

شناسایی امواج سرما و تحلیل زمانی - مکانی آنها بر روی ایران زمین

محمد دارند: استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران *

وصول: ۱۳۹۱/۷/۸ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۲، صص ۲۶۸-۲۵۳

چکیده

در این پژوهش به کمک داده‌های دمای کمینه درونیابی شده‌ی روزانه‌ی پایگاه داده‌ی آسفرزای طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ (۱۵۷۰۶ روز) امواج سرمای ایران زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. پایگاه داده‌ای در ابعاد ۱۷۱۸۷×۱۵۷۰۶ ایجاد شد که بر روی ستونها یاخته‌ها و بر روی ردیف‌ها روزها قرار داشتند. برای شناسایی امواج سرما از ۶ نمایه‌ی مختلف بر پایه‌ی صدک ۱۰، ۵ و ۱م استفاده شد. نمایه‌ها دوام، شدت و بسامد امواج سرما را می‌سنجند. سپس در سطح اطمینان ۹۵ درصد معناداری روند نمایه‌ها بر روی هر یاخته به کمک روش ناپارامتری من-کندال، مورد آزمون قرار گرفت. نرخ و شیب روند نیز با استفاده از روش رگرسیون خطی محاسبه شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که نه تنها از بسامد رخداد امواج سرمای ایران کاسته شده، بلکه دوام و شدت آنها نیز طی دوره‌ی مورد پژوهش روند نزولی از خود نشان می‌دهند. تنها بر روی گستره‌ی کوچکی از ایران زمین، بر روی بلندیاها، روند امواج سرما مثبت است. بر روی مناطق کم‌ارتفاع و دشت‌های داخلی ایران روند منفی است. شدت و نرخ روند کاهش نمایه‌ها در همه‌ی نقاط یکسان نیست. بیشترین نرخ روند کاهش نمایه‌های امواج سرما در شمال تهران و منطقه‌ی بین یاسوج و شیراز مشاهده شد. افزایش آستانه‌های صدکی دمای کمینه بیانگر کاهش شدت امواج سرما و افزایش دمای کمینه (شبان) بر روی ایران زمین است. همچنین یافته‌ها نشان داد که نرخ کاهش امواج سرمای بادوام و طولانی شدیدتر از نرخ کاهش امواج سرمای زودگذر و کوتاه مدت است.

واژه‌های کلیدی: موج سرما، پایگاه داده اسفرزای، تحلیل زمانی-مکانی، ایران.

مقدمه

بوجود آمده و تشدید می‌شوند (کاتز و براون، ۱۹۹۲؛ پلامر و همکاران، ۱۹۹۹). افزایش میانگین دمای جهانی طی قرن بیستم بویژه طی ۳۰ سال اخیر، مَشُوق قوی برای پژوهشگران جهت بررسی تغییر اقلیم بوده است (کونی و همکاران، ۲۰۰۸). پژوهشگران براین باورند افزایش رخداد مقادیر فرین دما، تغییرات رفتار سنجه‌های هواشناسی و اقلیمی نشانه‌هایی از تغییر اقلیم به شمار می‌روند. در فهرست نمایه‌های معرفی شده توسط موسسات پژوهشی جهت شناسایی تغییر

مخاطرات جوی و اقلیمی مخرب‌ترین و کشنده‌ترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان هستند که منجر به نابودی حیات، ضرر و زیانهای مالی و اجتماعی فراوانی می‌شوند (نوتر، ۱۹۹۹؛ سو و همکاران ۲۰۰۶). آثار انسانی و طبیعی این‌گونه رخدادهای جوی به جای اینکه در اثر تغییرات میانگین‌های اقلیمی حادث شوند، در اثر تناوب بسامد و شدت شرایط جوی فرین مرتبط با دما، بارش یا جنبه‌های دیگری از اقلیم

است و نمایه‌های فرین سرد بطور قابل ملاحظه‌ای روند کاهشی از خود نشان می‌دهند. در یک پژوهشی دیگر الکساندر و همکاران (۲۰۰۷) در استرالیا به نتایجی مشابه دست یافتند. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات دما و بارش فرین روزانه را در حوضه رودخانه زرد چین مطالعه کردند. یافته‌ها بیانگر آن است که در کل حوضه روند روزهای گرم و شب‌های گرم افزایشی و معنادار و برعکس روند بسامد روزهای سرد و شب‌های سرد کاهشی و معنادار است. مونیرشیخ و همکاران (۲۰۰۸) تغییرات نمایه‌های فرین اقلیم را بررسی کردند و اثرات اجتماعی اقتصادی آن را بر کشورهای جنوب آسیا واکاوی کردند. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که تغییرات در بسامد رخداد فرین‌های دما بیانگر گرمایش در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. تغییرات مکانی روند فرین‌های دما بیانگر گرمایش قابل ملاحظه‌ی مناطق شرقی هیمالیا است و شدت گرمایش بیابان تار بیشتر از بخش‌های دیگر پاکستان و هندوستان است. اسلام و رحمان (۲۰۰۸) تغییرات بسامد دوام دوره‌های سرد و گرم را در پاکستان به کمک مدل منطقه‌ای PRECIS شبیه‌سازی کردند. یافته‌های این پژوهشگران نیز بیانگر کاهش معنادار بسامد رخداد دوره‌های سرد و افزایش اندک دوره‌های گرم است. ولی پژوهش‌هایی نیز وجود دارند که نشان می‌دهند بسامد یا شدت رخداد امواج سرما کاهش معناداری نداشته یا بدون تغییر بوده و یا حتی افزایش یافته‌اند که دلیل آن را تغییرات الگوهای گردش جوی می‌دانند (وینسینت و همکاران، ۲۰۰۵). واوروس و همکاران (۲۰۰۶) نیز که به کمک مدل گردش عمومی جو رفتار امواج سرما را واکاوی کردند به این نتیجه رسیدند که در بخش‌های غربی

اقلیم، تغییرات رخداد امواج سرما و گرما دیده می‌شود. امواج گرما و سرما بر روی هر منطقه بصورت مقادیر فرین بالا و پایین‌تر از حد معمول دما طی چند روز متوالی رخنمود پیدا می‌کنند. بنابراین دوام یکی از ویژگی‌های اصلی امواج گرما و سرما به شمار می‌رود که اثرات معناداری بر سلامت، کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و تولید و مصرف انرژی دارد. گارسیا-هیریا و همکاران (۲۰۰۵) نقش فرین‌های تابستانی دما بر سلامت را در شبه جزیره ایبری مطالعه کردند. در یک مطالعه‌ی دیگر تریگو و همکاران (۲۰۰۵) با نگاه همدید موج گرمای تابستان سال ۲۰۰۳ را در اروپا بررسی کردند و نشان دادند که موج گرمای یاد شده در سال ۲۰۰۳ نقش مهمی در افزایش نرخ مرگ و میر بویژه در کشور فرانسه داشت. پیریرا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که از اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ بسامد رخداد امواج گرما در کشور پرتغال روبه افزایش است و افزایش بسامد آتش‌سوزی جنگل در این کشور طی چند سال اخیر را ناشی از روند افزایشی امواج گرما در این کشور می‌دانند. یافته‌های بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بسامد رخداد روزهای فرین سرد و امواج سرما روبه کاهش است. برای نمونه سالینگر و گریفیتس (۲۰۰۱) با مطالعه‌ی روند دما و بارش فرین روزانه در نیوزیلند نشان دادند که بسامد نمایه‌های فرین گرم تغییرات معناداری نداشته است ولی روند نمایه‌های فرین سرد کاهشی بوده و به لحاظ آماری معنادار است. الکساندر و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات فرین‌های دما و بارش را در مقیاس جهانی مطالعه کردند. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که تغییرات رفتار نمایه‌های دمای بیشینه به نسبت به تغییرات دماهای کمینه کمتر

