

تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه‌ی شمال غرب ایران و ارتباط آنها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمای کره‌ی زمین

دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۶ پذیرش نهایی: ۹۷/۲/۱۷

صفحات: ۳۵-۵۶

داریوش حاتمی زرنه: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: dhatami68@yahoo.com

زهرا حجازی زاده: استاد گروه اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: hedjazizadeh@yahoo.com

محمدحسین ناصرزاده: استادیار گروه اقلیم شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: nasserzadeh2100@yahoo.com

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تغییرات رخ داده در فراوانی و شدت امواج گرمایی و همچنین ارتباط آنها با ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی‌ها و نیز گازهای گلخانه‌ای در منطقه‌ی شمال غرب ایران است. ابتدا داده‌های دمای بیشینه‌ی دومتري سطح زمین در بازه‌ی زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ به مدت ۱۶۴ سال از وبسایت ناسا اخذ گردید سپس نقشه‌ی امواج گرمایی ترسیم و استخراج شد. سپس به تحلیل و بررسی فراوانی وقوع و شدت امواج گرمایی و نیز تغییرات در روند نوسانات سالانه، بین دهه‌ای، پنجاه ساله‌ای و بین دهه‌ای آن‌ها پرداخته شد. جهت نیل به اهداف پژوهش از روش‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن، رگرسیون خطی و پلی‌نومیال و نیز آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده فراوانی وقوع امواج گرمایی در بازه‌ی زمانی مدنظر روندی افزایشی و معنادار داشته و بیشترین فراوانی رخداد امواج در دهه‌های اخیر بوده است. همچنین شدت امواج گرمایی با افزایش نسبتاً معنی‌دار همراه بوده و شدیدترین امواج گرما در دهه‌ی آخر قرن ۲۰ و اوایل قرن ۲۱ تا دوره‌ی حاضر بوقوع پیوسته است. نتایج مقادیر همبستگی نیز حاکی از آن بود که شدت و فراوانی رخداد امواج گرم با مقادیر ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس و خشکی همبستگی مثبت و معنی‌دار دارند. در بررسی ارتباط فراوانی وقوع و شدت امواج گرم با داده‌های ۴ گاز گلخانه‌ای اصلی شامل: (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆)، مشخص شد که جز یک مورد ارتباط معنادار گاز دی‌اکسید کربن با رخداد شدیدترین امواج گرمایی در ماه ژوئن، هیچ ارتباط معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. نتایج آزمون من-کندال بیانگر روند افزایشی و معنی‌دار در شدت و فراوانی وقوع امواج گرمایی منطقه‌ی شمال غرب ایران است.

کلید واژگان: فراوانی وقوع و شدت امواج گرم، گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی، شمال غرب ایران.

۱. نویسنده مسئول: تهران، خیابان مفتاح جنوبی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه اقلیم شناسی.

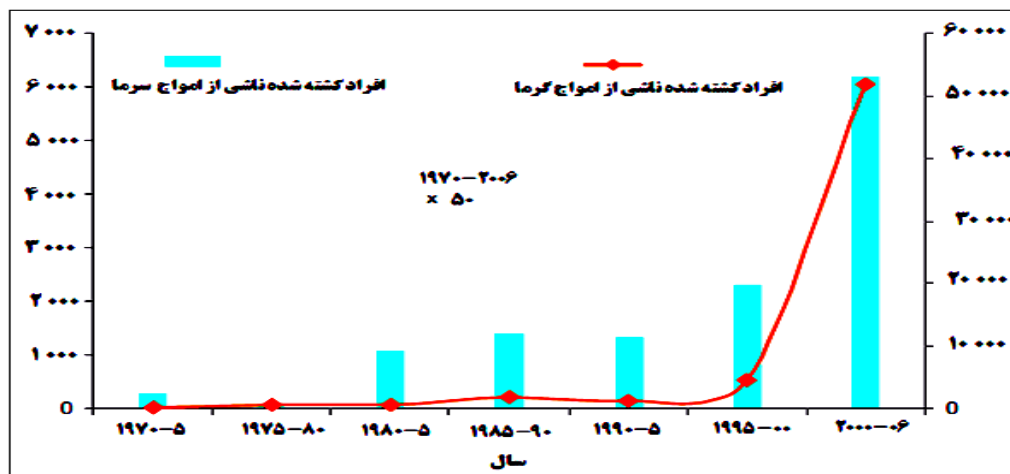
مقدمه

یافته‌های پژوهشگران علوم جوی نشان می‌دهد که تغییرات شدید رفتار سنجه‌های جوی به‌ویژه طی قرن بیستم و بیست‌ویکم بیانگر نشانه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم است. علاوه بر تغییرات در میانگین، مقادیر فرین نیز دست‌خوش تغییرات شده‌اند (دارند، ۱۳۹۳: ۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بین تغییرات دمای کره‌ی زمین و دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن ارتباط مستقیمی وجود دارد (IPCC, 2001: ۱۰۰۹). یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم و گرمایش جهانی افزایش بسامد رخداد پدیده‌های فرین اقلیمی چون امواج گرمایی و سرمای است. (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷). لذا روزهای گرم یکی از جلوه‌های فرین دمایی و یک ناهنجاری دمایی محسوب می‌شوند (عساکره و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۵). موج‌گرما که در منابع مختلف از افزایش فراوانی وقوع آن در سال‌های اخیر به عنوان یکی از تظاهرات ناشی از تغییر اقلیم در قالب فرین‌های آب‌وهوایی یاد شده است می‌تواند افزایش مرگ افراد در قالب فرین‌های آب‌وهوایی را در پی داشته باشد. مثلاً در سال ۲۰۰۳ در پاریس و سایر نقاط فرانسه یازده‌هزار نفر و در انگلیس دو هزار نفر به دلیل موج‌گرما و بروز عوارض قلبی جان خود را از دست داده‌اند (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۸۵).

در سال‌های اخیر همگام با تندشدن آهنگ افزایش دمای سیاره‌ی زمین، بر شدت، دوام و گسترش مکانی امواج گرمایی به‌ویژه در منطقه‌ی غرب آسیا افزوده شده است. امواج گرمایی می‌تواند اثرات زیانباری بر روی شرایط اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی، زیست‌محیطی، حوزه‌ی سلامت انسان و حتی سازه‌ها و تاسیسات داشته باشد (مک فارلن و والر، ۱۹۷۶: ۴۳۴؛ مارک پامادر و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴۸۳؛ کانفالونیری و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۹۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵۱؛ قویدل رحیمی، ۱۳۹۳: ۲۸۹). لذا می‌توان ادعا کرد که مخاطره‌ی موج‌گرما یکی از مخاطرات اقلیمی محسوب می‌شود که نتایج زیان‌بار آن از جنبه‌های مختلف قابل بررسی و تلفات جانی آن از خسارت‌های اقتصادی‌اش بسیار با اهمیت‌تر است. از نظر آماری امواج گرمایی به نوسانات مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دمای حداکثر روزانه اطلاق می‌شوند که در طی روزهای متوالی - که ممکن است هفته‌ها و حتی به ندرت ماه‌ها تداوم یابد- در فضاها جغرافیایی خاصی استمرار زمانی دارند. با توجه به تعاریف موجود، دو بعد فضایی و زمانی در وقوع یا عدم وقوع موج گرما اهمیت یافته‌اند و بیشتر جنبه‌ی نسبی دارند. این بدین معنی است که دمای بالای ۲۷ درجه‌ی سانتیگراد در انگلستان آستانه‌ی موج گرمایی محسوب می‌شود، اما در ایران این آستانه بسی بیشتر است و اینکه هر دمای بالای آستانه به صورت منفرد و یک روزه موج گرما نیست؛ بلکه موج گرما باید دو روز یا بیشتر استمرار زمانی داشته باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۳: ۲۸۹). در کشورهای مختلف آستانه‌های متفاوتی برای موج گرما توسط پژوهشگران معرفی شده است. برای نمونه در کشور چین در هر روز از سال هنگامی که دمای بیشینه بالای ۳۵ درجه سانتیگراد باشد موج گرما رخ داده است. در حالیکه در انگلستان آستانه‌های دمای کمینه و بیشینه از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر متفاوت است و شرط رخداد آن این است که بیش از دو روز (یک شب نیز در ضمن آن روی دهد) دوام داشته باشد (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷).

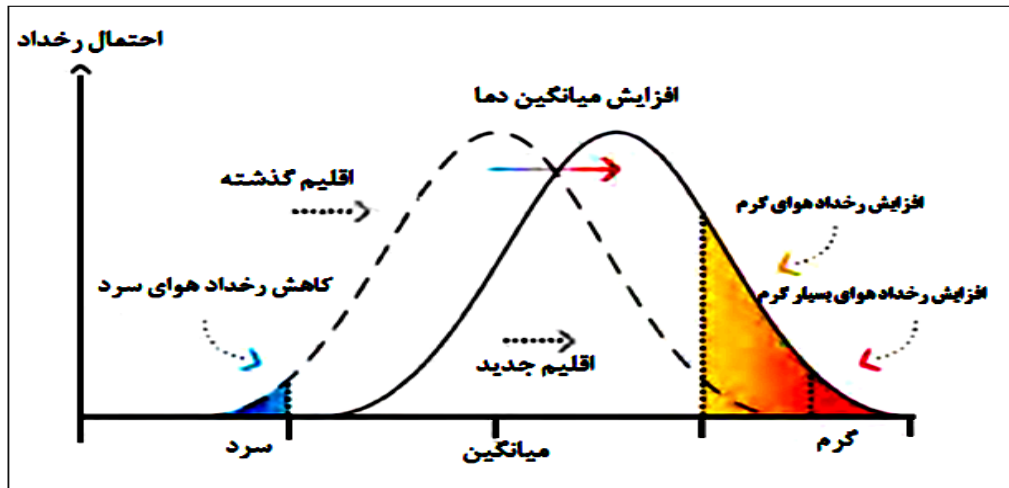
بر اساس مطالعات دانشمندان، امروزه دماهای شدید، یعنی هم امواج گرمایی و هم دوره‌های سرد، پنجاه برابر بیشتر از سی سال پیش موجب کشتار مردم می‌شوند. در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ تعداد ۵۲۰۰۰ نفر بر اثر

امواج گرمایی کشته شدند در حالی که در تمام طول دهه‌ی ۱۹۷۰ حدود ۸۰۰ نفر قربانی امواج گرمایی شدند شکل (۱). اگرچه خسارات و هزینه‌های انسانی امواج سرمایی به شدت امواج گرمایی نیست اما خسارات امواج- سرمایی هم در ۳۵ سال گذشته بیش از ۲۰ برابر شده، بگونه‌ای که از حدود ۳۰۰ کشته در دهه‌ی ۱۹۷۰ به حدود ۷۰۰۰ کشته در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ رسیده است (کارواخال، ۲۰۰۷: ۱۴).



