های اورژانس و خدمات پزشکی شهری، محدودیت در تأمین آب سالم و تهویه مناسب در مکان‌های شلوغ، اختلال در حمل‌ونقل و تراکم شدید در مسیرهای عبوری و افزایش

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

فشار بر زیرساخت‌های شهری مانند شبکه برق و سیستم‌های مدیریت پسماند اشاره کرد (۱۷، ۱۸). افزایش تراکم جمعیتی در فصول گرم سال، فشار مضاعفی بر زیرساخت‌های شهری وارد کرده و احتمال بروز مشکلات سلامت مرتبط با موج گرما، از جمله گرمازدگی، بیماری‌های تنفسی و قلبی را افزایش می‌دهد (۱۹). با توجه به روند افزایشی موج‌های گرمایی و دمای بالای منطقه، مدیریت بهینه این تجمعات بزرگ انسانی برای کاهش پیامدهای ناگوار موج گرما و بحران‌های اقلیمی از اولویت‌های مهم سیاست‌گذاران و نهادهای مرتبط در کربلا محسوب می‌شود (۲۰).

شهر کربلا به دلیل شرایط جغرافیایی، اقلیم گرم و خشک، تراکم جمعیتی بالا در برخی بازه‌های زمانی (به‌ویژه در ایام زیارتی) و زیرساخت‌های محدود در برابر گرما، به‌طور بالقوه در معرض پیامدهای جدی ناشی از امواج گرمایی قرار دارد. شناخت مشخصه‌های موج‌های گرما و تحلیل شاخص‌های دمایی در دوره بلندمدت می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای طراحی برنامه‌های مداخله‌ای، هشدار زودهنگام و سیاست‌گذاری‌های سازگار با سلامت محیطی فراهم آورد. از این رو، هدف از این مطالعه بررسی روند دمای هوا و شاخص‌های مرتبط با شدت و طول دوره‌های موج گرما در شهر کربلا طی دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ بود. انجام این مطالعه برای شناسایی الگوهای خطر و مستندسازی تغییرات اقلیمی در شهر کربلا، به‌ویژه در راستای کاهش آسیب‌پذیری‌های مرتبط با سلامت و ارتقای آمادگی نظام سلامت، ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان مطالعه

این مطالعه با هدف تحلیل روند و ویژگی‌های موج‌های گرما در کربلا طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ انجام شده است. کربلا با اقلیم گرم و خشک، در منطقه‌ای نیمه‌بیابانی در غرب عراق واقع شده و تابستان‌هایی با دمای بالای ۴۰ درجه دارد. با جمعیت ثابت ۱/۵ میلیون نفر، این شهر یکی از مهم‌ترین مقاصد زیارتی شیعیان و سالانه پذیرای میلیون‌ها زائر است.

داده ها

داده‌های روزانه هواشناسی شامل دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای متوسط از پایگاه (Global Surface Summary of the Day) GSOD اخذ شد. این داده‌ها بر اساس سنجش‌های زمینی ایستگاه هواشناسی فرودگاه کربلا (WBAN: 406560-99999) گردآوری شده و توسط سازمان اقیانوسی و جوی ملی ایالات متحده آمریکا (NOAA) پیش‌پردازش و داده‌های پوچ حذف شده‌اند. در این مطالعه، دوره مرجع اقلیمی (۲۰۰۸-۱۹۹۰) به‌عنوان مبنای محاسبات شاخص‌ها در نظر گرفته شد. رویه‌های کنترل کیفیت داده شامل بررسی تداوم زمانی، محاسبه درصد تکمیل داده ها در هر سال و جایگزینی داده های مفقود بود. جایگزینی داده های مفقود تنها زمانی انجام شد که داده های مربوط به یک روز بین دو روز دیگر با داده معلوم، موجود نبود. در این حالت، میانگین روز قبل و روز بعد، به عنوان مقدار آن متغیر در روز با داده نامعلوم قرار داده شد. به دلیل اینکه برخی سال ها دارای داده های محدودی بودند، معیار درصد تکمیل داده ۷۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت و تنها سال هایی وارد مطالعه شدند که حداقل ۷۵ درصد از داده های روزانه در آنها موجود بود.

موج گرما

برای شناسایی دقیق موج های گرما از روش عامل گرمای اضافی (EHF) استفاده شد. این روش با تمرکز بر شدت و مدت گرمای شدید، میانگین سه‌روزه دمای حداکثر را با مقادیر مرجع اقلیمی مقایسه کرده و با عامل سازگاری تنظیم می‌کند. حاصل این محاسبه، مقدار EHF است که نشان‌دهنده دوره‌هایی با دمای فراتر از نرمال و وقوع موج گرما می‌باشد. فرمول محاسبه EHF به شرح زیر است (۲۱):

$$EHIa \times EHIs = EHF \qquad (1)$$

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

که در آن EHIs اختلاف دمای متوسط سه روز اخیر نسبت به دمای میانگین دوره مرجع و EHIa اختلاف دمای روز جاری نسبت به میانگین سه روز اخیر است. دوره مرجع برای محاسبات EHF، ۱۹ ساله (۲۰۰۸-۱۹۹۰) و مبتنی بر داده‌های محلی شهر کربلا در فصل تابستان تعیین شد. آستانه آماری برای تشخیص موج گرما، صدک ۹۰ دمای دوره مرجع در نظر گرفته شد و برای شرایط محلی کربلا تطبیق داده شد. با این تعریف، مقدار EHF مثبت نشان‌دهنده دوره‌هایی با دمای فراتر از نرمال و وقوع موج گرما است، در حالی که مقادیر نزدیک به صفر یا منفی بیانگر شرایط دمایی عادی می‌باشند.

در این مطالعه، بر اساس مقادیر EHF، پنج شاخص اصلی برای ارزیابی موج‌های گرما مورد استفاده قرار گرفت:

تعداد موج‌های گرما (HWN): تعداد دوره‌هایی که شاخص EHF حداقل به مدت دو روز مثبت باشد.