حاکم بوده و در تمام دوره سرما با ایجاد بلوکینگ موجب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به طرف ایران شده است. حضور ناوهای عمیقی از طرف شرق مدیترانه در ترازهای بالای جو باعث تقویت و ریزش سرما بر روی این مناطق بوده است. لشکری (۱۳۸۷) به مطالعه‌ی شرایط همدیدی موج سرمای فراگیر ۲۰ تا ۲۵ آذرماه سال ۱۳۸۲ پرداخت. دلیل رخداد چنین موج سرمای نفوذ زبانه‌ای از پر فشار سیبری که در اطراف دریاچه بایکال شکل گرفته بود دمای هوا افت قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده که کاهش دما در اکثر ایستگاه‌ها بیش از ۱۵ درجه سلسیوس بوده است. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مرکز پارتفاع از قبل از شروع موج سرما بر روی شرق اروپا قرار داشت که در روزهای بعد در محدوده شمال غرب دریای خزر و شرق اوکراین استقرار پیدا کرده و باعث حرکت کند ناوه و بلوکه شدن آن در شرق ایران و افغانستان شد به طوری که برای مدت ۴ تا ۵ روز بخش اعظم کشور به خصوص نیمه غربی آن تحت تاثیر یک پشته عمیق قرار گرفته و سبب تداوم ریزش هوای سرد بر روی ایران گردید. در یک مطالعه‌ی دیگر لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹) به تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸-۱۵ دیماه سال ۱۳۸۵ ایران پرداختند. یافته‌ها نشان داد که در ترازهای زیرین جو زبانه‌ی سردی از نزدیکی قطب و با امتداد شمال-جنوب منجر به فرارفت هوای سرد عرض‌های شمالی به سمت ایران شده و تا نیمه‌ی جنوبی ایران را در بر گرفته است. در تراز میانی جو در روز شروع موج سرما مرکز کم‌ارتفاعی بر روی شمال سیبری مشاهده می‌شود که تا جنوب ایران گسترش داشته و تا روز چهارم موج سرما دوام داشته است. در تراز ۳۰۰

امریکای شمالی و اروپا و با شدتی کمتر بر روی کلاهک‌های قطبی بسامد رخداد امواج سرما روبه افزایش است و دلیل آن را قرارگیری در قسمت پایین دست سردچال‌های جوی می‌دانند. در ایران نیز پژوهش‌های بر روی امواج سرما انجام شده است. زندی (۱۳۸۴) به تغییرات آب و هوایی و سرماهای شدید ایران پرداخت. نتایج وی نشان داد که هسته‌های سرما به سمت روزهای پایانی آبان و آذر جابه‌جا شده‌اند و بیشترین فراوانی هسته‌های سرما مربوط به اواخر آبان، آذر و اوایل ماه دی است. عزیزی و همکاران (۱۳۸۶) موج سرمای شدید دی‌ماه سال ۱۳۸۶ ایران را با نگاه همدیدی تحلیل کردند. نتایج آنها نشان داد که در سراسر ژانویه ۲۰۰۸ به طور مداوم سامانه بندالی حاکمیت داشته است. همچنین باد گرمایی در جنوب کشور و بر روی خلیج فارس و دریای عمان و کرانه‌های آن با سرعتی بیش از ۳۰ متر بر ثانیه از شدت سرمای مناطق جنوبی کشور کاسته است. به نظر می‌رسد که بالاتر بودن دمای حداقل ایستگاه‌های اهواز، بوشهر، بندرعباس، شیراز، کرمان و چابهار به همین علت باشد. امیدوار و ابراهیمی (۱۳۹۱) نیز به تحلیل همدیدی موج سرمای شدید ۱۶ تا ۲۵ دی‌ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی (استان-های اصفهان، کرمان و یزد) پرداختند. نتایج نشان داد که این موج سرما از نوع فرارفتی بوده و طی روزهای برف و یخبندان، پرفشاری روی روسیه در شمال خزر مستقر بود. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز پارتفاع ۱۶۰ ژئوپتانسیل دکامتر بر روی روسیه بسته شده و به طور مرتب با حرکت و اچرخندی خود هوای سرد عرض‌های بالا را به طرف ایران هدایت می‌کرد. این توده هوای جبهه‌ای به مدت ۱۰ روز بر شمال ایران

هکتوپاسکال نیز شرایط همسان با تراز ۵۰۰ بوده است. مسعودیان و دارند (۱۳۸۹) به تحلیل همدید سرماهای فرین ایران پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سرماهای فرین ایران حاصل ۵ الگوی گردشی می‌باشند: ۱- الگوی پرفشار سبیری- اروپا؛ ۲- الگوی پرفشار سبیری- کم‌فشار ایسلند؛ ۳- الگوی پرفشار سبیری؛ ۴- الگوی پرفشار شمال خزر- سبیری؛ ۵- پرفشار شمال دریای خزر. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) هسته‌های زمانی و مکانی دماهای حداقل غرب و شمال غرب ایران را مطالعه کردند. نتایج بیانگر جابه‌جایی هسته‌های زمانی رخداد سرماهای شدید غرب و شمال غرب ایران است. بدین صورت که هسته‌های زمانی شاخص سالانه از اوایل ماه فوریه و اواخر ماه ژانویه به سوی اوایل ماه ژانویه و حتی اواخر ماه دسامبر جابه‌جایی نشان می‌دهند ولی این جابه‌جایی در سطح احتمالاتی ۵ درصد معنادار نیست و دمای موج‌های شاخص روندی نزولی نشان می‌دهند. با نگاهی به ادبیات و پیشینه پژوهش بر روی امواج سرما می‌توان متوجه شد که بیشتر پژوهش‌ها با نگاه همدیدی و مطالعه موردی امواج سرما را مورد مطالعه و واکاوی قرار داده‌اند. هدف این پژوهش شناسایی امواج سرما و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی آنها بر روی گستره‌ی ایران زمین طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ ال ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ است.