شکل (۱). تعداد افراد کشته شده بر اثر امواج گرمایی و سرمایی از ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۶ (کارواخال به نقل از CRED-EM- DAT - ۲۰۰۷: ۱۵).

بر اساس گزارش‌های هیئت‌بین‌الدول تغییر اقلیم مشاهده‌ی فرکانس بالای امواج گرمایی به احتمال زیاد به دلیل تاثیر انسان بر سیستم آب‌وهوایی است (IPCC, 2007). با این اوصاف انتظار می‌رود که در آینده شدت امواج- گرمایی، فراوانی و مدت دوام آن افزایش یابد و رخدادهایی نظیر امواج گرمایی سال ۲۰۰۳ در اروپا، بسیار عادی جلوه کنند (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷ به نقل از استات و همکاران، ۲۰۰۴: ۶۱۴-۶۱۰؛ مهیل و همکاران ۲۰۰۷: ۷۴۹-۸۴۴؛ مهیل و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۷۷۰؛ بنیستون و دیاز، ۲۰۰۴: ۷۳-۸۱). بر پایه‌ی شکل (۲) تغییر اقلیم و افزایش دما منجر به کاهش رخداد سرماهای فرین و افزایش رخداد گرماهای فرین می‌شود (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷). یافته‌های اغلب پژوهش‌ها تأییدی بر این موضوع است.



شکل (۲). تغییر در احتمال رخدادهای فرین. (ماخذ: دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷)

سابقه‌ی مطالعات مرتبط با امواج گرمایی به بیش از یکی دو دهه نمی‌رسد. پژوهش‌های بسیار زیادی اخیراً بر روی امواج گرمایی در سراسر مناطق جهان انجام شده است. نتایج اکثر بررسی‌ها بیانگر آن است که افزایش گازهای گلخانه‌ای نقش مستقیمی بر طولانی شدن و شدت امواج گرما دارد (فریچ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹۳). (دومانکوز و همکاران، ۲۰۰۳: ۹۸۷) تغییرات رخدادهای دمایی حداکثر در جنوب و مرکز اروپا را طی قرن ۲۰ مطالعه کرده و ارتباط آن را با الگوهای گردشی بزرگ مقیاس مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آن‌ها بیانگر وجود نوسانات بلندمدت زیادی در فراوانی رخدادهای حدی گرم و سرد تابستانه و زمستانه در طول قرن ۲۰ دارد. (فتوندا و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۷) به بررسی میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت طی سال‌های ۱۸۹۷ تا ۲۰۰۱ پرداختند. بررسی آن‌ها نشان از افزایش دما در آن، مخصوصاً افزایش چشمگیر دما در زمستان، طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه دارد. از طرفی طی ۱۰۵ سال همواره بر رخداد رویدادهای گرم افزوده شده و از رخداد رویدادهای سرد کاسته شده است. رخداد طولانی امواج گرمایی با شدت و تداوم زیاد در قرن ۲۱ عنوان پژوهش (جرالد و همکاران، ۲۰۰۴: ۹۹۴) می‌باشد. نتایج آن‌ها حاکی از افزایش شدت، افزایش فرکانس و افزایش تداوم امواج گرمایی در نیمه‌ی دوم قرن ۲۱ ام در این مناطق است. بر اساس مطالعه (کاساتسکی، ۲۰۰۵: ۱۴۸) تحت عنوان امواج گرمایی سال ۲۰۰۳ در اروپا، تعداد ۲۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ مرگ انسانی، آمار تلفات موج گرما در کل اروپا در پنج سال قبل بوده که بیشتر از آمار کل تلفات قرن گذشته در کل اروپا و در اثر امواج گرمایی بوده است. خطرات تغییر آب‌وهوایی در فرانسه: موج گرمای فرانسه در سال ۲۰۰۳ عنوان مقاله‌ی مارک (پامادر و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴۸۳) بود. آن‌ها در مطالعه‌ی خود به بررسی امواج گرمایی با دیدگاه تغییر اقلیم و خطرات آن برای محیط بشر پرداختند. به نظر محققین امواج گرمایی منتج از عوامل طبیعی و انسانی است که این مخاطره محیطی باعث آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی بسیاری می‌شود. ایشان عقیده دارند که سهم اثرات انسانی بر تغییر اقلیم بیشتر از عوامل دیگر است. طبق مطالعات آن‌ها، از ۴ تا ۱۸ آگوست ۲۰۰۳ تعداد ۱۴۹۴۷ مورد مرگ و میر در فرانسه ناشی از تغییر اقلیم رخ داده که عامل اکثریت مرگ‌ومیرها، درجه حرارت و امواج گرمایی بوده است

آنها همچنین نتیجه گرفتند که امواج گرمایی در فرانسه منجر به ضرر و زیان فراوان در بخش کشاورزی و جنگلداری شده و نیز خشکسالی و آتش‌سوزی از عواقب این مخاطره طبیعی در آنجا بوده است. مطابق بررسی آنان، تابستان ۲۰۰۳ داغ‌ترین روز در تاریخ اروپا از سال ۱۵۰۰ میلادی بوده که این امر ناشی از تغییرات آب و هوایی انسانی است. در کشور هلند (جی‌گارسن و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۵) به بررسی اثرات موج گرمای تابستان ۲۰۰۳ بر مرگ و میر در کشور هلند پرداخته و نتیجه گرفتند که بین ۱۴۰۰ تا ۲۲۰۰ مرگ و میر در تابستان سال ۲۰۰۳ مرتبط با موج گرمای مورد نظرشان بوده است. اثر اقیانوس‌اطلس‌استوایی در امواج گرمایی اروپا عنوان تحقیق (کریستوف کاسو و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۱۸) می‌باشد. به عقیده‌ی ایشان، با توجه به تداوم ناهنجاری‌های آب‌وهوایی اقیانوس‌اطلس‌حاره‌ای، می‌توان گفت اقیانوس‌اطلس‌حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای در آب‌وهوای اروپا و بویژه رخدادهای امواج گرمایی آن موثر هستند. (کاترین‌هایو و همکاران، ۲۰۱۰: ۶۵) در پژوهش خود به بررسی رخداد تغییر اقلیم، امواج گرمایی و رخداد مرگ و میر در شیکاگو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در قرن پیش‌رو تغییرات اقلیمی منجر به افزایش در میزان میانگین درجه‌حرارت و نیز افزایش دماهای فرین‌گرم خواهد شد، بگونه‌ای که فراوانی، شدت و تداوم امواج گرمایی شدیدتر خواهد شد. افزایش فرکانس، شدت و تداوم امواج گرما و دوره‌های گرم جهانی ثبت شده، عنوان مطالعه‌ی (پرکینس و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۹) می‌باشد. نامبردگان نتیجه گرفتند که امواج گرمایی در سطح جهانی هم به لحاظ بسامد، هم به لحاظ شدت و هم به لحاظ تداوم در حال افزایش هستند. (بارنت و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۱۸) به بررسی تاثیر امواج گرمایی و سرمای‌ی روی بیماری‌های قلبی و عروقی در ایالات متحده پرداختند نتایج آن‌ها حکایت از کاهش تعداد مرگ و میرها و عدم وجود ارتباط بین امواج سرما و مرگ و میر دارد اما بر خلاف امواج سرما تعداد مرگ و میرها در امواج گرمایی بخصوص دماهای بالا افزایش پیدا کرده است. توسعه‌ی شاخص آسیب‌پذیری موج‌گرما برای لندن، عنوان پژوهش (تانجولف و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۹) در بریتانیا بود. بنابر نظر ایشان رخداد امواج گرمایی در شهر بزرگ لندن که در آن تراکم جمعیت بسیاری وجود دارد و نیز وقوع جزیره‌ی گرمایی شهر در آنجا، می‌تواند اثرات بهداشتی منفی نگران‌کننده‌ای داشته باشد. (لاباجو و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۷۳) در کشور اسپانیا به بررسی و تکامل امواج سرمای‌ی و گرمایی در فلات مرکزی اسپانیا از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ میلادی پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان از کاهش تعداد امواج سرمای‌ی و افزایش امواج گرمایی در فلات مرکزی اسپانیا دارد. (داسخو و همکاران، ۲۰۱۴:) روند بلند مدت دماهای فرین‌روزانه در مغولستان را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که فرین‌های دمایی حداکثر در تابستان افزایش و فرین‌های دمایی حداقل در زمستان کاهش داشته است. (میروسلاو آنکاشویچ و توشچ، ۲۰۱۴: ۱۰۰۷) به تحلیل امواج گرمایی و سرمای‌ی صربستان پرداختند. بررسی آن‌ها نشان داد سال ۲۰۱۲ خنک‌ترین سال در صربستان، طولانی‌ترین امواج گرمایی در طول تابستان و شدیدترین خشکسالی از ابتدای سال مطالعاتی تا انتهای آن بوده است. به عبارتی هر سه تای این ناهنجاری‌های بزرگ آب‌وهوایی در یک سال مشاهده شده است. در تحقیقی دیگر در این زمینه، اندازه‌گیری فرکانس فزاینده و روبه رشد امواج گرما و سرما در دهه‌های اخیر: مطالعه‌ی موردی آمریکای جنوبی عنوان پژوهش (گویدو سچرینی و همکاران، ۲۰۱۶: ۸۲۱) می‌باشد. آن‌ها معتقدند که افزایش فزاینده‌ی وقوع امواج گرما و کاهش امواج سرد در دهه‌های اخیر ممکن است به مسائل انسانی مرتبط باشد.