فراوانی موج گرما (HWF): تعداد کل روزهای موج گرما در یک سال.

طول مدت موج گرما (HWD): تعداد روزهای طولانی ترین موج گرما، یا به عبارتی طولانی ترین دوره ای که شاخص EHF در طول یک سال مثبت بوده است.

شدت موج گرما (HWM): میانگین دمای موج های گرما در یک سال (بر حسب °C)

بزرگای موج گرما (HWA): بالاترین حداکثر مشاهده شده در طول گرم ترین موج گرما (بر حسب °C)

آنالیزهای آماری

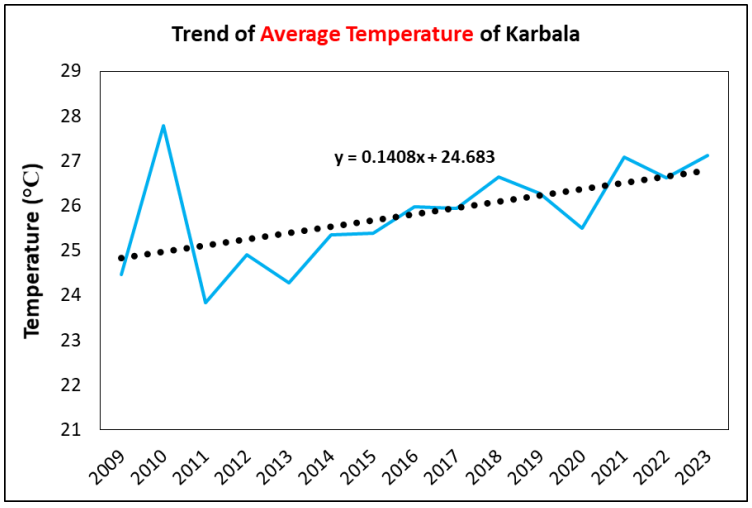
روند کاهشی یا افزایشی مقادیر دمای میانگین، دمای حداقل و دمای حداکثر با استفاده از رگرسیون خطی انجام گرفت و شیب روند محاسبه شد. همچنین، روند هر کدام از شاخص های موج گرما از جمله تعداد موج گرما، فراوانی موج گرما، شدت موج گرما، دامنه (بزرگای) موج گرما و مدت زمان طولانی ترین موج گرما نیز با استفاده از رگرسیون خطی تعیین و گزارش شد.

آنالیزهای آماری در نرم افزار اکسل (Microsoft Office 2016, Microsoft, US.) و محاسبات موج گرما با استفاده از زبان برنامه نویسی Python انجام گرفت.

یافته‌ها

روند تغییرات میانگین دمای سالانه

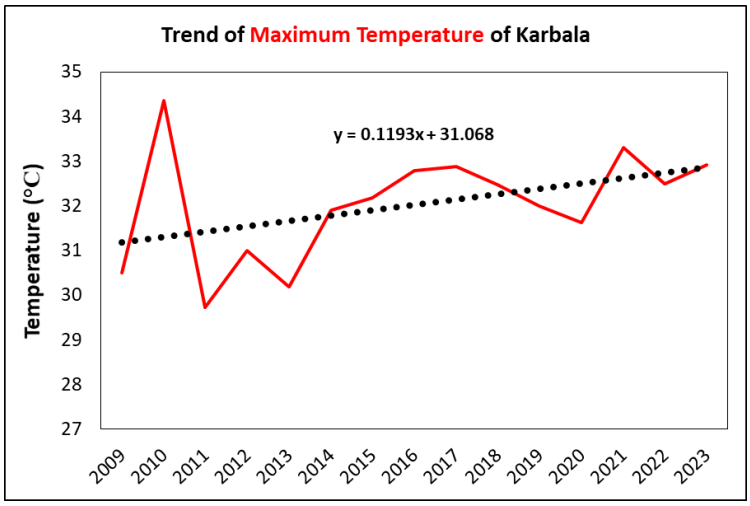
تحلیل داده‌های دمایی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ نشان داد میانگین دمای سالانه کربلا روندی افزایشی دارد؛ از حدود ۲۴/۵ به ۲۷ °C. مدل رگرسیون خطی با شیب ۰/۱۴ نشان می‌دهد که میانگین دما سالانه به‌طور متوسط ۰/۱۴ °C افزایش یافته است (نمودار ۱).



نمودار ۱- روند تغییرات میانگین دمای سالانه در کربلا (۲۰۲۴-۲۰۰۹)

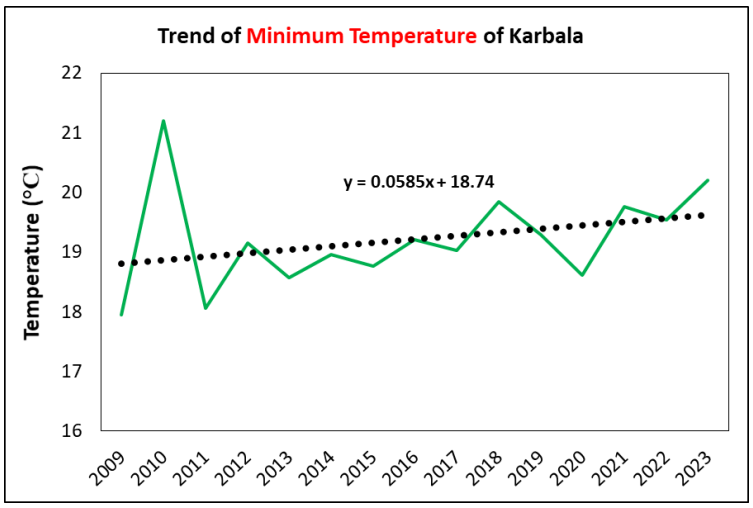
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

تحلیل دمایی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ نشان‌دهنده روند افزایشی در حداکثر دمای سالانه کربلا است؛ از حدود ۳۰/۵ به ۳۳ °C. شیب خط رگرسیون برابر ۰/۱۲ بوده که نشان می‌دهد حداکثر دما سالانه به‌طور متوسط هر سال ۰/۱۲ درجه افزایش یافته است (نمودار ۲).