مواد و روش

در این پژوهش به کمک نمایه‌ی مختلف که شدت، بسامد و دوام امواج سرما را مورد ارزیابی قرار می‌دهند، امواج سرمای ایران زمین طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ مورد مطالعه قرار گرفت. برای انجام این پژوهش از داده‌های درون‌یابی

شده‌ی دمای کمینه‌ی پایگاه داده‌ی اسفزاری، در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ (۱۵۷۰۶ روز) استفاده شد. داده‌های درون‌یابی شده بر روی یاخته‌هایی با ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر بر روی گستره‌ی ایران درون‌یابی شدند (۷۱۸۷ یاخته) و برای هر روز یک نقشه تهیه شد که در نهایت ۱۵۷۰۶ نقشه حاصل شد. سپس داده‌های درون‌یابی شده از نقشه‌ها استخراج شد و ماتریسی در ابعاد ۷۱۸۷×۱۵۷۰۶ بدست آمد که بر روی ستونها یاخته‌ها و بر روی ردیف‌ها روزها قرار داشتند. پژوهشگران بر این باورند که معرفی آستانه‌ی عددی خاصی جهت شناسایی امواج سرما در مناطق مختلف جهان، منطقی و درست نیست چراکه شرایط محیطی و اقلیم مناطق مختلف باهم یکسان نیستند. به نظر می‌رسد که آستانه‌های صدکی برای هر نقطه (ایستگاه یا یاخته) به صورت جداگانه دقیق‌تر باشند. بنابراین برای نمونه برای دو شهر اردبیل و اهواز آستانه‌های صدکی کاملاً متفاوت بدست خواهد آمد. بیشتر پژوهشگران برای مطالعه‌ی امواج سرما، آستانه‌های صدکی ۱۰، ۵ و ۱ را معرفی کرده‌اند (دیگایانو، ۱۹۹۶؛ کونی و همکاران، ۲۰۰۸). در این پژوهش نیز از آستانه‌های صدکی یاد شده برای شناسایی امواج سرما استفاده شد. جدول ۱ فهرست نمایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد. همانطور که از تعریف نمایه‌ها مشخص است نمایه‌های یاد شده علاوه بر شناسایی امواج سرما، شدت، دوام و بسامد آنها را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهند. نمایه‌ی اول، میزان صدک ۵، ۱۰ و ۱۰۰ دمای کمینه‌ی سالانه است که با $100p$ ، $10p$ و p نشان داده شده است. به کمک این نمایه، آستانه و مرز رخداد سرما برای هر سال و هر یاخته جداگانه تعریف می‌

طولانی‌ترین موج سرما در هر سال را محاسبه می‌کند. همچنین نمایه‌ی پنجم برپایه‌ی میانگین دمای سردترین سه شب پیایی در هر سال است. نمایه‌ی ششم برپایه‌ی دوره‌ی مبنای هواشناسی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ محاسبه می‌شود که دمای کمینه دست‌کم ۶ روز پیایی کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره‌ی مبنای باشد.

شود. نمایه‌ی دوم، بیانگر تعداد دنباله‌ها (امواج سرما) برای هر یاخته در هر سال است. مقصود از موج سرما، روزهای پیایی است که دمای کمینه کمتر از آستانه و مقدار صدک ۱۰،۵ و ۱۰ام برای همان یاخته است که به صورت دنباله‌های جدا از هم هستند. نمایه‌ی سوم و چهارم، دوام امواج سرما را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. نمایه‌ی سوم میانگین طول دنباله‌ی امواج سرما در هر سال و نمایه‌ی چهارم

جدول ۱- نمایه‌های شناسایی امواج سرما

شماره	نام نمایه	تعریف	یکا
۱	10p, 5p و 1p	میزان صدک ۱۰،۵ و ۱۰ام دمای کمینه برای هر سال جداگانه طی دوره‌ی پژوهش	درجه‌ی سلسیوس
۲	تعداد دنباله-ها (NR)	تعداد دنباله‌های روزهای پیایی (۱ روز یا بالاتر) در هر سال که دمای کمینه برابر یا کوچکتر از صدک ۱۰،۵ و ۱۰ام کل دوره باشد	روز
۳	میانگین طول دنباله‌ها (ARL)	میانگین طول دنباله‌های روزهای پیایی در هر سال که دمای کمینه برابر یا کوچکتر از صدک ۱۰،۵ و ۱۰ام کل دوره باشد.	روز
۴	طولانی‌ترین دنباله (MRL)	طولانی‌ترین دنباله‌ی روزهای پیایی که دمای کمینه برابر یا کوچکتر از صدک ۱۰،۵ و ۱۰ام کل دوره باشد.	روز
۵	نمایه‌ی کمینه‌ی دما (MTI)	میانگین سردترین سه شب پیایی دمای کمینه (شبانه) در هر سال	درجه‌ی سلسیوس
۶	نمایه‌ی دوام دوره‌ی سرد (CSDI)	تعداد روزهایی از سال که دست‌کم ۶ روز پیایی دمای شبانه (کمینه) کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره‌ی مبنای (دوره‌ی ۱۹۷۱-۲۰۰۰) باشد.	روز

این نمایه توسط تیم کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها (ETCCDI) معرفی شده است.