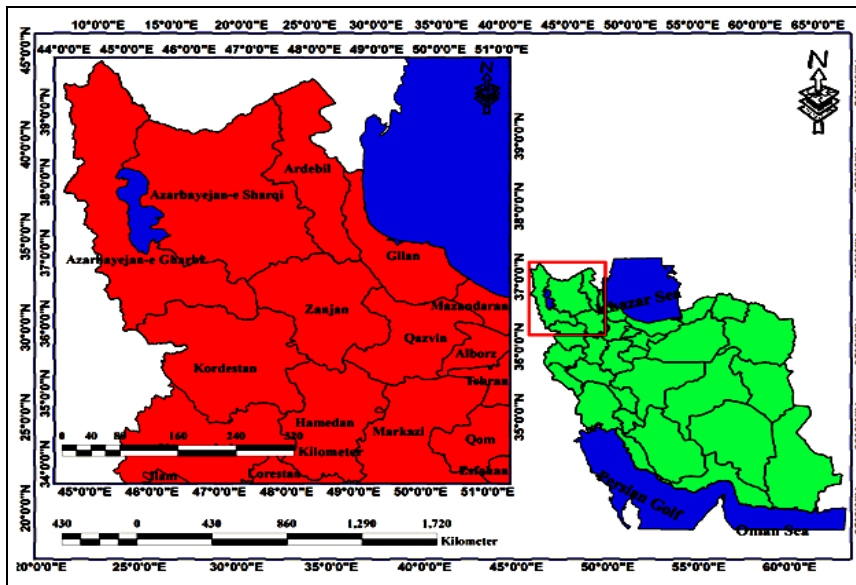
مطالعات حاکی از آن بود که مطالعه‌ی امواج گرمایی از دیدگاه تغییرات در فراوانی، تغییرات در شدت و تداوم این مخاطره‌ی اقلیمی و نیز ارتباط فراوانی و نوسانات امواج گرما با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی در ایران تاکنون مورد توجه قرار نگرفته یا آنچنان که باید، مورد توجه قرار نگرفته است. در همین زمینه، (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۳۰۰) در مطالعه‌ی خود به برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره‌ی مارکوف پرداختند. آنها با تحلیل روند حداکثر دمایی در استان کرمان نشان دادند که بیشترین موج گرمایی رخ داده در ماه‌های آوریل و می بوده است که این تغییرات، روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته‌اند، بخصوص در سال ۲۰۰۰ میلادی به حداکثر اوج خود رسیده و پس از آن دوباره طبق روند قبلی در حال افزایش بوده است. (اسماعیل‌نژاد، ۱۳۹۱) در پایان‌نامه‌ی خود به شناسایی امواج گرمایی ایران و ارتباط آن با الگوهای همدید پرداخته است. نتایج پژوهش وی نشان داد که موج‌های گرمایی کوتاه رخداد بیشتری داشته‌اند و امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده‌اند. به‌علاوه بسامد رخداد آنها طی سال‌های اخیر بیشتر شده است. (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷) به بررسی روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از شاخص‌های تغییر اقلیم در ایران پرداختند. نتایج محققین بیانگر افزایش دمای هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. (دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷) در مقاله خود شناسایی و تحلیل زمان-مکانی امواج گرمایی ایران زمین را مد نظر قرار داده و به این نتیجه رسیده که بسامد رخداد امواج گرمایی در ایران زمین رو به افزایش است. علاوه بر افزایش بسامد، ماندگاری و شدت امواج گرمایی نیز افزایش یافته است. از لحاظ پراکنش مکانی، نوع و نرخ روند بر روی مناطق مختلف هم‌اندازه و یکسان نیست.

در منطقه‌ی شمال‌غرب ایران رودخانه‌های بسیار مهمی با رژیم برفی وجود دارد که علاوه بر تامین کشاورزی منطقه، عمدتاً به دریاچه ارومیه سرازیر می‌شوند. رخداد امواج گرمایی بیشتر و شدیدتر منجر به تغییرات بسیاری در ذخیره‌ی برفی ارتفاعات و متعاقب آن دبی رودخانه‌ها و در نهایت افزایش میزان تبخیر و تعرق از سطوح آبی بالاخص دریاچه‌ی ارومیه و کاهش بیلان آبی آنها خواهد شد. همچنین بحث تامین انرژی برق در دوره‌ی گرم سال و در شرایط رخداد موج گرما از مسائل و مشکلاتی است که نیازمند توجه مسئولان ذیربط می‌باشد. لذا بررسی پدیده‌های فرین آب‌وهوایی بویژه امواج گرمایی به عنوان مظاهر تغییر اقلیم در نواحی با شرایط اقلیمی سرد مانند شمال‌غرب ایران امری لازم و ضروری است. با توجه به تازگی پژوهش‌های تغییر اقلیم در ایران، اکثر مطالعات در مورد امواج گرمایی، به طور ویژه به یک منطقه از کشور معطوف نمی‌شوند و نتایج عمدتاً کلی است. بنابراین با جدید بودن موضوع امواج گرمایی و لزوم تحقیق در این زمینه و تاثیرپذیری شمال‌غرب ایران از این مخاطره‌ی اقلیمی، پژوهش حاضر در صدد بررسی وضعیت نوسانات زمانی بسامد و شدت امواج گرمایی و ارتباط آنها با ناهنجاری‌های دمایی و اقیانوس‌ها و خشکی و نیز گازهای گلخانه‌ای و ارائه تحلیلی دقیق‌تر از این مخاطره دمایی در این گستره‌ی زمینی از ایران است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه در حدفاصل بین تا ۳۵ درجه تا ۳۹ درجه و ۷۶ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۴ تا ۴۹ درجه-ی طول شرقی در گوشه‌ی شمال‌غرب ایران واقع شده است. جهت انجام پژوهش پیش‌رو از داده‌های سطوح فوقانی جو (دمای حداکثر دومتري سطح زمین) داده‌های باز تحلیل شده‌ی قرن نوزدهم، بیستم و بیست‌ویکم در

بازه‌ی زمانی ۱۶۴ ساله یعنی از سال ۱۸۵۱ تا سال ۲۰۱۴ میلادی استفاده شد. داده‌های ذکر شده از وبسایت NOAA به نشانی http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2c.html اخذ گردیده و مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که داده‌ها تک‌مشاهده‌ای و فقط مربوط به بالاترین یا بیشینه‌ی دمای روزانه بوده، دارای قدرت تفکیک فضایی ۲ درجه‌ی طول جغرافیایی در ۲ درجه‌ی عرض جغرافیایی هستند که نسبت به داده‌های عادی از قدرت تفکیک زمانی- مکانی خوبی برخوردار هستند. همچنین از داده‌های مربوط به ۴ گاز گلخانه‌ی مهم و انسان‌ساز شامل: (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆) از زمان آغاز جمع‌آوری آنها و نیز داده‌های ناهنجاری دمایی اقیانوس‌ها و خشکی‌ها (شاخص گرمایش جهانی) در بازه‌ی زمانی (۱۸۸۰-۲۰۱۴) که از سایت سازمان ناسا اخذ شد استفاده گردید. جهت اعتبارسنجی داده‌های استخراجی تا جایی که از نظر زمانی با ایستگاه‌های زمینی همخوانی داشتند کنترل شده و از صحت داده‌های بدست آمده اطمینان حاصل شد (شکل ۳).

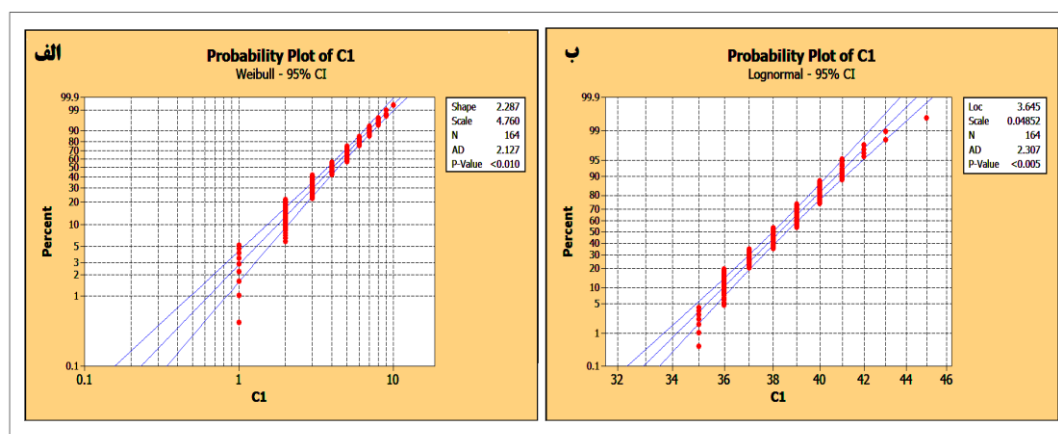


شکل (۳). نقشه منطقه مورد مطالعه شمال غرب ایران

جهت شناسایی امواج گرمایی با حداقل دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و استمرار زمانی حداقل ۲ روز طی ۱۶۴ سال گذشته، ابتدا با اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرس امواج گرمایی به وقوع پیوسته تک‌تک ترسیم و استخراج شد. سپس نوسانات و تغییرات روند فراوانی وقوع و نیز شدت امواج گرمایی طی سری زمانی ۱۶۴ ساله بررسی شد. همچنین جهت بررسی روند تغییرات و شناسایی معنادار بودن یا نبودن آنها از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و نیز روش‌های آماری تحلیل سری‌های زمانی استفاده شد. با استفاده از روش تحلیل همبستگی- پیرسون و اسپیرمن به تحلیل ارتباط بین فراوانی و شدت وقوع امواج گرمایی با داده‌های مربوط به ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی‌ها و نیز توزیع گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساز پرداخته شده تا بدین طریق تاثیر افزایش ناهنجاری‌های دمایی و تمرکز گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر بر تغییرپذیری امواج گرمایی مشخص گردد.

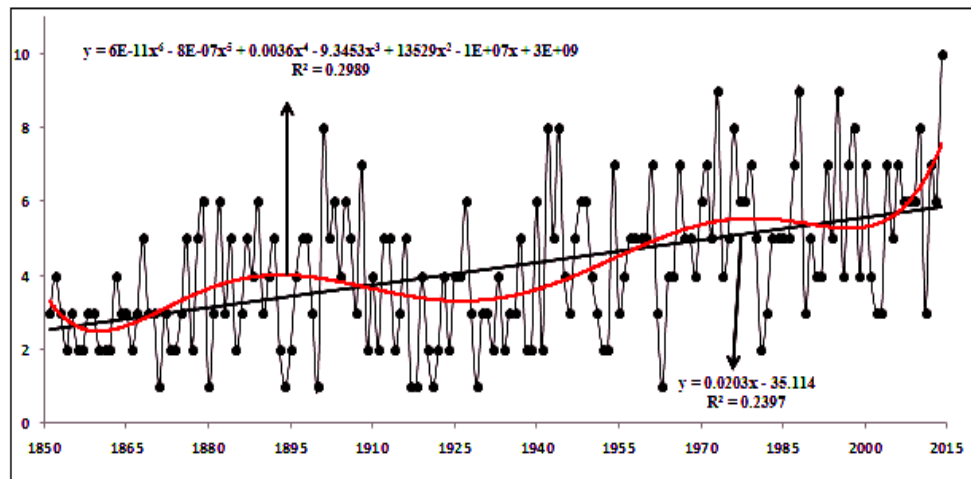
نتایج

پس از ران کردن اسکریپت تهیه شده برای داده‌های دمای حداکثر دومتري سطح‌زمین، امواج گرمایی با دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و گرم‌تر با شرط استمرار دو روز و بیشتر برای دوره‌ی مورد مطالعه (۱۸۵۱-۲۰۱۴) استخراج گردید. در بررسی‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار MINITAB برای تعیین نوع توزیع احتمال وقوع و شدت امواج گرمایی، ۱۴ نوع توزیع احتمال مورد آزمون قرار گرفت که از بین توزیع‌های مذکور و با در نظر گرفتن مقادیر اندرسون دارلینگ (AD) و فاصله‌ی اطمینان ۹۵ درصد، نشان داد که روند فراوانی رخداد امواج گرمایی از قانون توزیع احتمال ویبول در سطح اطمینان ۹۵ درصد و نیز روند سری‌زمانی وقوع شدیدترین موج گرما از قانون توزیع احتمال لاگ‌نرمال در سطح اطمینان ۹۵ درصد پیروی می‌کنند که در شکل (۴) قابل مشاهده است.