نمودار ۲- روند تغییرات حداکثر دمای سالانه در کربلا (۲۰۲۴-۲۰۰۹)

تحلیل داده‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد حداقل دمای سالانه کربلا روندی افزایشی دارد؛ از حدود ۱۸ به ۲۰ °C. شیب خط رگرسیون برابر ۰/۰۶ است، به‌معنای آن‌که حداقل دما به‌طور متوسط هر سال ۰/۰۶ °C افزایش یافته است (نمودار ۳).

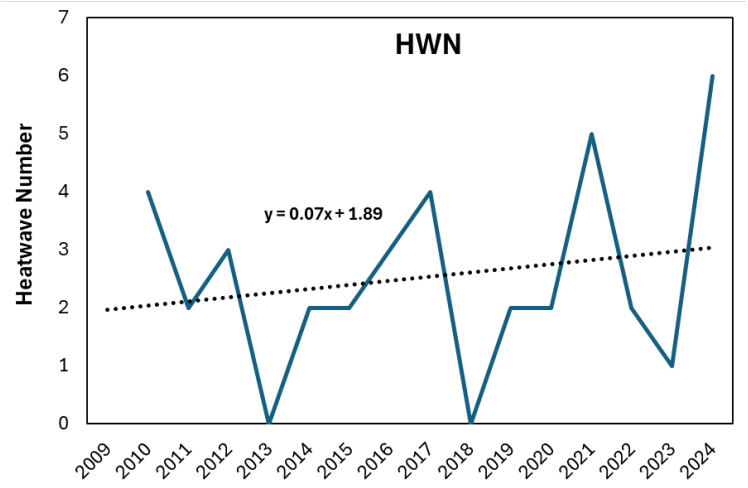


نمودار ۳- روند تغییرات حداقل دمای سالانه در کربلا (۲۰۲۴-۲۰۰۹)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

تعداد امواج گرما

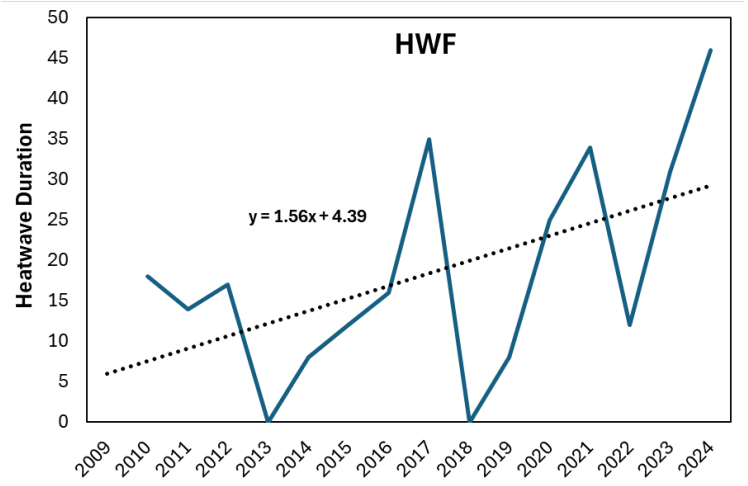
بررسی تعداد امواج گرما در شهر کربلا طی دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ نشان‌دهنده افزایش در تعداد وقوع این پدیده است. همان‌طور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، روند تعداد امواج گرما در سال‌های اخیر شیب صعودی داشته و این روند بیانگر افزایش فراوانی وقوع دوره‌های ممتد گرمای شدید می‌باشد.



نمودار ۴- تعداد امواج گرما در شهر کربلا طی دوره مطالعه

فراوانی موج گرما

فراوانی موج گرما به معنی تعداد روزهای موج گرما در یک سال است. همان‌طور که در نمودار ۵ نشان داده شده است، تعداد روزهای تحت تأثیر موج گرما در کربلا طی دوره مورد بررسی روندی افزایشی داشته و از کمتر از ۲۰ روز در سال‌های ابتدایی به بیش از ۴۰ روز در برخی سال‌ها افزایش یافته است. شیب ۱/۵۶ نشان می‌دهد که در هر سال، به‌طور متوسط حدود ۱/۵۶ روز به مدت مواجهه با امواج گرما افزوده شده است.