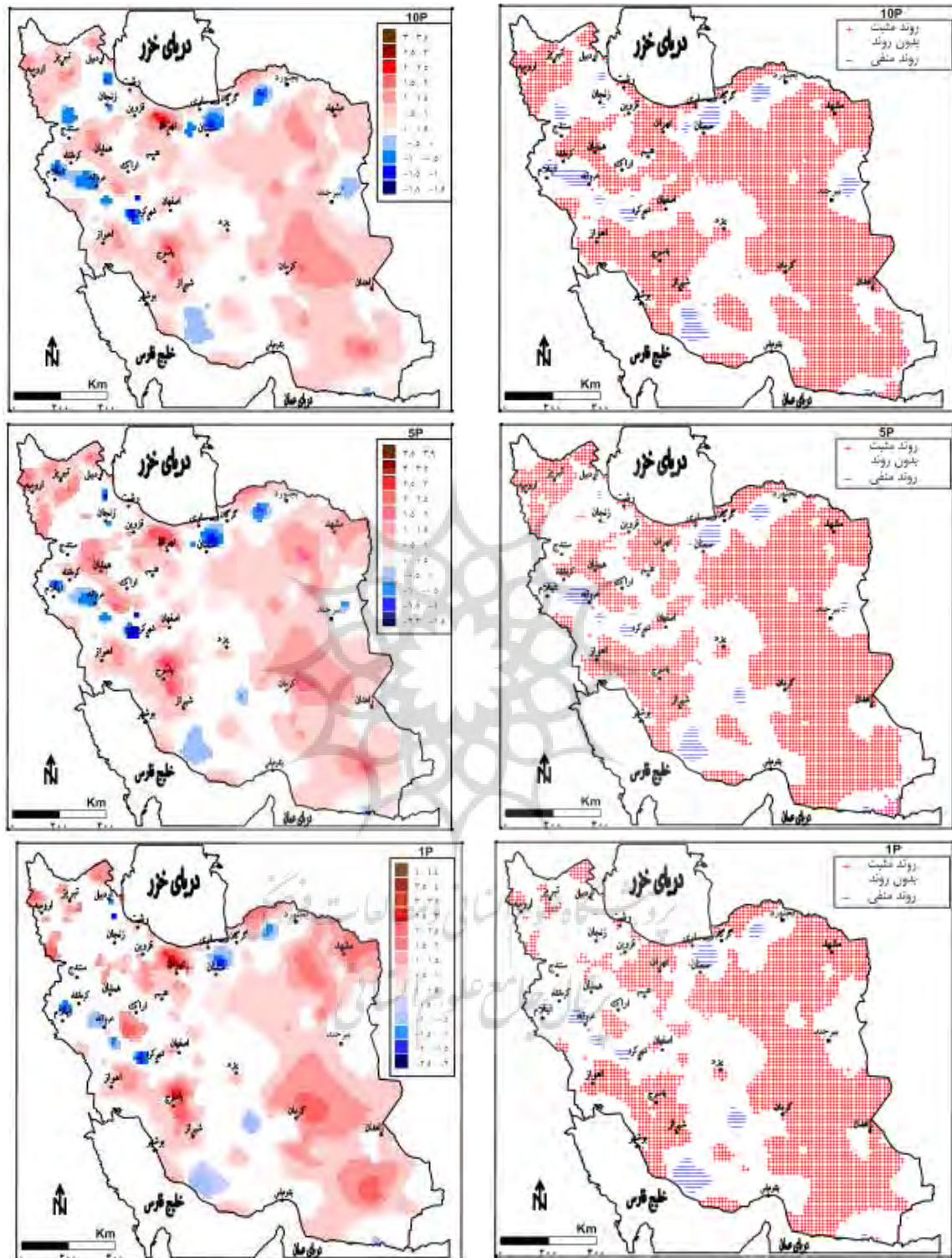
یافته‌های پژوهش

صدک ۱۰، ۵ و ۱۰ام دمای کمینه نتایج آزمون روند بر روی نمایه‌ی صدک ۱۰ام دمای کمینه در شکل ۱ نشان داده شده است. بر روی نقشه-های مناطقی که در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معناداری داشته‌اند نشان داده شده است. نقاطی که دارای روند مثبت بوده‌اند با علامت مثبت و رنگ قرمز

برای هر کدام از یاخته‌ها (۷۱۸۷) نمایه‌ها محاسبه شد و به کمک آزمون روند ناپارامتریک من‌کنندال معناداری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. سپس به کمک روش خطی مقدار شیب روند در مناطقی که روند معناداری داشتند، برای نمایه‌ها محاسبه شد. مقادیر شیب روند بر روی نقشه‌ها به ازای هر دهه نشان داده شده است.

و نقاطی که در آن نمایه‌ی یاد شده کاهش یافته است، با رنگ آبی و علامت منفی نمایش داده شده است. با نگاهی به نقشه می‌توان متوجه شد که بر روی بیشتر گستره‌ی ایران زمین روند مثبت بوده و میزان این نمایه افزایش یافته است. گستره‌ی روند مثبت حدود ۵۸ درصد است و تنها بر روی حدود ۳ درصد از پهنه‌ی ایران روند منفی است. روند مثبت بر روی مناطق هموار و دشت‌های کم‌ارتفاع دیده می‌شود درحالی‌که روند منفی بر روی مناطق مرتفع و بلندیها بصورت پراکنده مشاهده می‌شود. بیشترین شیب روند افزایشی این نمایه در شمال تهران مشاهده شد که برابر با حدود ۳ تا ۳/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر دهه است. همچنین بیشترین نرخ روند کاهش‌ی نمایه‌ی صدک ۱۰م مربوط به بخش‌های غربی شهرکرد است که بیش از ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای ده سال کاهش یافته است. نتایج حاصل از آزمون روند بر روی مقادیر نمایه‌ی صدک ۵م نیز به لحاظ مکانی نسبتاً شبیه به صدک ۱۰م است. نرخ روند تاحدودی متفاوت است و میزان گستره‌ی روند مثبت حدود ۴ درصد کاهش یافته است. بر روی ۵۳/۷ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند مثبت و بر روی ۲/۶ درصد روند منفی است. بر روی شمال تهران نرخ کاهش‌ی

این نمایه ۳/۵ تا ۳/۹ درجه‌ی سلسیوس به ازای هر دهه است. بر روی بخش‌های غربی شهرکرد نرخ کاهش‌ی روند ۱/۵ تا ۲/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای دهه است. روند مقادیر نمایه‌ی صدک ۱۰م نیز تقریباً شبیه به دو نمایه‌ی دیگر است ولی گستره‌ی روند مثبت نسبت به نمایه‌ی صدک ۱۰م، ۱۲ درصد و نسبت به نمایه‌ی صدک ۵م حدود ۸ درصد کاهش یافته است. بیشترین شیب روند افزایشی همچنان بر روی شمال تهران و کمترین آن بر روی بخش‌های غربی شهرکرد قرار دارد. میزان و نرخ افزایشی شیب روند بر روی شمال تهران حدود ۴ تا ۴/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و بر روی بخش‌های غربی شهرکرد بین ۲ تا ۲/۵ درجه است. بطور کلی می‌توان گفت که بر روی مناطق پست و دشت‌های داخلی گستره‌ی ایران نمایه‌های صدک ۱۰، ۵ و ۱۰م دمای کمینه افزایش یافته است. به بیانی دیگر میزان دمای کمینه (شبان) در این گونه مناطق افزایش یافته است و از شدت سرماهای شبانه کاسته شده است. تنها بر روی گستره-ی کوچکی از ایران زمین (حدود ۳ درصد) بر روی بلندیها میزان دمای کمینه کاهش یافته است. شدت کاهش‌ی دماهای کمینه فرین به نسبت بیشتر بوده است.



شکل ۱- روند نمایه‌های صدک ۱۰، ۵ و ۱م دمای کمینه (سمت راست) و مقادیر شیب روند (سمت چپ)

تعداد دنباله‌های یک روزه و بیشتر (NR)

کوههای البرز مشاهده شد. نتایج آزمون روند بسامد امواج سرما بر پایه‌ی صدک ۱۰م با دو نمایه‌ی قبلی متفاوت است. به لحاظ مکانی از گستره‌ی روند مثبت کاسته شده است و همچنین از شیب و نرخ روند مناطقی که روند آنها معنادار هستند کاسته شده است. برپایه‌ی این نمایه بر روی حدود ۳۵ درصد از گستره-ی ایران زمین روند منفی و تنها در ۲ درصد از پهنه‌ی ایران روند مثبت است. بیشترین شیب روند مثبت بر روی شمال سمنان مشاهده شد که برابر با ۱ تا ۱/۴ روز در هر ده سال بسامد امواج سرما افزایش یافته است و شدیدترین نرخ کاهشی بر روی شمال تهران، استان سیستان و بلوچستان مشاهده شد که برابر با ۱/۵ تا ۲/۱ روز از تعداد امواج سرما کاسته شده است.