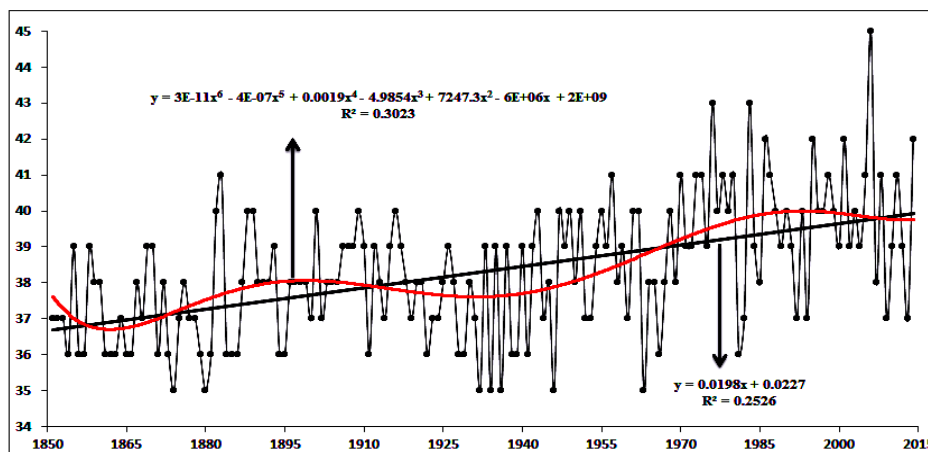
شکل (۴): توزیع احتمال فراوانی وقوع امواج گرم (الف) و شدیدترین موج گرمای (ب) شمال غرب ایران

برای تحلیل نوسانات زمانی سالانه‌ی فراوانی وقوع امواج گرمایی شمال غرب کشور روندهای بلندمدت خطی و پلی‌نومیال درجه ۶ نسبت به هم ترسیم گردید. شکل (۵) روند مثبت و افزایشی فراوانی وقوع امواج گرمایی در طول دوره‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است نقاط اوج و حسیض تغییرات زمانی وقوع امواج گرمایی در بازه‌ی زمانی ۱۶۴ ساله واضح و مشخص است. در سری زمانی بلندمدت، شیب خطی روندی افزایشی و با ضریب تعیین (R^2) ۰/۲۳ را نشان می‌دهد. نکته حایز اهمیت در این نمودار همخوانی بسیار زیاد جریان خطی و پلی‌نومیال درجه ۶ رخداد امواج گرمایی با ضریب تعیین ۰/۲۹ است که حاکی از افت و خیزهای چنددهه‌ای و در نهایت روند صعودی و افزایشی فراوانی امواج گرمایی می‌باشد. بنابراین سری زمانی رخداد امواج در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه افت و خیزهای نسبتاً شدید و بسیاری را هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تجربه کرده است که نشانگر وجود روند و نوسان در سری زمانی امواج گرمایی است. نکته مهم دیگر آن است که در سال‌های اخیر نسبت به دهه‌های اول بازه‌ی زمانی، فراوانی رخداد امواج گرم در شمال غرب ایران شیب افزایشی بسیار زیاد و قابل توجهی را تجربه کرده که در نمودارهای (۶ و ۵) قابل مشاهده است.



شکل (۵). مدل نوسانات زمانی سالانه‌ی فراوانی وقوع امواج گرمایی و روند خطی و پلی نومیال درجه ۶ منطقه‌ی شمال-غرب ایران از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۴.

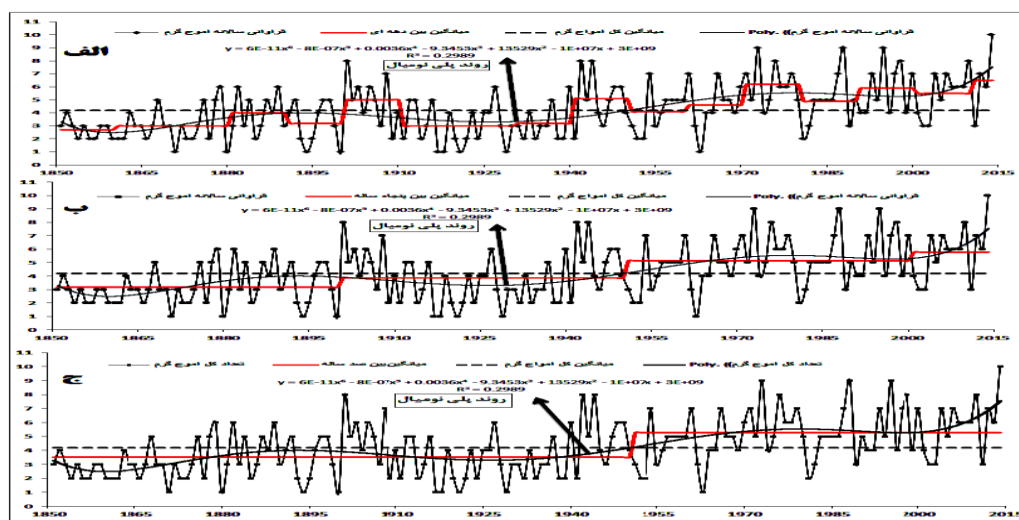
وضعیت تغییرپذیری و روند تغییرات زمانی بلندمدت وقوع شدیدترین موج گرمای سالانه در بازه‌ی زمانی مورد نظر در شکل (۶) قابل مشاهده است. در این نمودار روند خطی افزایشی و مثبت رخداد شدیدترین امواج گرمایی منطقه به وضوح قابل مشاهده است. به منظور نمایش توزیع زمانی و نیز ترسیم جزئیات تغییرات زمانی شدیدترین امواج گرمایی از سال ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ روندهای خطی و پلی نومیال درجه ۶ ترسیم شد. با توجه به روند خطی بلندمدت و پلی نومیال که تغییرات را در جزئیاتی بیشتر در ۶ جمله نشان می‌دهد نتایج حاکی از آن است که رخداد شدیدترین موج گرما به مانند فراوانی رخداد امواج در طول دهه‌های مختلف از نوسانات زیادی در طول ۱۶۴ سال دوره‌ی آماری برخوردار بوده است. شیب خطی سری زمانی تغییرات شدیدترین امواج گرما با ضرایب تعیین (R^2) مقدار ۰/۲۵ را نشان می‌دهد. در روش نیمه‌خطی رگرسیون پلی نومیال مرتبه‌ی ششم ضریب تعیین (R^2) به ۰/۳۰ افزایش یافته است. در نمودار ذیل نیز همخوانی بسیار زیاد جریان خطی و پلی نومیال درجه ۶ رخداد شدیدترین امواج به وضوح قابل مشاهده است. سری مذکور در کوتاه‌مدت افت‌وخیز زیادی را تجربه کرده است اما در بلندمدت روندی افزایشی و باشیب ملایم‌تر را نشان می‌دهد. در واقع سری زمانی شدت وقوع امواج گرمایی شمال غرب ایران هم روند و هم نوسان را تجربه کرده است.



شکل (۶). مدل نوسانات زمانی سالانه‌ی وقوع شدیدترین امواج گرمایی و روند خطی و پلی نومیال درجه ۶ منطقه‌ی شمال غرب ایران از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۴.

روند و نوسانات بین دهه‌ای، بین پنجاه ساله، و بین صدهای فراوانی وقوع امواج گرمایی در بازه‌ی زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ در شکل (۷) در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج نمودار (الف) نشان دهنده‌ی وجود نوسانات زیاد در روند میانگین بین‌دهه‌ای فراوانی امواج گرمایی است. به‌گونه‌ای که پنج دهه‌ی اول دارای نوسانات کاهشی و افزایشی بوده (غالباً افزایشی) اما روند کلی صعودی است و به‌طور متوسط، میانگین فراوانی رخداد موج گرما در این دوره حدود ۳ موج در سال است که این تعداد، زیر میزان میانگین کل قرار دارد. در سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۱۰ یک جهش صعودی داشته که تا ۵ موج در سال نیز رسیده است. در سه دهه‌ی بعدی از رخداد امواج کاسته شده، نوسانی سه‌دهه‌ای و کاهشی را تجربه کرده است که میزان آن به کمتر از ۳ موج در سال رسید است. همانطور که شکل ۶ (الف) نشان می‌دهد، روند بین‌دهه‌ای پلی نومیال درجه ۶ فراوانی امواج گرما با شیب نسبتاً زیاد و قابل توجه در حال صعود است به‌گونه‌ای که مقادیر فراوانی رخداد امواج گرم، بالاتر از میانگین کل قرار دارد و به میزان ۵، ۶ و بالاتر از ۶ موج نیز رسیده است. نکته حائز اهمیت این نمودار، یک نقطه‌ی عطف در جریان تغییرات زمانی است که از سال ۱۹۴۰ شروع شده است. این سال محل تلاقی روندهای پلی‌نومیال درجه ۶ و بین دهه‌ای پلکانی است. از این تاریخ تا دوره حاضر فراوانی رخداد موج گرما با نوسانات غالباً افزایشی و کاهشی همراه بوده اما در کل میانگین رخداد امواج بالاتر از میانگین کل قرار دارد و دارای روند صعودی شدید و معنادار می‌باشد. از سال ۲۰۱۰ به بعد وقوع امواج گرم شدت بیشتری نسبت به دهه‌های قبلی داشته است. به عبارتی دیگر بیشترین میزان رخداد امواج گرما در دهه‌ی اول قرن بیست و یکم به بعد می‌باشد. در بررسی روند فراوانی بین ۵۰ ساله‌ی امواج گرم شکل (ب)، بازه‌ی زمانی مدنظر تقریباً به ۴ دوره تقسیم می‌شود. در نیم صده‌ی اول فراوانی امواج گرم حدوداً ۳ موج در سال است که این مقدار زیر میانگین کل قرار دارد. این وضعیت برای نیم‌صده‌ی دوم نیز صادق است با این تفاوت که نسبت به ۵۰ سال اول با افزایشی در تعداد وقوع امواج همراه بوده اما همچنان مقادیر امواج گرم زیر میانگین و کمتر از ۴ موج می‌باشد. نقطه عطف این نمودار ۱۹۵۰ و با شروع نیم‌صده‌ی سوم یعنی محل تلاقی روند پلی‌نومیال و روند پلکانی بین پنجاه ساله می‌-