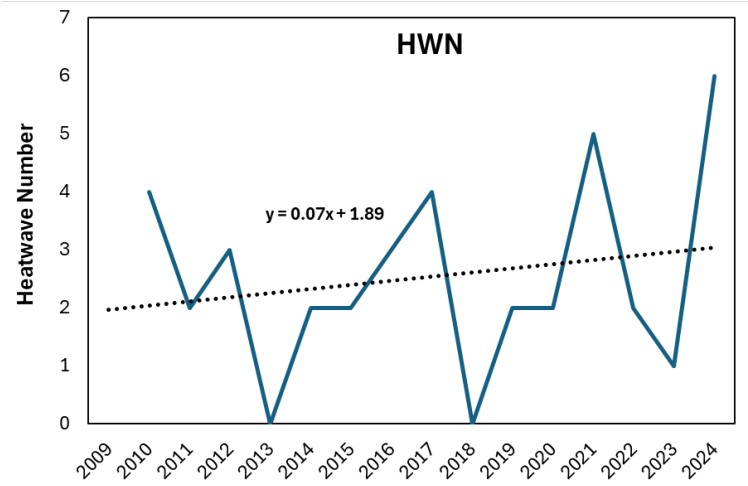


نمودار ۵- تعداد کل روزهای امواج گرما در سال در شهر کربلا طی دوره مطالعه

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

مدت زمان طولانی ترین موج گرما

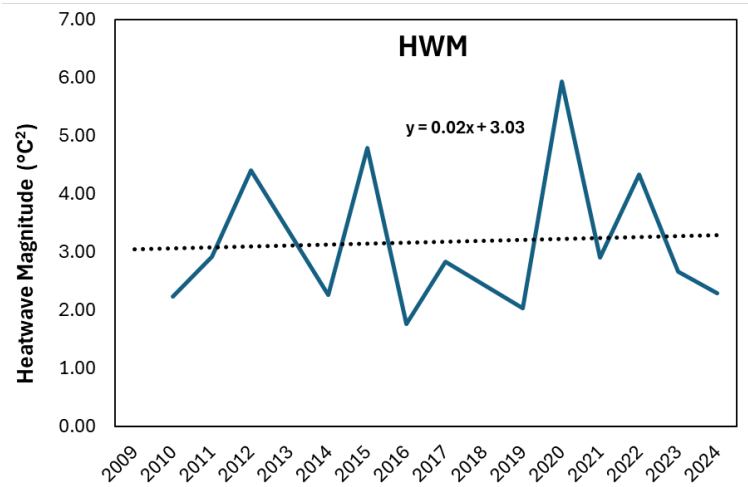
همانطور که در نمودار ۶ مشاهده می شود، تحلیل داده‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ نشان داد مدت زمان طولانی‌ترین موج گرمای سالانه روندی افزایشی دارد؛ از ۴ روز به ۳۱ روز. مدل رگرسیون نیز این افزایش را تأیید می‌کند؛ به‌طوری‌که سالانه به‌طور متوسط ۱ روز به مدت زمان طولانی ترین موج گرما افزوده شده است.



نمودار ۶- مدت زمان طولانی ترین موج گرما در هر سال در شهر کربلا طی دوره مطالعه

شدت امواج گرما

همانطور که در نمودار ۷ نشان داده شده است در شهر کربلا، شدت امواج گرما از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ روندی افزایشی و پایدار داشته است. شیب ۰/۰۲ در سال نشان‌دهنده افزایش تدریجی شدت گرما با نوسانات محدود طی این دوره است.

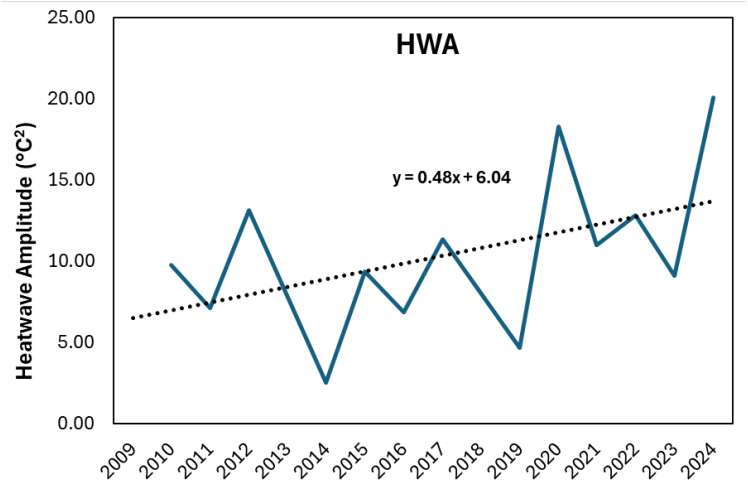


نمودار ۷- شدت موج گرما در هر سال در شهر کربلا طی دوره مطالعه

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

دامنه (بزرگای) موج گرما

بررسی روند شاخص دامنه موج گرما در شهر کربلا طی بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ (نمودار ۸) نشان‌دهنده یک روند افزایشی در شدت گرم ترین روز موج گرما است، بدین معنی که دمای گرم ترین روزهای موج گرما در طی دوره مطالعه به طور دائم در حال افزایش بوده است، این افزایش به ازای هر سال معادل ۰/۴۸ °C بوده است.



نمودار ۸- دامنه (بزرگای) موج گرما در هر سال در شهر کربلا طی دوره مطالعه

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در طول ۱۵ سال گذشته، میانگین دمای سالانه کربلا با نرخ ۰/۱۴ درجه در سال افزایش یافته و دماهای حداقل و حداکثر نیز به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۱۲ درجه رشد داشته‌اند. این نتایج نشان‌دهنده تقویت روند گرمایش پس‌زمینه در این شهر طی ۱۵ سال گذشته است و با شواهد موجود درباره تشدید دماهای حدی در عراق همخوانی دارد. نتایج مطالعه Salman و همکاران نشان می‌دهد که شاخص‌های افراط دمایی، از جمله افزایش تعداد روزهای بسیار گرم و شب‌های گرم، در بسیاری از ایستگاه‌های عراق روندی افزایشی داشته‌اند که حاکی از جابه‌جایی توزیع دما به سمت مقادیر بالاتر و طولانی‌تر شدن دوره‌های گرمای شدید است (۲۲). همچنین، ارزیابی‌های ریسک اقلیمی برای عراق بر افزایش دما، تشدید فراوانی و شدت موج‌های گرما و افزایش استرس حرارتی جمعیت شهری تأکید کرده‌اند؛ به‌ویژه در مناطقی که ترکیب گرما، تراکم جمعیت و فعالیت‌های انسانی بالا است (۲۳). در چنین زمینه‌ای، افزایش دماهای حداقل در کربلا می‌تواند به کاهش فرصت خنک شدن شبانه و افزایش بار حرارتی مزمن، به‌خصوص برای گروه‌های آسیب‌پذیر، منجر شود و رشد دماهای حداکثر نیز خطر مواجهه زائران و ساکنان با شرایط گرمای شدید و طولانی مدت را برجسته می‌کند. گزارش‌های جهانی تأکید دارند که منطقه خاورمیانه یکی از مناطقی است که بیش از میانگین جهانی با افزایش دما روبه‌رو شده است (۲۴). علت افزایش دما در کربلا را می‌توان به عواملی چون افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییر الگوهای فشار هوا، توسعه شهری فاقد برنامه‌ریزی تاب‌آور، کاهش پوشش گیاهی و گسترش سطوح جذب‌کننده حرارت نسبت داد (۲۱-۲۳).