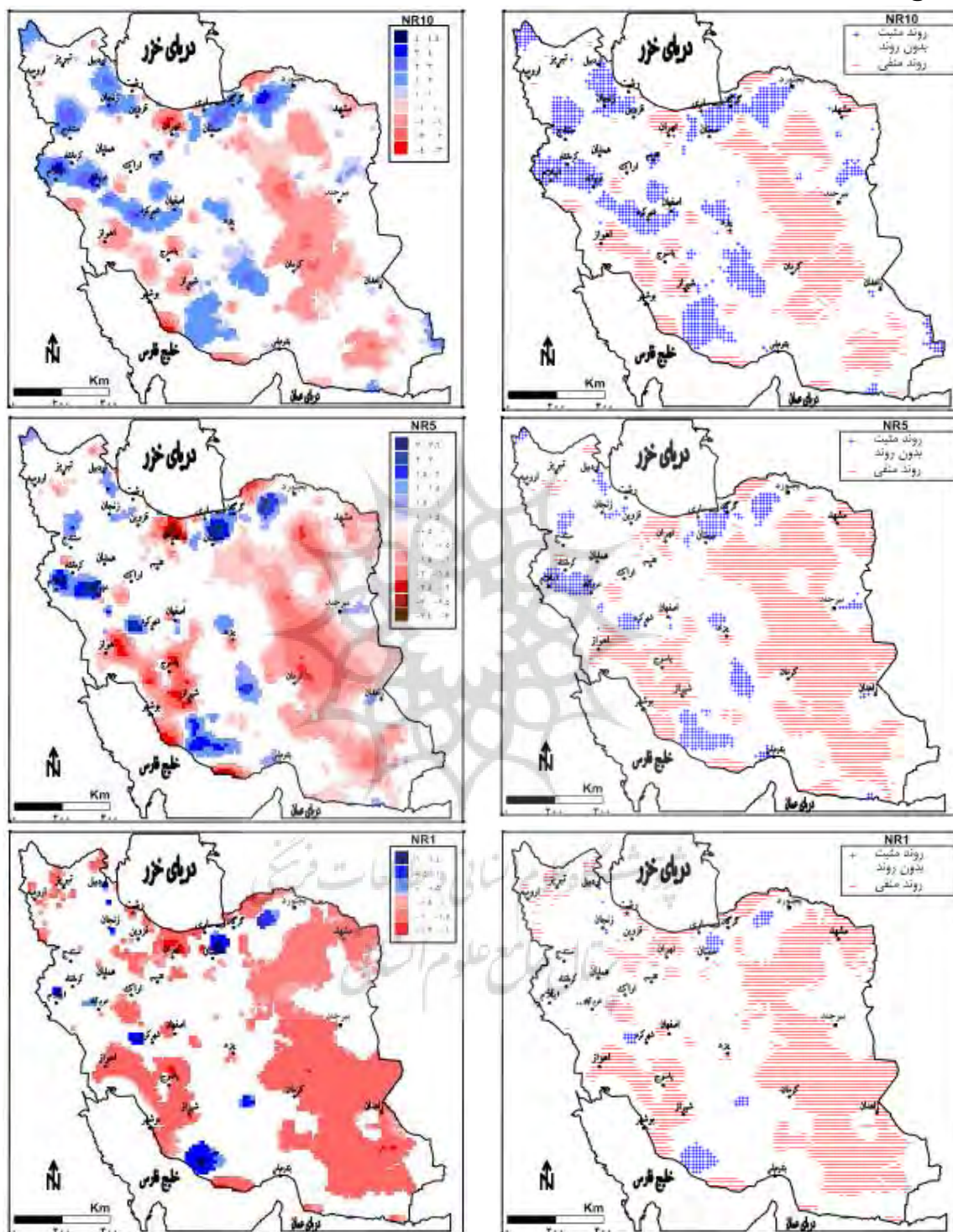
میانگین دوام امواج سرما (ARL)

نتایج آزمون روند دوام امواج سرما بر پایه‌ی صدک ۱۰م در شکل ۳ نشان داده شده است. روند دوام امواج سرما بر پایه‌ی صدک ۱۰م نشان داد که بر روی ۵۳ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند منفی است و تنها بر روی برخی نقاط که ۰/۳ درصد از گستره‌ی ایران را در بر دارد روند مثبت است. این موضوع نشان می‌دهد که از دوام امواج سرما بر روی ایران طی دوره‌ی مورد بررسی کاسته شده است. بیشترین نرخ کاهشی دوام امواج سرما بر روی جنوب یاسوج مشاهده شد که به ازای هر ده سال ۳ روز از دوام موجهای سرما کاسته شده است. در شمال غرب همدان نیز حدود ۲ روز به ازای هر دهه نرخ امواج سرما کاسته شده است. دوام امواج سرما بر پایه‌ی صدک ۱۰م بر روی حدود ۱۲ درصد از گستره‌ی ایران زمین در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معناداری از خود نشان می‌دهند که بصورت روند منفی است. بر پایه‌ی صدک ۱۰م در هیچ نقطه‌ای روند مثبت مشاهده نشد. روند دوام امواج سرمای بر پایه‌ی صدک ۱۰م بر روی ایران