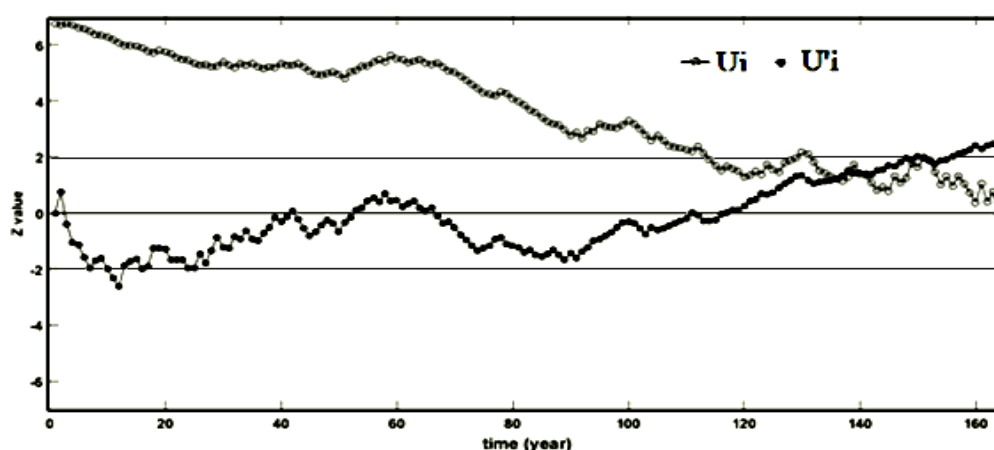
باشد که به یکباره فراوانی وقوع امواج صعودی شده، به میزان ۵ موج در سال رسیده و بالاتر از میانگین کل قرار می‌گیرد. از سال ۲۰۰۰ تا دوره کنونی مجدداً روند فراوانی وقوع امواج افزایش یافته و مقادیر آن نسبت به ۵۰ سال سوم بیشتر شده و به حدود ۶ موج در سال رسیده است. در حقیقت دو دهه‌ی آغازین قرن بیست و یکم اوج رخداد امواج گرما بوده است. مطابق شکل ۷ (ج) در تحلیل نوسانات زمانی بین صد ساله‌ی فراوانی وقوع امواج گرما، بازه‌ی زمانی مدنظر به دو دوره تقسیم می‌شود. دوره اول از ۱۸۵۱ تا ۱۹۵۰ است که میزان امواج حادث شده در سال زیر مقدار میانگین و حدود ۳/۵ موج در سال می‌باشد. نقطه عطف این نمودار نیز سال ۱۹۵۰ و محل تلاقی روند غیرخطی و روند پلکانی بین‌صده‌ای است که با افزایش جهشی همراه بوده است. رخداد امواج گرمایی در صده‌ی دوم یعنی از سال ۱۹۵۰ تا دوره‌ی حاضر افزایش قابل توجهی داشته، بالاتر از میانگین کل قرار گرفته و به بیش از ۵ موج در سال رسیده است. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل سه نمودار ذیل نشان می‌دهد شروع اکثر تغییرات صورت گرفته ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان می‌باشد. به این معنا که در کل دوره نوسانات بسیاری در فراوانی وقوع امواج گرمایی رخ داده است اما در نهایت روند آنها صعودی و معنی‌دار بوده است.



شکل (۷). روند نوسانات زمانی بین دهه‌ی ای (الف)، بین ۵۰ ساله (ب)، و بین ۱۰۰ ساله‌ی (ج) و پلکانی فراوانی وقوع امواج گرمایی در منطقه شمال غرب ایران در بازه زمانی ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۴.

جهت آگاهی از معنی‌دار بودن روند تغییرات زمانی فراوانی رخداد امواج گرمایی شمال غرب کشور از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده گردید. نمودار مربوط به آزمون مذکور در بازه‌ی زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به خط U_i' در داده‌های استخراجی و در نمودار مندرج در شکل ذیل تغییرات سری فراوانی وقوع امواج از محدوده‌ی ۱/۹۶ عبور کرده، صعودی و معنادار می‌باشد. خطوط U_i و U_i' در مشاهدات ۱۳۴ تا ۱۴۱ یعنی در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۷، ۱۹۸۶، ۱۹۸۵، ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۱۹۸۹، و ۱۹۹۱ و نیز در مشاهدات ۱۴۹ و ۱۵۰ یعنی در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ و همچنین در مشاهدات ۱۵۳ و ۱۵۴ یعنی در

سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در داخل محدوده‌ی بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کرده‌اند که این امر بیانگر آن می‌باشد که نقاط عطف بسیاری در مقاطع زمانی مذکور شکل گرفته است. قطع خطوط U_i و U'_i در محدوده-ی $\pm 1/96$ و مسیر مخالف دو خط نشانگر وجود جهش و تغییرات ناگهانی در بلندمدت همراه با نوسان در این سال‌ها بوده که کاملاً صعودی و معنادار می‌باشد. به عبارتی این امر بیانگر تغییر در میانگین بلندمدت فراوانی رخداد امواج گرمایی شمال غرب ایران است. خطوط U_i و U'_i بعد از تقاطع، خارج از محدوده‌ی بحرانی قرار گرفته و این نیز نشان می‌دهد که در رخداد امواج گرمایی، "روند" شکل گرفته است. نکته مهم نمودار آن که از سال ۲۰۰۰ تا دوره کنونی وقوع امواج گرمایی در منطقه‌ی شمال غرب ایران دستخوش یک تغییر ناگهانی مثبت و صعودی شده و شدت بیشتری به خود گرفته است، به گونه‌ای که U_i از محدوده‌ی $\pm 1/96$ خارج شده و این امر دال بر معنی‌داری روند صعودی و افزایشی رخداد امواج در این منطقه از ایران است. لازم به ذکر است که اثبات وجود روند معنی‌دار در سری زمانی فراوانی امواج گرمایی شمال غرب ایران به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در این منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند. این امر به دلیل متعدد بودن عوامل کنترل کننده‌ی سامانه‌ی اقلیم می‌باشد.



شکل (۸). الگوی زمانی روند فراوانی رخداد امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران بر اساس توالی آماره های U_i و U'_i آزمون من-کندال در بازه‌ی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴.

ارتباط امواج گرمایی با گرمایش جهانی و گازهای گلخانه‌ای

در جدول (۱) مقادیر ماهانه‌ی ضرایب همبستگی پیرسون فراوانی رخداد امواج گرمایی و نیز ضرایب همبستگی اسپیرمن شدیدترین موج گرم با داده‌های جهانی ناهنجاری دمایی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها به عنوان شاخص گرمایش جهانی درج شده است.

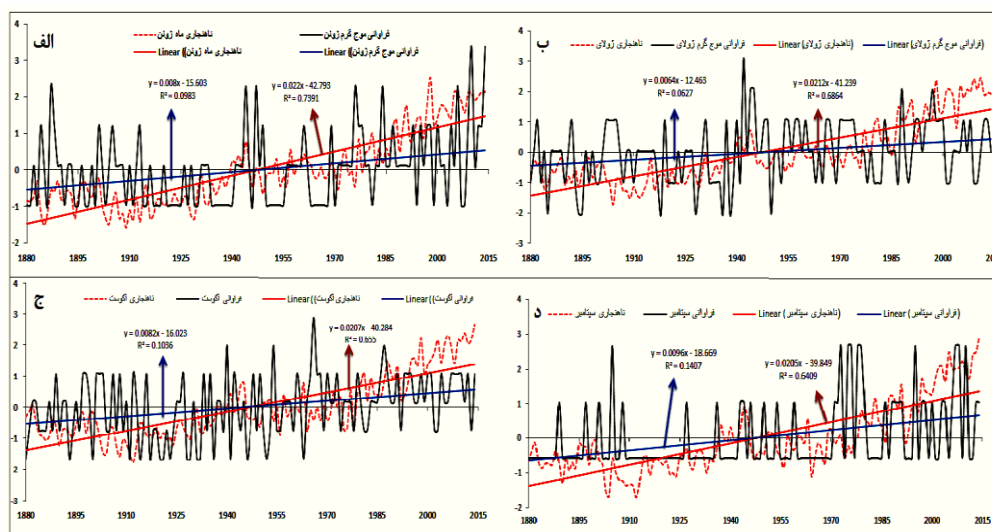
جدول (۱): مقادیر ضرایب همبستگی ماهانه‌ی فراوانی امواج گرمایی و نیز رخداد شدیدترین موج گرم با داده‌های جهانی ناهنجاری دمایی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها از ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۴.

ناهنجاری اقیانوس‌ها و خشکی‌ها / ماه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
فراوانی موج گرم	۰/۳۸۸**	۱۹۴*	۰/۲۵۶**	۰/۳۶۵**
شدیدترین موج گرما	۰/۲۶۴*	۲۸۱**	۰/۳۶۹**	۰/۲۲۳*

(* سطح اطمینان ۹۵ درصد و ** سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد)

نتایج ضرایب همبستگی پیرسون بین فراوانی امواج گرم ماهانه با ناهنجاری‌های دمایی که از آن با عنوان شاخص پدیده‌ی گرمایش جهانی یاد می‌شود نشان می‌دهد که در تمامی ماه‌های مورد مطالعه ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد. این به معنی آن است که با افزایش شاخص گرمایش جهانی تعداد امواج گرمایی در تمامی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر در شمال غرب ایران نیز افزایش یافته است. در بین ماه‌ها، ابتدا فراوانی رخداد امواج گرمایی ماه ژوئن به میزان ۰/۳۸۸ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد، سپس ماه‌های سپتامبر و آگوست به ترتیب به میزان ۰/۳۶۵ و ۰/۲۵۶ دارای بیشترین میزان ضریب همبستگی مثبت و معناداری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشند. کمترین میزان همبستگی با ۰/۱۹۴ درصد و در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مربوط به ماه ژولای است. به منظور آگاهی بیشتر از تاثیر ناهنجاری‌های دمایی کوه‌زمین بر فراوانی ماهانه‌ی وقوع امواج، در شکل ۸ (الف) نمرات استاندارد شده مقادیر یاد شده در مقابل هم قرار داده شده است. همسانی مقادیر ماه ژوئن گواه آن است که افزایش میزان ناهنجاری‌ها با افزایش نسبی روند فراوانی امواج گرمایی همراه بوده است. سری ناهنجاری دمایی در این ماه از شروع دوره‌ی مورد مطالعه تا اول دهه ۱۹۴۰ زیر میانگین کل و از این تاریخ تا اوایل دهه ۱۹۸۰ روند زمانی شاخص حول محور میانگین در نوسان بوده است. نقطه‌ی عطف در سری ناهنجاری دمایی ماه ژوئن آغاز دهه‌ی ۱۹۸۰ می‌باشد به گونه‌ای که از این تاریخ تا پایان دوره، ارقام ناهنجاری-دمایی مقادیر بالای میانگین را تجربه کرده است. این وضعیت افزایش سریع و شتابان مقادیر گرمایش جهانی در چند دهه‌ی اخیر را نشان می‌دهد. این افزایش با رشد نسبتاً شدیدتر و بی سابقه‌ی فراوانی امواج گرم از اواخر دهه‌ی ۷۰ و اوایل دهه‌ی ۸۰ تا سال ۲۰۱۴ همراه بوده است. در ماه ژولای (ب) نیز به مانند ماه ژوئن میزان افزایش شاخص گرمایش جهانی تا قبل از دهه‌ی ۴۰ زیر مقادیر میانگین بوده و از دوره‌ی ۱۹۴۰ تا ۱۹۸۰ مقادیر متعادلی را تجربه کرده است. از دهه‌ی ۸۰ تا اواخر دوره، میزان ناهنجاری‌ها روندی صعودی و شتابان داشته‌اند اما افزایش فراوانی امواج گرم ارقامی به نسبت کم‌تر از ماه ژوئن را تجربه کرده لذا شیب‌خطی در این ماه افزایشی، اما نسبتاً متمایل و ضعیف‌تر بوده است. همسانی نوسانات زمانی فراوانی امواج گرما با شاخص گرمایش-جهانی در ماه آگوست (شکل ج) حاکی از تاثیر شدیدتر و ملموس‌تر شاخص مذکور بر فراوانی امواج گرم است. به گونه‌ای که با توجه به ضریب‌تعیین (R^2) محاسبه شده در نمودار سری زمانی، میزان ۱۰ درصد از تغییرات مثبت و افزایشی امواج گرما به طور مستقیم متأثر از افزایش شاخص ناهنجاری‌های دمایی است. در این ماه مقادیر شاخص گرمایش جهانی در دهه‌ی آخر و بویژه از سال ۲۰۱۲ به بعد مقادیر بسیار شدید جهشی و کم سابقه‌ای را تجربه کرده و می‌توان گفت وقوع بیشترین مقادیر امواج گرمایی در سال‌های آخر بازه‌ی زمانی به احتمال بسیار قوی متأثر از این پدیده می‌باشد. در ماه سپتامبر (د) این وضعیت با شدت بیشتری ادامه یافته و