از سوی دیگر، دمای حداقل که معمولاً در ساعات شبانه رخ

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

می‌دهد، در طول سال‌های اخیر افزایش معناداری یافته است. این افزایش نشان‌دهنده کاهش فرصت‌های بازیابی حرارتی بدن در شب است. زمانی‌که دمای شبانه به اندازه کافی کاهش نیابد، بدن انسان از بازسازی دمای پایه‌ای محروم می‌شود و فشار تجمعی ناشی از گرما در روزهای پیاپی افزایش می‌یابد (۲۵). مطالعات متعدد بر اهمیت دمای حداقل در تعیین پیامدهای سلامت‌محور تأکید کرده‌اند، به‌ویژه برای سالمندان، افراد با بیماری‌های مزمن، و کسانی که در محیط‌های فاقد تهویه مطبوع زندگی می‌کنند (۴). افزایش هم‌زمان در دمای حداکثر و حداقل، موجب کاهش دامنه دمای شبانه روزی (DTR) می‌شود، که خود به‌تنهایی شاخصی از پایداری گرمایی محیط و کاهش ظرفیت تطابق فیزیولوژیکی بدن است (۲۵). چنین روندی در اقلیم گرم و خشک کربلا، زنگ خطری جدی برای مدیران شهری و برنامه‌ریزان سلامت است. افزایش دمای حداکثر، نشانه تشدید گرمایش روزانه و تهدیدی فوری برای سلامت افراد در فضاهای باز است؛ در حالی‌که افزایش دمای حداقل، بیانگر فشار حرارتی مداوم، اختلال در خواب و کاهش توان تطبیق فیزیولوژیکی بدن می‌باشد. اجرای اقداماتی مانند گسترش فضای سبز، استفاده از سقف‌های بازتابنده و بهبود تهویه مطبوع می‌تواند در کاهش این اثرات مؤثر باشد (۷، ۲۶). افزایش دما و تشدید گرما می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی برای سلامت عمومی به‌همراه داشته باشد و مطالعات اپیدمیولوژیک متعدد در سطح جهان ارتباط معناداری بین دماهای بالا و افزایش مرگ‌ومیر و بستری‌های بیمارستانی نشان داده‌اند (۲۷). این شواهد حاکی از آن است که نه‌تنها مرگ ناشی از گرمازدگی و بیماری‌های حاد مرتبط با گرما افزایش می‌یابد، بلکه بروز و تشدید بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی، دیابت و بیماری‌های کلیوی نیز در دوره‌های گرمای شدید بیشتر می‌شود، به‌ویژه در میان سالمندان، کودکان، افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن و گروه‌های آسیب پذیر (۲۸). علاوه بر این مطالعات بار جهانی بیماری‌ها و گزارش‌های «Countdown on Health and Climate Change» نشان داده‌اند که با افزایش فراوانی و شدت دماهای غیربهینه، شاخص‌های قرارگیری جمعیت در معرض استرس حرارتی به‌طور مداوم رو به افزایش است و این وضعیت می‌تواند به کاهش توان کاری، افزایش خطر حوادث شغلی، اختلال در خواب، تشدید مشکلات سلامت روان و در بلندمدت، فشار مضاعف بر سیستم‌های بهداشتی و اورژانسی منجر شود (۲۹). مطالعه ۲۰۲۴ سازمان جهانی بهداشت نشان می‌دهد دماهای بالای شبانه، بازیابی فیزیولوژیکی بدن را مختل کرده و خطر بیماری‌های قلبی-ریوی را افزایش می‌دهد (۴). از منظر سلامت، حتی افزایش‌های نه‌چندان بزرگ دما؛ مثلاً ۱ درجه، می‌توانند منجر به افزایش ۱/۷ درصد در مرگ‌ومیر مرتبط با گرما شوند (۲۷). همچنین ثابت شده است که نوسان محدود دمای شبانه با افزایش اختلالات مزمن قلبی و راندمان پایین خواب و انرژی انسان همراه است (۳۰). بنابراین، این افزایش دما در شهر کربلا نه تنها جنبه اقلیمی دارند، بلکه پیامدهای قابل‌توجهی برای سلامت عمومی، سیستم‌های درمانی و زیرساخت‌ها در آینده نزدیک دارند. این اثرات باید در مطالعات آینده مورد بررسی دقیق قرار گیرند.

سه شاخص HWN، HWF و HWD به عنوان شاخص‌هایی هستند که بر تعداد و طول مدت امواج گرما متمرکز هستند. در این مطالعه، هر سه شاخص مذکور دارای روند افزایشی بودند. افزایش تعداد امواج گرما، فراوانی روزهای تحت تأثیر موج گرما و طولانی‌تر شدن طولانی‌ترین موج گرما در شهر کربلا، همگی نشان‌دهنده تغییر جدی در پویایی استرس حرارتی در این منطقه طی دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ است. از یک‌سو، روند صعودی تعداد امواج گرما و دو برابر شدن تقریبی روزهای در معرض موج گرما (از کمتر از ۲۰ روز به بیش از ۴۰ روز در برخی سال‌ها) بیان می‌کند که جمعیت نه‌تنها بیشتر، بلکه برای مدت طولانی‌تری در معرض شرایط گرمای شدید قرار می‌گیرد؛ شیب ۱/۵۶ روز در سال برای مدت مواجهه نیز حاکی از آن است که این افزایش یک نوسان موقت نیست، بلکه روندی پایدار و افزایشی است. از سوی دیگر، افزایش مدت زمان طولانی‌ترین

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

موج گرما از ۴ روز به ۳۱ روز و میانگین افزایش حدود ۱ روز در سال، نشان می‌دهد که این رویدادها می‌توانند اثرات تجمعی بر سلامت، عملکرد سیستم‌های حیاتی شهر و زیرساخت‌های خدماتی داشته باشند. چنین الگویی، که هم شامل افزایش «تعداد» رویدادها و هم «طول مدت» آنهاست، با یافته‌های مطالعات بین‌المللی درباره تغییر اقلیم و تشدید امواج گرما سازگار است؛ به‌طوری‌که در بسیاری از مناطق گرم و خشک دنیا گزارش شده است که با افزایش خط پایه دما، امواج گرما بیشتر، شدیدتر و طولانی‌تر می‌شوند و بار بیماری و مرگ‌ومیر مرتبط با گرما در گروه‌های حساس به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد (۳۱، ۳۲). به طور مثال، در یک مطالعه در کشورهای آسیای میانه، تعداد امواج گرما در طی سال های گذشته و همچنین سال های آینده افزایشی گزارش شد (۳۳).