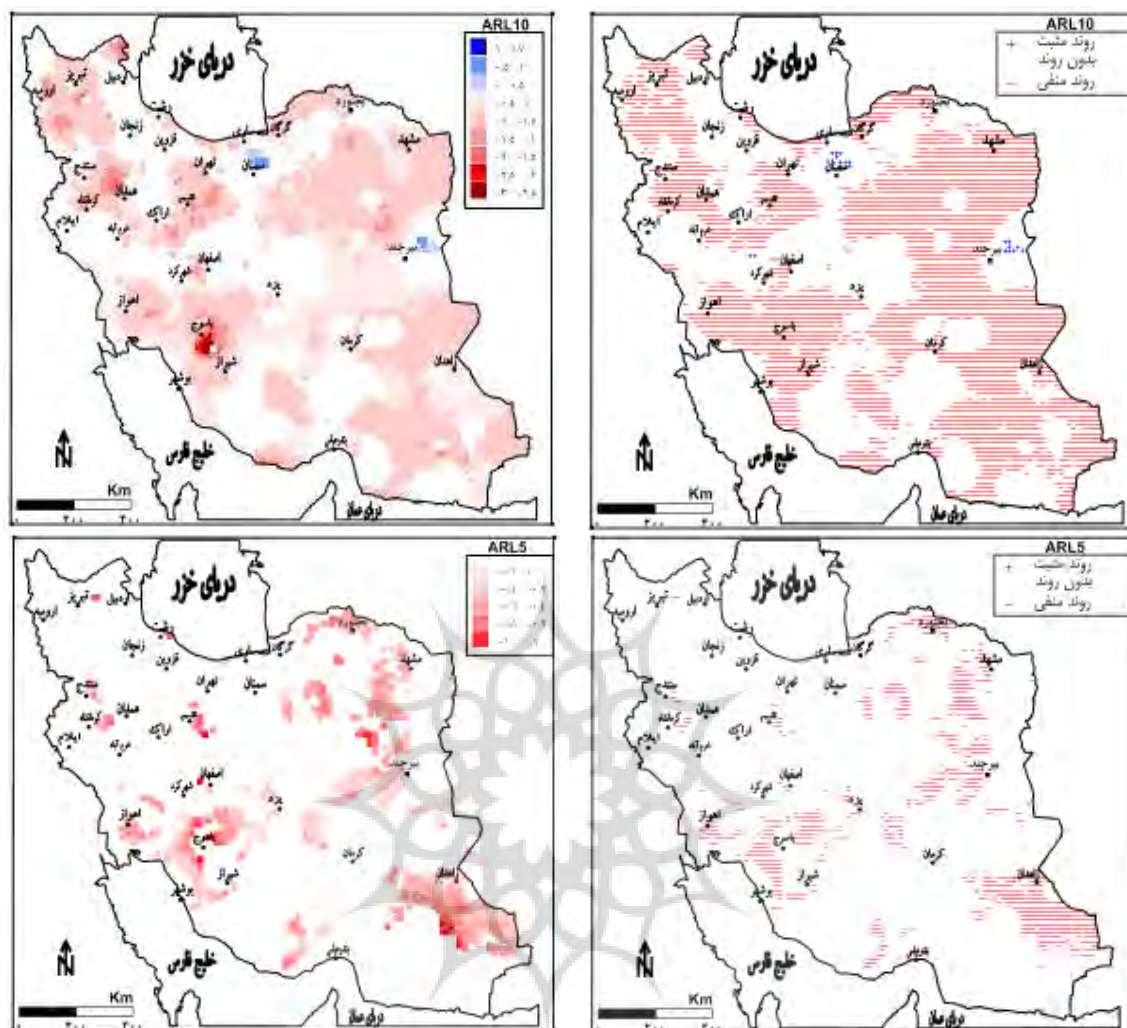
همانطور که از عنوان این نمایه برمی‌آید این نمایه بسامد و تعداد دنباله‌ها یا امواج سرمای یک روزه و بیشتر را بر پایه‌ی صدک‌های ۱۰، ۵ و ۱۰م کل دوره می‌سنجد. در شکل ۲ نتایج آزمون روند بر روی تعداد دنباله‌ها بر پایه‌ی صدک ۱۰، ۵ و ۱۰م آمده است. روند مثبت با علامت مثبت و با رنگ آبی و روند منفی با رنگ قرمز و علامت منفی نشان داده شده است. نتایج آزمون روند بر روی تعداد دنباله‌ها بر پایه‌ی صدک ۱۰م نشان می‌دهد که بر روی حدود ۲۴ درصد از گستره‌ی ایران در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روند منفی و معنادار و بر روی ۱۵ درصد پهنه‌ی ایران، روند مثبت است. روند مثبت بر روی ارتفاعات و بلندیهای دو رشته کوه زاگرس و البرز مشاهده می‌شود درحالی‌که روند منفی بر روی دشت‌های داخلی و مناطق کم‌ارتفاع دیده می‌شود. بیشترین شیب روند منفی تعداد امواج سرما بر روی شمال تهران با نرخ ۳ تا ۴ روزه ازای هر دهه رو به کاهش است و بیشترین نرخ روند افزایشی بسامد امواج سرما بر روی شمال ایلام و غرب خرم‌آباد مشاهده شد که به ازای هر ده سال حدود ۴ تا ۴/۵ روز بر تعداد امواج سرما افزوده شده است. نتایج آزمون روند بسامد امواج سرمای یک روزه و بیشتر بر پایه‌ی صدک ۱۰م با نمایه‌ی قبلی (بر پایه‌ی صدک ۱۰م) متفاوت است. بر روی حدود ۳۶ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند تعداد امواج سرما منفی است و تنها بر روی حدود ۷ درصد از پهنه‌ی ایران زمین روند مثبت است. همانند نمایه‌ی قبلی روند مثبت بر روی بلندیها و ارتفاعات و روند منفی بر روی دشت‌های داخلی و مناطق کم‌ارتفاع دیده می‌شود. شدیدترین نرخ کاهشی امواج سرما بر روی شمال تهران با نرخ ۳ تا ۳/۴ روز در هر ده سال مشاهده شد درحالی‌که بیشترین نرخ افزایشی بر روی بلندیهای غرب شهرکرد، شمال ایلام، شمال سمنان و جنوب غرب استان خراسان شمالی بر روی رشته

روند آن نیاورده شده است.

در هیچ نقطه‌ای معنادار نبود. به همین دلیل نقشه‌ی



شکل ۲- روند تعداد دنباله‌ها (امواج سرما) بر پایه‌ی نمایه‌های صدک ۱۰، ۵ و ۱۱ دمای کمینه (سمت راست) و مقادیر شیب روند (سمت چپ)



شکل ۳- روند دوام دنباله‌ها (امواج سرما) بر پایه‌ی نمایه‌های صدک ۱۰ و ۵۰ دمای کمینه (سمت راست) و مقادیر شیب روند (سمت چپ)

طولانی‌ترین امواج سرما (MRL)

روند طولانی‌ترین امواج سرما نیز نمایه‌ای است که یکی دیگر از جنبه‌های امواج سرما را بررسی می‌کند. تغییرات و روند این نمایه نیز همانند سایر نمایه‌های دیگر بر پایه‌ی سه آستانه‌ی صدکی ۱۰، ۵ و ۰ ام محاسبه شد. نتایج نشان داد که بر روی بیشتر گستره‌ی ایران زمین روند امواج سرمای طولانی کاسته شده است. به بیانی دیگر امواج سرما کوتاه‌تر شده‌اند و از دوام آنها کاسته شده است. نتایج حاصل از روند امواج

سرمای طولانی بر پایه‌ی صدک ۱۰ ام نشان داد که بر روی ۵۶ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند کاهشی است و تنها بر روی ۰/۸ درصد روند مثبت است که بیشتر بر روی شمال سمنان مشاهده شد. شدیدترین نرخ روند کاهشی امواج سرمای طولانی در شمال غرب تهران و بین یاسوج و شیراز دیده شد که ۸ الی ۱۱ روز به ازای هر دهه از دوام آنها کاسته شده است. از لحاظ پراکنش مکانی روند مثبت بر روی دشت‌ها و مناطق کم‌ارتفاع بویژه دشت‌های واقع در نیمه‌ی شرقی

میانگین دمای کمینه‌ی سردترین سه شب پیاپی بیانگر افزایش دمای شبانه و کاهش شدت امواج سرما است که در بیشتر گستره‌ی ایران زمین اتفاق افتاده است. نرخ افزایشی شدت این نمایه بر روی شمال تهران به بیشینه‌ی حد خود می‌رسد و برابر با ۴ الی ۴/۵ درجه-ی سلسیوس به ازای هر دهه است. بر روی بخش‌های غربی شهرکرد و شمال سمنان نرخ کاهش‌ی روند به ۲ الی ۲/۵ درجه‌ی سلسیوس می‌رسد (شکل ۵).