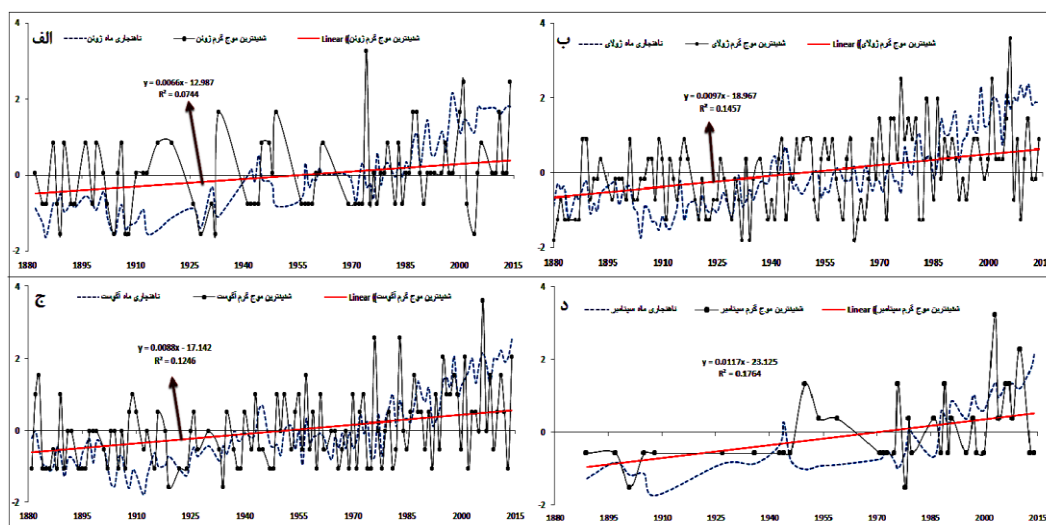
مقادیر شاخص گرمایش از دهه‌ی ۸۰ تا پایان دوره شیب نسبتاً تندتر و شدیدتر از ماه‌های قبل داشته، با این تفاوت که در سالهای ۱۹۸۶ و ۱۹۹۲ و در دو مقطع یک ساله، مقادیر پایین‌تر از میانگین را تجربه کرده است. نقطه عطف در روند سری‌زمانی امواج گرمایی در ماه سپتامبر از سال ۱۹۷۰ آغاز شده که نشان از میزان بالای رخداد موج‌گرما از این تاریخ تا پایان دوره است. با توجه به ضریب‌تعیین (R^2)، ۱۴ درصد از تغییرات افزایشی وقوع امواج گرمایی شمال‌غرب ایران در ماه سپتامبر به طور مستقیم متأثر از پدیده‌ی گرمایش جهانی می‌باشد. همچنین روند شدید و افزایش جهشی شاخص در این ماه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ بوده است.



شکل (۹). نمودار مقایسه‌ای و استاندارد شده‌ی ماهانه‌ی فراوانی وقوع امواج گرمایی با ناهنجاری دمایی اقیانوس و خشکی در منطقه شمال‌غرب ایران، الف (ژوئن)، ب (ژولای)، ج (آگوست)، د (سپتامبر) از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۴.

تحلیل نتایج ضرایب همبستگی اسپیرمن شدیدترین موج‌گرم ماهانه با داده‌های مربوط به شاخص گرمایش جهانی (شکل ۹) نشانگر ارتباط مثبت و معنی‌دار در ماه‌های آگوست و ژولای هرکدام به ترتیب به میزان ۰/۳۶۹ و ۰/۲۸۱، و در سطح اطمینان ۹۹ درصد و کمترین میزان همبستگی مربوط به ماه‌های ژوئن به میزان ۰/۲۶۴ و نیز سپتامبر به میزان ۰/۳۲۳ در سطح معنی‌داری ۹۵ می‌باشد. نتایج جدول (۱) گواه آن است که با افزایش ضرایب شاخص گرمایش جهانی، تاحدودی شدت امواج گرمایی نیز در شمال‌غرب ایران بیشتر شده است. در شکل (۱۰) نمودار مقایسه‌ای و استاندارد شده‌ی تاثیر ناهنجاری‌های دمایی بر وقوع شدیدترین امواج گرمایی نشان داده شده است. در نمودار مربوط به ماه ژوئن (الف) آشکار است که افزایش مقادیر ناهنجاری‌ها با افزایش نسبی سری‌زمانی وقوع شدیدترین امواج گرمایی همراه بوده است. سری زمانی ناهنجاری دمایی در این ماه و در طول دوره مورد نظر روندی افزایشی داشته که بیشترین میزان آن در سال‌های آخر دوره می‌باشد. این امر با افزایش نسبی با شیب نسبتاً ملایم در رخداد امواج گرمایی شدید همراه بوده است. در ماه ژولای (ب) سری زمانی شاخص افزایش قابل توجهی را تجربه کرده اما شیب خطی و افزایشی وقوع امواج گرمایی شدید به مانند ماه ژوئن نسبتاً متمایل و ضعیف بوده است. در ماه آگوست (ج) به مانند ماه‌های قبل اثر شاخص گرمایش جهانی

بر رخداد شدت امواج افزایشی و مثبت بوده اما شدید و قابل ملاحظه نیست. در شکل (د۱۰) همسانی سری- زمانی مقادیر مذکور در ماه سپتامبر نشان داده شده است. نکته قابل توجه در این نمودار میزان (R^2) یا ضریب تعیین سری زمانی شدیدترین موج گرما در ماه سپتامبر است. با توجه به مقادیر ضریب تعیین (R^2)، می- توان گفت ۱۴ درصد از تغییرات افزایشی رخداد شدیدترین امواج گرمایی شمال غرب ایران متأثر از پدیده‌ی گرمایش جهانی می‌باشد. همسانی شاخص ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی با مقادیر سری زمانی شدیدترین امواج در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۱۰). نمودار مقایسه‌ای و استاندارد شده‌ی ماماهاه‌ی رخداد شدیدترین امواج گرم با ناهنجاری دمایی اقیانوس و خشکی در منطقه شمال غرب ایران، الف(ژوئن)، ب(ژوئای)، ج(آگوست)، د(سپتامبر) در بازه زمانی ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۴.

ارتباط فصلی امواج گرمایی با ناهنجاری‌های دمایی

جدول شماره (۲) مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون فراوانی امواج گرمایی فصلی (فصل گرم) و نیز ضریب همبستگی اسپیرمن شدیدترین امواج گرم فصلی با داده‌های جهانی ناهنجاری دمایی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها به عنوان شاخص گرمایش جهانی در فصل گرم نشان داده شده است.

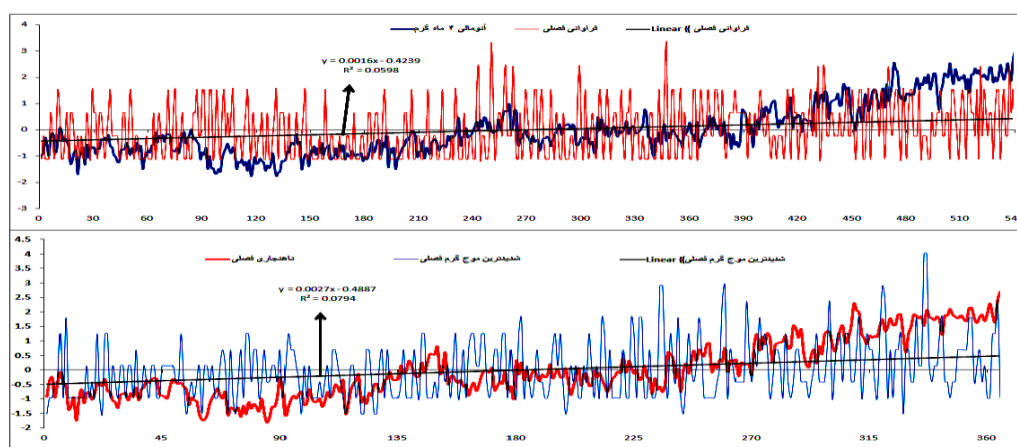
جدول (۲): مقادیر ضرایب همبستگی فصلی (گرم) فراوانی امواج گرمایی و رخداد شدیدترین موج گرم سالیانه با داده های جهانی ناهنجاری دمایی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها از ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۴.

ضرایب همبستگی فصلی	ناهنجاری اقیانوس و خشکی ها / فراوانی و شدت امواج گرم
۰/۲۲۹ **	فراوانی موج گرم
۰/۲۲۵ **	شدیدترین موج گرم

(* سطح اطمینان ۹۵ درصد و ** سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد)

تحلیل نتایج ضرایب همبستگی بین فراوانی وقوع امواج گرمایی فصل گرم (الف) و نیز شدیدترین موج گرما (ب) در این فصل با پدیده‌ی گرمایش جهانی نشانگر ارتباط مثبت و معنادار بین آنهاست. با افزایش شاخص تعداد و

شدت امواج گرمایی تابستانه با افزایش و شدت بیشتری همراه بوده است. مطابق جدول فوق ضریب همبستگی فراوانی فصلی رخداد امواج گرمایی با ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌و خشکی به میزان ۰/۲۲۹ در سطح اطمینان ۹۹ درصد و نیز میزان ضریب همبستگی شدیدترین موج گرما با شاخص ۰/۲۲۵ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. شکل (۱۰) همسانی و ارتباط نزدیک بین ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی با فراوانی فصلی وقوع امواج گرمایی (الف) و نیز رخداد شدیدترین موج گرم فصل گرم (ب) را نشان می‌دهد. لذا در اکثر مقاطع زمانی هماهنگی نسبی در تغییرات گرمایش جهانی با فراوانی و شدت وقوع امواج گرمایی مشاهده می‌گردد.