در خصوص تعداد و مدت امواج گرما، مطالعات اپیدمیولوژیک مختلف، از جمله تحقیقات Wang، نشان داده‌اند که افزایش تعداد و مدت امواج گرما با افزایش بستری‌های کوتاه مدت ناشی از خستگی حرارتی، اختلالات کلیوی، بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی همراه است (۳۴). همچنین، مطالعات WHO در سال ۲۰۲۴ تأکید کرده‌اند که روزهای طولانی گرما به ویژه بر افراد آسیب‌پذیر مانند سالمندان و بیماران مزمن تأثیر مستقیم بر افزایش مرگ‌ومیر دارد (۳۵). از منظر برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران، رشد مستمر امواج گرما ضرورت توسعه سامانه‌های هشدار زودهنگام، افزایش دسترسی به فضاهای خنک‌کننده و تقویت زیرساخت‌های خدمات اضطراری را برجسته می‌کند (۳۶, ۳۷). علاوه بر این، فشار مضاعف ناشی از امواج گرما بر زیرساخت‌های انرژی و خدمات بهداشتی می‌تواند چالش‌های جدی در مدیریت ریسک‌های شهری ایجاد کند که نیازمند سیاست‌های جامع و مبتنی بر داده‌های علمی است (۳۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص های HWA و HWM در طول سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ روندی افزایشی داشته‌اند. این شاخص ها بیانگر شدت گرما در طول امواج گرما هستند. این نتایج نشان می دهد که تغییرات اقلیمی در این شهر فقط به افزایش تعداد و مدت امواج گرما محدود نیست، بلکه کیفیت این رویدادها نیز به سمت شرایط شدیدتر و خطرناک‌تر تغییر داده است. شیب ۰/۰۲ برای شدت موج گرما در سال، در کنار افزایش حدود ۰/۴۸ °C در دمای گرم‌ترین روز موج در هر سال، حاکی از آن است که حداکثر استرس حرارتی تحمیل شده بر جمعیت در هر رویداد به‌صورت تدریجی اما مداوم در حال افزایش است؛ الگویی که با یافته‌های مطالعات اقلیمی در عراق و منطقه خاورمیانه مبنی بر تشدید دماهای حدی و افزایش فراوانی روزهای بسیار گرم همخوانی دارد (۸، ۲۲). در مطالعات دیگر در منطقه مدیترانه شرقی و شمال آفریقا (MENA) نیز نشان داده شده است که شهرهای بزرگ خاورمیانه، به‌ویژه در نواحی داخلی و خشک، با افزایش هم‌زمان تعداد، مدت و شدت امواج گرما روبه‌رو هستند و انتظار می‌رود تا پایان قرن، سهم چشمگیری از روزهای فصل گرم در بسیاری از این شهرها تحت شرایط موج گرما سپری شود (۳۹). این نوع تشدید در پیک دما، در کنار تداوم بیشتر امواج گرما، می‌تواند به افزایش چشمگیر خطر پیامدهای حاد سلامتی، از جمله گرمازدگی، نارسایی حاد قلبی و کلیوی و تشدید بیماری‌های مزمن، به‌ویژه در میان سالمندان، بیماران قلبی–عروقی و افرادی که در محیط‌های روباز فعالیت می‌کنند، منجر شود (۲۸). مطالعات چندکشوری نشان داده‌اند که حتی افزایش‌های نسبتاً کوچک در دما در محدوده‌های بالای توزیع دما، با افزایش قابل‌توجهی در مرگ‌ومیر و بستری‌های بیمارستانی همراه است و این اثر در دوره‌های موج گرمای شدید و چندروزه تشدید می‌شود (۲۹). روند افزایشی شدت و دامنه امواج گرما زنگ خطری جدی برای نظام سلامت و مدیریت شهری محسوب می‌شود و ضرورت تدوین پروتکل‌های خاص برای هشدار زودرس، تعدیل زمان و شیوه برگزاری مراسم در روزهای اوج گرما، افزایش دسترسی به فضاهای خنک و ارتقای آگاهی زائران و ساکنان درباره رفتارهای محافظتی در برابر گرما را برجسته می‌کند (۴۰، ۴۱). این مطالعه با استفاده از داده‌های روزانه دما و شاخص عامل