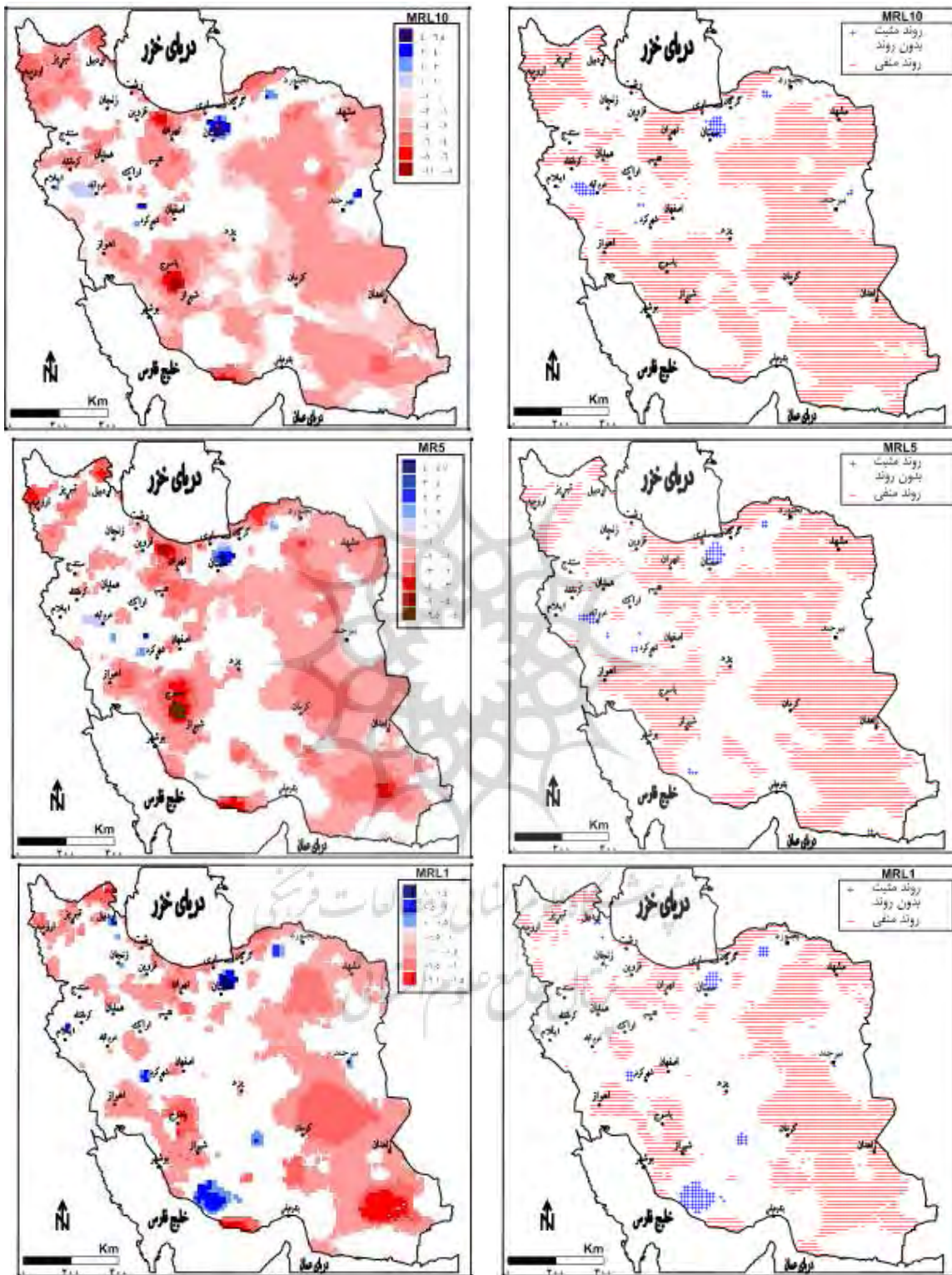
نمایه‌ی طول دوام موج سرما (CSDI)

همانطور که گفته شد این نمایه توسط تیم کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها معرفی شده است و برپایه‌ی دوره‌ی مینا و صدک ۱۰ام قابل محاسبه است. بدین صورت که به جای روزهای متوالی سه روزه و یا یک روزه، دست‌کم ۶ روز پیاپی باید دمای شبانه (کمینه) کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره‌ی مینا (دوره‌ی ۱۹۷۱-۲۰۰۰) باشد تا آن را موج سرما قلمداد کرد. نتایج آزمون روند بر روی این نمایه نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر روی ۷۰ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند منفی است. به بیانی دیگر در ۷۰ درصد از پهنه‌ی ایران زمین از دوام موج سرما با توجه به این تعریف کاسته شده است. تنها بر روی ۰/۷ درصد از پهنه‌ی ایران روند این نمایه مثبت است که بصورت پراکنده بر روی غرب خرم‌آباد و شمال سمنان مشاهده می‌شود. روند کاهش‌ی این نمایه بر روی شمال و جنوب یاسوج، شمال غرب کرمانشاه به بیشینه‌ی آستانه‌ی خود می‌رسد که بین ۳۰ الی ۴۰ روز به ازای هر دهه از دوام این گونه امواج سرما کاسته شده است (شکل ۶).

ایران زمین مشاهده شد. نتایج آزمون روند برپایه‌ی صدک ۵ام نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر روی ۴۹ درصد از پهنه‌ی ایران زمین روند منفی و تنها بر روی ۰/۸ درصد روند مثبت است. از لحاظ پراکنش مکانی تفاوت چندانی بین این نمایه و نمایه‌ی قبلی که بر پایه‌ی صدک ۱۰ام محاسبه شده بود دیده نمی‌شود. تنها گستره‌ی مکانی مناطق دارای روند منفی برپایه‌ی صدک ۵ام کمتر است. همانند نمایه‌ی قبلی بیشترین و شدیدترین نرخ کاهش‌ی بر روی شمال غرب تهران و مناطق بین یاسوج و شیراز مشاهده شد ولی شدت کاهش‌ی آن به نسبت کمتر است و ۵ الی ۶/۵ روز به ازای هر دهه از دوام امواج سرمای طولانی کاسته شده است. برپایه‌ی صدک ۱۰ام نتایج آزمون روند طولانی-ترین امواج سرما بر روی ۳۶ درصد از گستره‌ی ایران زمین منفی است و از دوام آنها کاسته شده است و تنها بر روی ۱ درصد پهنه‌ی ایران روند مثبت است. نرخ روند کاهش‌ی طولانی‌ترین امواج سرما بر روی منطقه-ی مرکزی استان سیستان و بلوچستان به بیشینه‌ی خود می‌رسد و ۱/۵ تا ۲/۱ روز به ازای هر ده سال کاسته شده است. روند افزایشی بر روی شمال سمنان به بیشینه‌ی خود می‌رسد و ۱ الی ۱/۴ روز به ازای هر دهه افزایش یافته است (شکل ۴).