شکل (۱۱). نمودار مقایسه‌ای و استاندارد شده‌ی فراوانی فصلی وقوع امواج گرم (الف) و شدیدترین موج گرم (ب) با ناهنجاری دمایی اقیانوس و خشکی در منطقه شمال غرب ایران از سال ۱۸۸۰ تا سال ۲۰۱۴.

ارتباط نوسانات امواج گرم با گازهای گلخانه‌ای

جدول (۳) مقادیر ضریب همبستگی پیرسون ماهانه‌ی فراوانی امواج گرمایی و نیز همبستگی اسپیرمن شدیدترین موج گرما با داده‌های جهانی مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل: (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆) را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقادیر ضرایب همبستگی فراوانی ماهانه‌ی امواج گرمایی و شدیدترین موج گرم با داده‌های جهانی گازهای گلخانه‌ای شامل: (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆) از ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۴.

سپتامبر	آگوست	ژولای	ژوئن	گاز دی‌اکسید کربن (CO ₂) / ماه
-۰/۰۶۶	۰/۲۱۶	۰/۰۲۱	۰/۲۲۱	فراوانی وقوع موج گرم
۰/۳۴۳	۰/۲۵۸	-۰/۰۹۱	۰/۳۳۶*	شدیدترین موج گرما
سپتامبر	آگوست	ژولای	ژوئن	گاز متان (CH ₄) / ماه
۰/۲۶۵	۰/۰۱۷	-۰/۰۴۶	۰/۱۷۸	فراوانی وقوع موج گرم
۰/۲۴۸	۰/۰۲۸	۰/۰۸۸	۰/۱۶۲	شدیدترین موج گرما
سپتامبر	آگوست	ژولای	ژوئن	گاز اکسید نیتروژن (N ₂ O) / ماه

۰/۱۷۵	۰/۰۵۲	-۰/۰۶۹	۰/۴۳۵	فراوانی وقوع موج گرم
-۰/۰۳۱	-۰/۰۱۷	-۰/۰۷۴	۰/۱۳۶	شدیدترین موج گرما
سپتامبر	آگوست	ژولای	ژوئن	گاز هگزاکلروفلوروکربن (SF6) / ماه
۰/۱۵۵	-۰/۰۵۶	-۰/۰۳۱	۰/۴۴۱	فراوانی وقوع موج گرم
-۰/۰۳۱	-۰/۰۱۷	-۰/۰۷۴	۰/۱۳۶	شدیدترین موج گرما

(* سطح اطمینان ۹۵ درصد و ** سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد)

در تحقیق حاضر از آنجایی که بازه‌ی زمانی جمع‌آوری و ثبت داده‌های گازهای گلخانه‌ای طولانی نبوده و نیز دوره‌ی اندازه‌گیری آنها متفاوت می‌باشد، لذا در بررسی‌های آماری و نیز تحلیل مقادیر همبستگی از ابتدای سالی که داده‌ها در دسترس هستند به این امر پرداخته شده است. بنابراین: گاز CO₂ از سال ۱۹۷۱، گاز CH₄ از سال ۱۹۸۴، و نیز گازهای N₂O و SF₆ از سال ۱۹۹۸ تا پایان بازه‌ی زمانی مدنظر (سال ۲۰۱۴) مورد بررسی و تحلیل آماری قرار گرفته‌اند. همچنین به مانند مطالب فوق در بررسی ضرایب همبستگی فراوانی وقوع امواج (داده‌های پیوسته) با گازهای گلخانه‌ای از ضریب همبستگی پیرسون و در برآورد مقادیر همبستگی شدیدترین رخداد موج گرما (داده‌های گسسته) با گازهای گلخانه‌ای از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شده است. همانطور که در جدول (۳) آشکار است هیچکدام از گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساز، با فراوانی رخداد امواج گرمایی منطقه‌ی مورد مطالعه رابطه‌ی قابل توجه و معناداری ندارند. این گازها با شدیدترین امواج گرمایی در ماه‌های ژولای، آگوست و سپتامبر ارتباط معنی‌داری نداشتند اما در ماه ژوئن دارای همبستگی ۰/۳۳۶ بوده که در سطح اطمینان ۹۵ درصد مثبت و معنادار می‌باشد. به عبارتی گازهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر ارتباط معناداری را با فراوانی و شدت امواج گرمایی نداشته‌اند. لذا تا اندازه‌ی زیادی می‌توان اظهار کرد که مطابق مطالعات اندیشمندان گذشته، افزایش گازهای گلخانه‌ای ساخته بشر با "دما" دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار هستند اما این افزایش با فراوانی وقوع امواج و نیز شدت امواج گرمایی ارتباط معناداری ندارند.

ارتباط نوسانات فصلی امواج گرمایی با گازهای گلخانه‌ای

مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون فراوانی فصلی رخداد امواج گرمایی و نیز همبستگی اسپیرمن شدیدترین موج گرما با داده‌های جهانی گازهای گلخانه‌ای شامل: (CO₂ , CH₄, N₂O , SF₆) در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): مقادیر ضرایب همبستگی فصلی فراوانی امواج گرمایی و نیز رخداد شدیدترین موج گرم با داده‌های جهانی گازهای گلخانه‌ای شامل: (CO₂ , CH₄, N₂O , SF₆).

SF6	N2O	CH4	CO2	فراوانی و شدت فصل گرم / گازهای گلخانه‌ای
۰/۱۵۲	۰/۱۴۶	-۰/۰۰۴	۰/۰۶۱	فراوانی فصلی وقوع موج گرما
-۰/۰۳۳	-۰/۰۴۹	-۰/۰۰۴	۰/۱۴۰	شدیدترین فصلی وقوع موج گرما

(* سطح اطمینان ۹۵ درصد و ** سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد)

مطابق جدول (۴) بررسی فصلی (فصل گرم) ضرایب همبستگی فراوانی و شدت وقوع امواج گرمایی نشان از عدم ارتباط مثبت و معنی‌دار با داده‌های گازهای (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆) در فصل تابستان (ژوئن تا سپتامبر) می‌باشد. این بدان معناست که افزایش یا کاهش گازهای انسان‌ساز به منزله افزایش یا کاهش فراوانی و شدت امواج گرمایی در فصل گرم در منطقه‌ی شمال غرب ایران نیست. نکته قابل توجه اینکه گازهای CO₂ و CH₄ که مهمترین گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساز می‌باشند، هیچگونه ارتباط قابل توجه و معنی‌داری با فراوانی وقوع امواج گرمایی نداشتند. بنابراین افزایش و کاهش مقادیر گازهای گلخانه‌ای منجر به شدت و ضعف وقوع امواج گرما نشده است. بنابراین در مقابل دیدگاه‌ها و نظرات بسیاری از اقلیم‌شناسان که معتقدند روند فزاینده‌ی گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر منجر به تغییرات و ناهنجاری‌های گسترده‌ای در اقلیم کره‌ی زمین شده می‌توان اینگونه اظهار کرد که این امر همیشه و در همه جا مصداق قطعی ندارد. لذا نمی‌توان با اطلاعات محدود از داده‌های گازهای گلخانه‌ای که عمر جمع‌آوری برخی از آنها به سه دهه هم نمی‌رسد به طور قطعی و صددرصد گفت که این تغییرات گسترده‌ی اقلیمی و بویژه‌های فرین‌های آب‌وهوایی ناشی از افزایش گازهای انسان‌ساز است. بنابراین شاید بتوان اینگونه اظهار کرد که افزایش گازهایی همچون دی‌اکسیدکربن (CO₂) و متان (CH₄) در مقیاس میکرواقلیم و یا حتی منطقه‌ای و در سطح مادرشهرها منجر به افزایش دما شده و یا اندکی منجر به گرم شدن آب و هوا می‌شوند اما نمی‌توان حکم قطعی داد که گازهای گلخانه‌ای منتشره از فعالیت‌های بشر منجر به تغییرات اقلیم کره‌ی زمین شده است.

نتیجه گیری

افزایش فراوانی و فزونی شدت امواج گرمایی یکی از نشانه‌های گرمایش جهانی محسوب می‌شود که این مساله در کشور ما نیز صادق است. در این پژوهش به بررسی نوسانات و تغییرات ماهانه و فصلی رخ داده در فراوانی وقوع و نیز شدت امواج گرمایی در منطقه‌ی شمال غرب ایران در دوره‌ی گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) در بازه‌ی زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ و تاثیرپذیری نوسانات از ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس‌ها و خشکی‌ها و گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساز پرداخته شد. نتایج نشان داد که روند فراوانی رخداد امواج گرمایی از قانون توزیع احتمال ویبول و روند سری زمانی وقوع شدیدترین موج گرما از قانون توزیع احتمال لاگ‌نرمال تبعیت می‌کند که این نشانه‌ای از غیرخطی بودن و پیچیدگی در احتمال فراوانی وقوع و شدت امواج گرمایی دارد. نتایج تحلیل‌های حاصل شده بیانگر آن بود که فراوانی وقوع امواج گرمایی روندی صعودی داشته و بیشترین مقدار رخداد امواج در دهه‌های اخیر بوده است. بررسی تغییرات شدت امواج گرما نیز بیانگر روند صعودی و رشد فزاینده و معنی‌دار رخداد امواج شدید خیلی گرم در منطقه‌ی مورد مطالعه بوده که این نیز در دهه‌های اخیر شدت بیشتری را تجربه کرده است. نتایج آزمون من - کندال نشان داد که روند افزایشی و معنی‌دار در فراوانی وقوع امواج گرم و نیز شدت - وقوع آنها به وضوح اتفاق افتاده است که مجموع نتایج فوق‌الذکر با نتایج مطالعات (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۳۰-۱۷۳۰؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷-۱۷؛ اسماعیل نژاد، ۱۳۹۱ و دارند، ۱۳۹۳: ۱۶۷) مطابقت می‌نماید. بررسی مقادیر ضرایب همبستگی از داده‌های مستخرج نیز بیانگر ارتباط مثبت و معنی‌داری فراوانی و شدت وقوع امواج گرمایی با مقادیر ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس و خشکی، هم در مقیاس ماهانه و هم در مقیاس