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

اضافی گرما (EHF)، روند افزایشی دما و ویژگی‌های امواج گرما را در شهر کربلا طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۴ بررسی کرد. از نقاط قوت این مطالعه می‌توان به استفاده از شاخص EHF که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مرجع و سازگاری جمعیت، شناسایی دقیق‌تر امواج گرما را ممکن می‌سازد و همچنین بررسی جامع روند تغییرات دمایی و شاخص‌های موج گرما در یک بازه زمانی نسبتاً بلندمدت اشاره کرد. این رویکرد می‌تواند برای برنامه‌ریزی سلامت عمومی و مدیریت ریسک گرما در شهرهای زیارتی و پرجمعیت بسیار مفید باشد. با این حال، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد؛ به‌عنوان مثال، مطالعه بیشتر بر داده‌های هواشناسی متمرکز شده و ارتباط مستقیم این یافته‌ها با پیامدهای سلامتی واقعی جمعیت کربلا به‌طور تفصیلی بررسی نشده است. همچنین، تأثیر عوامل دیگری مانند آلودگی هوا، تغییرات شهری و سایر عوامل محیطی بر شدت و پیامدهای امواج گرما نیز در این مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، برای درک کاملتر اثرات امواج گرما بر سلامت جمعیت، مطالعات آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های اپیدمیولوژیک و اجتماعی، این شکاف را پر کنند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با تحلیل روندهای دمایی و شاخص‌های موج گرما در کربلا طی سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۲۳ نشان داد که این شهر با افزایش معنادار دما و تشدید ویژگی‌های امواج گرما شامل تعداد، شدت، فراوانی و مدت زمان مواجه است. افزایش هم‌زمان دماهای حداقل و حداکثر، به‌ویژه در یک اقلیم گرم و خشک، نشان‌دهنده کاهش فرصت بازیابی حرارتی بدن و افزایش فشار تجمعی گرما بر ساکنان و میلیون‌ها زائر این شهر است. تشدید پدیده‌های حدی که با شاخص EHF نیز تأیید شد، بیانگر تغییرات اقلیمی قابل توجه و افزایش بار حرارتی بالقوه بر سلامت عمومی، زیرساخت‌های شهری و خدمات اضطراری است. یافته‌های این مطالعه ضرورت تقویت سامانه‌های هشدار زودهنگام، توسعه فضاهای خنک‌کننده و سایه‌بان‌ها، افزایش پوشش گیاهی، اصلاح برنامه‌ریزی شهری و ارتقای آموزش‌های مرتبط با محافظت در برابر گرما را نمایان می‌کند. با توجه به نقش کربلا در میزبانی تجمعات بزرگ انسانی، توجه فوری سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان به راهکارهای سازگاری و مدیریت ریسک گرما برای حفاظت از سلامت جمعیت و افزایش تاب‌آوری شهری حیاتی است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

همچنین این پژوهش پس از بررسی و تأیید در کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده و دارای کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1402.308 می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم پزشکی تهران برای حمایت از این مطالعه تشکر می کنند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

References

1. Mendez C, Simpson N, Johnson F, Birt A. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); 2023.

2. Hadei M, Yousefian F. Global air quality and climate change. In: Basile A, Saloglu D, Cassano A, editors. Air pollution, Air quality, and climate change. Netherlands: Elsevier; 2025. p. 175-97.

3. World Health Organization (WHO). Climate change and Health. Geneva, Switzerland: WHO; 2023 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health.

4. World Health Organization (WHO). Heat and health. Geneva, Switzerland: WHO; 2024 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health.

5. Faurie C, Varghese B, Liu J, Bi P. Association between high temperature and heatwaves with heat-related illnesses: A systematic review and meta-analysis. Science of the Total Environment. 2022;852:158332.

6. Xu Z, Fitz Gerald G, Guo Y, Jalaludin B, Tong S. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. Environment International. 2016;89-90:193-203.

7. European Environment Agency (EEA). The impacts of heat on health: surveillance and preparedness in Europe. Copenhagen, Denmark: EEA; 2024 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-impacts-of-heat-on-health.

8. Hadei M, Hopke PK, Aghababaeian H, Faridi S, Hasham Firooz M, Ostadtaghizadeh A. Association of heat and cold waves with cause-specific mortality in Iran: a systematic review and meta-analysis. Scientific Reports. 2024;14(1):23327.

9. Hosseinzadeh A, Aghababaeian H, Ostadtaghizadeh A, Hadei M, Yazdi F, Asgary A, et al. Pre hospital emergency medical dispatches following heat waves: A systematic review study and meta-analysis. Journal of Thermal Biology. 2025;129:104086.

10. Human Rights Watch (HRW). Iraq's climate crisis is a human rights crisis. New York: HRW; 2025 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.hrw.org/news/2025/03/27/iraqs-climate-crisis-human-rights-crisis.

11. Planetary Health Alliance. Iraq's environmental awakening. Washington, DC: Planetary Health Alliance, Johns Hopkins University; 2025 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://planetaryhealthalliance.org/news/iraqs-environmental-awakening/.

12. Red Cross Red Crescent Climate Centre (RCRCCC). Iraq Country Profile Hague. Netherlands: RCRCCC; 2024 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.climatecentre.org/wp-content/uploads/RCCC-Country-profiles-

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

Iraq_2024_final.pdf.

13. Hassan ZM, Al Jiboori MH, Al Abassi HM. Heat waves and health impact on human in Baghdad. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES). 2020;29(2):212-22.

14. Alabadla Z, Aljaff M, Aldashti H, Wahab M. Assessing past and future heat and cold waves over Iraq using CMIP6 model. Iraqi Journal of Science. 2024;65(8):4642-55.

15. Salman AS, Gamiz Fortis S, Castro Diez Y, Abu Hammad A, Esteban Parra MJ. Spatio-temporal analysis for extreme temperature indices over the Levant region. International Journal of Climatology. 2019;39(15):1-27.

16. Teyton A, Bailey J, Luo E, Ajaj R, Raymond C, Tuholske C, et al. Overheated and understudied: A scoping review of heat-related health impacts in the Arabian Peninsula. Geohealth. 2025;9(7):e2024GH001277.

17. Peyravi M, Ahmadi Marzaleh M, Najafi H. An overview of health-related challenges in a mass gathering. Trauma Monthly. 2020;25(2):78-82.

18. Karami M, Doosti Irani A, Ardalan A, Gohari Ensaf F, Berangi Z, Massad E, et al. Public health threats in mass gatherings: A systematic review. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 2019;13(5-6):1-12.

19. Abdulredha M, Kot P, Alkhaddar R, Jordan D, Abdulridha A. Investigating municipal solid waste management system performance during the Arba'een event in the city of Kerbala, Iraq. Environment, Development and Sustainability. 2020;22:1431–54.

20. World Health Organization (WHO). Managing health risks during mass gatherings. Geneva, Switzerland: WHO; 2022 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.who.int/activities/managing-health-risks-during-mass-gatherings.

21. Nairn J, Fawcett R. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014;12(1):227-53.

22. Salman SA, Shahid S, Ismail T, Chung ES, Al Abadi AM. Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq. Atmospheric Research. 2017;198:97-107.

23. Binder L, Sedova B, Ruttinger L, Tomalka J, Gleixner S, Hauf Y, et al. Climate Risk Profile Iraq. Berlin: Weathering Risk; 2022.

24. Malik A, Stenchikov G, Mostamandi S, Parajuli S, Lelieveld J, Zittis G, et al. Accelerated historical and future warming in the Middle East and North Africa. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2024;129:1-31.

25. Kan H, London SJ, Chen H, Song G, Chen G, Jiang L, et al. Diurnal temperature range and daily mortality in Shanghai, China. Environmental Research. 2007;103(3):424-31.

26. Kovats R, Kristie L. Heatwaves and public health in Europe. European Journal of Public Health. 2006;16(6):592-99.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

27. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. The Lancet. 2015;386(9991):369-75.

28. Hajat S, Kosatky T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. Journal of Epidemiology and Community Health. 2010;64(9):753-60.

29. Romanello M, Mc Gushin A, Di Napoli C, Drummond P, Hughes N, Jamart L, et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. The Lancet. 2021;398(10311):1619-62.

30. Van Loenhout JAF, Delbiso TD, Kiriliouk A, Rodriguez Llanes JM, Segers J, Guha Sapir D. Heat and emergency room admissions in the Netherlands. BMC Public Health. 2018;18(1):1-9.

31. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. The Lancet. 2015;386(9991):369-75.

32. Mora C, Dousset B, Caldwell IR, Powell FE, Geronimo RC, Bielecki Coral R, et al. Global risk of deadly heat. Nature Climate Change. 2017;7(7):501-6.

33. Broomandi P, Bagheri M, Fard AM, Hadei M, Abdoli M, Roshani A, et al. The escalating threat of heatwaves in Central Asia: Climate change impacts and public health risks. Global Challenges.9(12):e00401.

34. Wang F, Wang W, Zhang F, Peng S, Wang H, Chen R, et al. Heat exposure and hospitalizations for chronic kidney disease in China: a nationwide time series study in 261 major Chinese cities. Military Medical Research. 2023;10(1):1-10.

35. World Health Organization (WHO). Heatwaves and health: guidance on warning-system development. Geneva, Switzerland: WHO; 2022 [cited 2026 Feb 24]. Available from: https://www.who.int/publications/m/item/heatwaves-and-health--guidance-on-warning-system-development.

36. Lowe D, Ebi K, Forsberg B. Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2011;8(12):4623-48.

37. Vicedo Cabrera AM, Scovronick N, Sera F, Roye D, Schneider R, Tobias A, et al. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. Nature Climate Change. 2021;11(6):492-500.

38. Sheridan SC, Dixon PG, Kalkstein AJ, Allen MJ. Recent trends in heat-related mortality in the United States: an update through 2018. Weather, Climate, and Society. 2021;13(1):95-106.

39. Varela R, RodrIguez DIaz L, De Castro M. Persistent heat waves projected for Middle East and North Africa by the end of the 21st century. PLOS ONE. 2020;15(11):e0242477.

40. Hess JJ, Errett NA, Mc Gregor G, Busch Isaksen T, Wettstein ZS, Wheat SK, et al. Public health preparedness for extreme heat events. Annual

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

Review of Public Health. 2023;44(1):301-21.

41. Fallah Ghalhari G, Esmaili R, Shakeri F. Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):233-246 (in Persian).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Analysis of heatwave characteristics and temperature indices in Karbala city during the years 2009 to 2024

Masoumeh Gharaee[1,2], Fatemeh Chaparinia[3], Mostafa Hadei[2,3,*]

1- Department of Health in Emergencies and Disasters, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Climate Change and Health Research Center (CCHRC), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 15 February 2026
Revised: 28 April 2026
Accepted: 4 May 2026
Published: 16 June 2026

Keywords: Climate change, Global warming, Heat waves, Average temperature, Minimum temperature

***Corresponding Author:**
mostafa.hadei@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Karbala, as one of the world's largest religious destinations hosting millions of pilgrims annually, is highly vulnerable to extreme heat events. Understanding temperature dynamics and heat-wave characteristics is essential for anticipating climatic risks and protecting public health during mass gatherings. This study aimed to analyze long-term trends in average, minimum, and maximum temperatures and to assess the frequency, duration, and intensity of heat waves in Karbala from 2009 to 2024.

Materials and Methods: Daily meteorological data—including maximum, minimum, and mean temperatures—were obtained from the GSOD database. Heat-wave events were identified using the Excess Heat Factor (EHF) index, which incorporates both climatic baselines and population acclimatization. Five indicators (HWN, HWF, HWD, HWM, HWA) were calculated to characterize heat-wave behavior. Linear regression was applied to evaluate temporal trends in temperature and heat-wave metrics.

Results: The findings revealed significant increases in annual mean, minimum, and maximum temperatures over the study period. Heat-wave activity intensified, with the number of events and total heat-wave days rising from fewer than 20 days in early years to more than 40 days in several recent years. The longest heat wave extended up to 31 days, and both the intensity and magnitude of heat waves showed an upward trend. These patterns indicate substantial escalation in heat stress conditions consistent with regional warming in the Middle East.

Conclusion: Karbala has experienced clear and concerning increases in temperature and heat-wave severity between 2009 and 2024. The intensification of heat-wave frequency, duration, and intensity underscores growing climatic risks—particularly for pilgrims and vulnerable populations during mass gatherings. Strengthening early warning systems, improving cooling infrastructure, increasing green spaces, and implementing heat-health preparedness measures are essential for enhancing resilience and reducing heat-related health impacts in this climate-sensitive city.

Please cite this article as: Gharaee M, Chaparinia F, Hadei M. Analysis of heatwave characteristics and temperature indices in Karbala city during the years 2009 to 2024. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):71-86.

Copyright © 2026 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]