فصلی (فصل گرم) می‌باشد. همچنین به تحلیل و آشکارسازی ارتباط فراوانی وقوع و شدت رخداد امواج گرما با داده‌های ۴ گاز گلخانه‌ای مهم انسان‌ساز که شامل: (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆)، می‌باشند پرداخته شد. در مقیاس ماهانه و فصلی بین فراوانی وقوع امواج گرم با گازهای مورد مطالعه ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی ارتباط داده‌هه‌های شدت امواج گرمایی با گازهای گلخانه‌ای حاکی از آن بود که به غیر از ارتباط مثبت و معنی‌دار گاز دی‌اکسیدکربن با شدت امواج گرما در ماه ژوئن در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در هیچ‌یک از ماه‌های دیگر و با گازهای مد نظر در این پژوهش ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده نشد. در مقیاس فصلی نیز اوضاع به همین منوال بوده است و نتایج عدم ارتباط فصلی رخداد امواج گرمایی شدید با گازهای ناشی از فعالیت‌های بشر را بیان می‌کند. در نتیجه می‌توان گفت که روند سری زمانی فراوانی وقوع و نیز شدت امواج گرمایی در طول دوره‌ی مورد مطالعه و در تمامی ماه‌ها و همچنین در طول فصل گرما صعودی و افزایشی بوده است که این امر با افزایش شاخص گرمایش جهانی ارتباط مستقیم و معنادار دارد اما با گازهای گلخانه‌ای ارتباط مثبت و معنی‌داری دیده نمی‌شود. در مجموع میتوان گفت افزایش دما و رخداد بیشتر و شدیدتر امواج گرمایی یکی از نامطلوب‌ترین اثرات افزایش ناهنجاری‌های دمایی و مقوله‌ی تغییر اقلیم است. امواج گرمایی در مناطق با آب‌وهوای نسبتاً سردتر کشور بالاخص شمال غرب ایران، اثرات بسیار شدید زیست‌محیطی، اقتصادی - اجتماعی، آب‌شناختی و غیره از خود به جای خواهد گذاشت. به عنوان نمونه می‌توان به کاهش ذخایر برفی در مناطق کوهستانی که عمده منبع تغذیه منابع آبی هستند اشاره کرد. همچنین آتش سوزی طبیعی جنگل‌ها و مراتع به خاطر گرما و خشکی ناشی از موج گرما، وقوع و شیوع بیماری‌هایی ناشی از گرم‌زدگی و مسمومیت غذایی و نیز فساد تولیدات دامی ولبنی از جمله مسائلی است که رخداد امواج گرمایی می‌تواند در کشور ما بالاخص منطقه‌ی مورد مطالعه بوجود بیاورد. همچنین مساله بسیار مهم بحران تامین انرژی در جریان روزهای توام با امواج گرمایی طولانی و شدیدتر به ویژه تامین انرژی برق نیز بسیار مهم است، زیرا بین میزان مصرف انرژی برق و در نتیجه افت فشار شبکه‌های انتقال انرژی الکتریسیته و میزان گرمی هوا هماهنگی و رابطه زیادی وجود دارد. لذا ضروری است که مدیران و برنامه‌ریزان کشوری بویژه در بخش‌های انرژی، محیط‌زیست، کشاورزی، ذخایر برفی و بویژه بحث خشکی و کم آبی دریاچه‌ی ارومیه، مخاطره‌ی موج گرما که در سال‌های اخیر یکی از بحران‌های فصل گرم محسوب می‌شود را به عنوان مساله‌ای مهم و درخور توجه قلمداد کنند. از نتایج فوق می‌توان چنین اظهار کرد که افزایش گازهای گلخانه‌ای با فزونی فراوانی و شدت رخداد امواج گرمایی، ارتباط مستقیم و معناداری ندارد و شاید بتوان گفت که در ۱۶۴ سال دوره‌ی آماری، افزایش بسامد و شدت امواج گرما تا حدودی تاییدکننده‌ی گرمایش جهانی در شمال غرب کشور می‌باشند. اما این گرمایش ممکن است بدلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای نبوده و ناشی علل طبیعی یا علت‌های دیگری باشد که نیازمند مطالعات و بررسی‌های بیشتری در این زمینه است. از سوی دیگر با عنایت به ادبیات مربوط به تغییرات اقلیمی و نظریات متفاوتی که درباره‌ی تغییر اقلیم نواحی مختلف دنیا مطرح شده است، نمی‌توان با قاطعیت تمام ابراز کرد که روند روبه‌رشد و افزایشی امواج گرمایی شمال غرب ایران ناشی از رخداد تغییر اقلیم در این منطقه است. هرچند اثر نوسانات اقلیمی بر پارامترهایی همچون دما، بارش و امواج گرمایی و سرمایی در ایران بررسی و تایید شده است اما این نکته که روند گرمایش جهانی و به تبع آن تغییر اقلیم تا چه حد و با چه شدتی نواحی مختلف کشور را تحت

تاثیر قرار می‌دهد و روند آتی آن چگونه خواهد بود از نکاتی است که نیاز به تحقیقات گسترده و عمیق‌تری دارد.

منابع

- دارند، محمد. (۱۳۹۳)، شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین، جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۵): ۱۶۷-۱۸۰.
- دارند، محمد. (۱۳۹۳)، واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱(۲): ۱-۳۰.
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، سیدابولفضل، شادمان، حسن. (۱۳۹۲). تحلیل هم‌دید پوششی فراگیرترین روز گرم ایران طی سال ۱۳۴۰ تا سال ۱۳۸۶، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷: ۳۵-۵۲.
- قوبدل‌رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰)، شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج آبر گرم تابستان ۱۳۸۹ ایران، مجله‌ی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۳): ۸۵-۱۰۰.
- قوبدل‌رحیمی، یوسف. (۱۳۹۳)، تحلیلی از مخاطره اقلیمی موج ابر گرم سال ۱۳۸۹ خوزستان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۹(۵۱): ۲۸۹-۳۰۹.
- قوبدل‌رحیمی، یوسف؛ رضایی، محمد. (۱۳۹۳)، تحلیل آماری و سینوپتیک دماهای ابرگرم منطقه جنوب شرق ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۴(۱۵): ۳۵-۵۲.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۸۹) تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸-۱۵ دیماه ۱۳۸۵ در ایران، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۴(۱): ۱۵۱-۱۷۷.
- یزدان پناه، حجت‌الله؛ علیزاده، تیمور. (۱۳۹۰)، برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶(۳): ۱۷۳۰۰-۱۷۳۲۲.
- اسماعیل‌نژاد، مرتضی. (۱۳۹۱)، شناسایی امواج گرمایی ایران و ارتباط آن با الگوهای هم‌دید، رساله‌ی دکتری تخصصی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده‌ی جغرافیا، سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱.
- علیجانی، بهلول؛ روشنی، احمد؛ پرک، فاطمه؛ حیدریف روح‌الله. (۱۳۹۱)، روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از شاخصهای تغییر اقلیم در ایران، مجله‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۲): ۱۷-۲۸.
- IPCC (2001); **Climate Change 2001**, Scientific basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Confalonieri, U, Menne, B, Akhtar, R, Ebi, K.L, Hauengue, M, Kovats, R.S, Revich, B and Woodward, A (2007). **Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry, O. F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK. 391-431.
- Macfarlane, A; R, E, Waller, (1976), "Short-term increases in mortality during heat waves", Nature, 264: 434-436.
- Marc Poumad'ere, Claire Mays, Sophie Le Mer, and Russell Blong(2005). **The 2003 HeatWave in France: Dangerous Climate Change Here and Now, Risk Analysis**, 25(6), 1483-1494.

- EM-DAT: (2007). **The OFDA/CRED International Disaster Database**, Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Accessed April 2007.
- Liliana Carvajal(2007). **Impacts of Climate Change on Human Development**, Human Development Report Office OCCASIONAL PAPER 2007/2008.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. **Climate change: impacts, adaptation and vulnerability, summary for policy makers and technical summary for working group II report**. Geneva: IPCC.
- Meehl, G.A, Washington, W.M, Collins, W.D, Arblaster, J.M, Hu, A, Buja, L.E, Strand, W.G and Teng, H (2005). **How much more global warming and sea level raise?** Science. 307.
- Meehl, G.A, Stocker, T.F, Collins, W. D, Friedlingstein, P, Gaye, A.T, Gregory, J.M, Kitoh, A, Knutti, R, Murphy, J.M, Noda, A, Raper, S.C.B, Watterson, I.G, Weaver A.J. and Zhao, Z.C (2007). **Global climate projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds) Climate change2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter –governmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stott, P., D. Stone, and M. Allen, (2004) .**Human contribution to the European heat wave of 2003**, Nature, **432**, 610–614.
- Beniston, M and Diaz, H.F (2004). **The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland**. Global Planet Change. 44.
- Frich, P, Alexander L.V, Della- Marta, P.M, Gleason, B, Haylock, M, Klein Tank, A.M and Peterson, T (2002). **Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the 20th century**. Clim. Res. **19**, 193-212.
- Founda, D., Papadopoulos, K. H., Petrakis, M., Giannakopoulos, C., & Good, P. (2004). **Analysis of mean, maximum, and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events**. Global and Planetary change, **44(1)**, 27-38.
- Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., & Likso, T. (2003). **Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation**. International Journal of Climatology, **23(9)**, 987-1010.
- Kosatsky T. 2005. **The 2003 European heat waves**. Euro Surveill, **10**:148–149.
- Gerald A. Meehl, Claudia Tebaldi (2004). **More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century**, Science Translational Medicine 305 (5686), 994-997. [doi: 10.1126/science.1098704].
- J Garson, C Harsens, J de Beer. (2005). **THE EFFECT OF THE SUMMER 2003 HEAT WAVE ON MORTALITY IN THE NETHERLANDS, EURO SURVEILLANCE VOL. 10 Issues 7 - 9 Jul - Sept 2005**.
- Katharine Hayhoe, Scott Sheridan, Laurence Kalkstein, Scott Greene (2010). **Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago**, Journal of Great Lakes Research, **36**, 65–73.
- Christophe Cassou, Laurent Terray(2005). **Tropical Atlantic Influence on European Heat Waves**, Journal of Climate, **18**, 2805-2811.
- Barnett, A. G., Hajat, S., Gasparrini, A., & Rocklöv, J. (2012). **Cold and heat waves in the United States**. Environmental research, **112**, 218-224.
- 32- S. E. Perkins, L. V. Alexander, J. R. Nairn (2012). **Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells**, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L20714, doi: 10.1029/2012GL053361, 2012.
- Tanja Wolf, Glenn McGregor (2013). **The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom**, WeatherandClimateExtremes, 1 (2013)59–68.

Labajo, Á. L., Egado, M., Martín, Q., Labajo, J., & Labajo, J. L. (2014). **Definition and temporal evolution of the heat and cold waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010.** *Atmósfera*, **27(3)**, 273-286.

Dashkhuu, D., Kim, J. P., Chun, J. A., & Lee, W. S. (2014). **Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia.** *Weather and Climate Extremes*.

Miroslava Unkašević, Ivana Tošić (2014). **Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949–2012,** *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-014-1154-7.

Guido Ceccherini, Simone Russo, Iban Amezttoy, Claudia Patricia Romero, and Cesar Carmona-Moreno (2016). **Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America,** *Natural Hazards and Earth System Science.*, **16**, 821–831.

www.cpc.noaa.gov