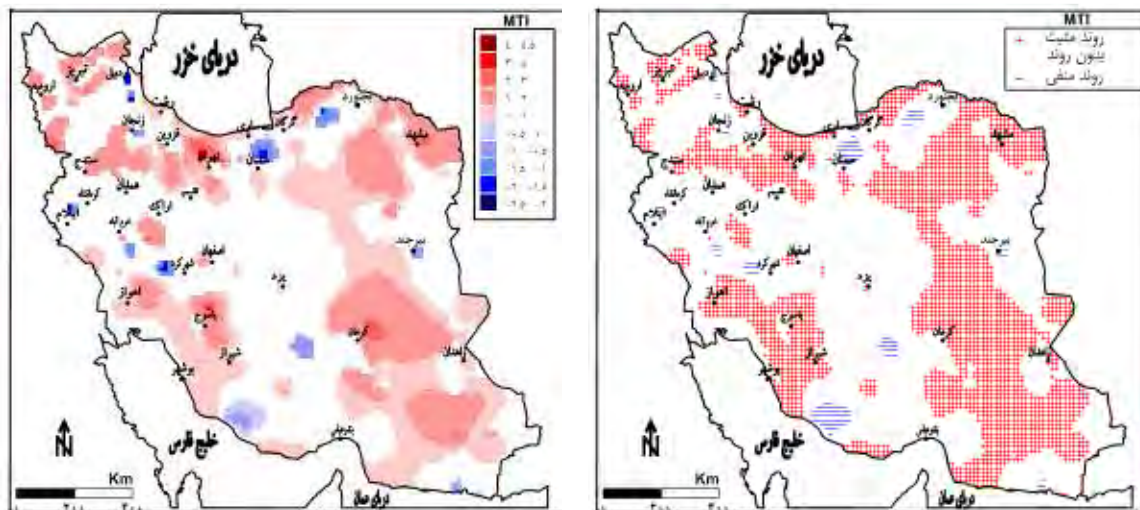
شاخص دمای کمینه (MTI)

همانطور که در تعریف این نمایه آمده است این نمایه بیانگر میانگین دمای کمینه‌ی سردترین سه شب پیاپی در هر سال است. نتایج آزمون روند بر روی مقادیر این نمایه نشان داد که بر روی حدود ۴۰ درصد از گستره‌ی ایران زمین روند مثبت و بر روی حدود ۲ درصد از پهنه‌ی ایران روند مثبت است. افزایش

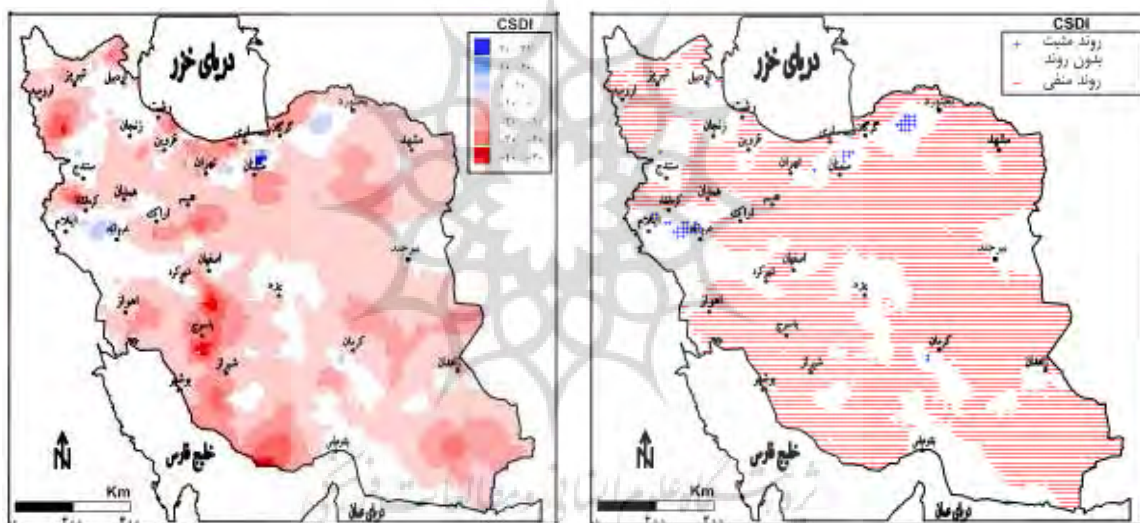


شکل ۴- روند دوام طولانی‌ترین دنباله‌ها (امواج سرما) بر پایه‌ی نمایه‌های صدک ۱۰ و ۵۰م دمای کمینه (سمت راست) و

مقادیر شیب روند (سمت چپ)



شکل ۵- روند میانگین دمای سردترین سه شب پاییزی (سمت راست) و مقادیر شیب روند (سمت چپ)



شکل ۶- روند طول دوام موج سرما (سمت راست) و مقادیر شیب روند (سمت چپ)

نتیجه گیری

هدف این پژوهش شناسایی امواج سرما و تحلیل زمانی-مکانی آنها بر روی ایران زمین بود. برای انجام این پژوهش از داده‌های درونیابی شده‌ی دمای روزانه کمینه (شبانه) طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ استفاده شد. پایگاه داده‌ی با ابعاد ۱۵۷۰۶×۷۱۸۷ ایجاد شد که بر روی ستون‌ها یاخته‌ها

و بر روی ردیف‌ها روزها قرار گرفتند. برای شناسایی امواج سرما از ۶ نمایه که شدت، دوام و بسامد امواج سرما را می‌سنجند، استفاده شد. نمایه‌ها بر پایه‌ی صدک‌های ۱۰، ۵ و ۱م محاسبه شدند. در سطح اطمینان ۹۵ درصد معناداری روند نمایه‌ها به کمک آزمون من‌کندل مورد آزمون قرار گرفت و برای یاخته‌های دارای روند شیب خطی آنها به کمک

یاسوج و شیراز مشاهده شد. اصولاً محیط و زیست-بوم‌ها خود را با شرایط بلندمدت منطقه وفق و سازگار کرده‌اند و تغییرات و ناهنجاری در رفتار سنجه‌های جوی پیامدهای ناگواری را برای محیط به دنبال خواهد داشت. ذوب سریع ذخایر برف و یخچال‌های کوهستانی و کاهش ذخایر آبی، افزایش بیماریهای گیاهی و جانوری، افزایش طول فصل رشد، کاهش دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی، افزایش نرخ تبخیر و.. را می‌توان به عنوان پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم افزایش آستانه‌های صدکی دمای کمینه(شبانه) و کاهش شدت امواج سرما، کاهش دوام و بسامد امواج سرما در ایران زمین دانست.

منابع

لشکری، حسن(۱۳۸۲)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای شدید در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، زمستان ۸۷-۱-۱۸.

لشکری، حسن و کیخسروی، قاسم(۱۳۸۹)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۸ تا ۱۵ دی‌ماه سال ۱۳۸۵ در ایران، مجله مدرس علوم انسانی، شماره ۱۴، ۱۵۵-۱۷۷.

عزیزی، قاسم، اکبری، طیبه، داودی، محمود و اکبری، مهری(۱۳۸۸)، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای دی‌ماه ۱۳۸۶، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، ۱-۱۹.

امیدوار، کمال و ابراهیمی، عاطفه(۱۳۹۱)، تحلیل همدیدی موج سرمای شدید ۱۶ تا ۲۵ دی‌ماه ۱۳۸۶ در ایران مرکزی(استان‌های اصفهان، کرمان

رگزیون خطی محاسبه شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد رخداد امواج سرما بر روی گستره‌ی وسیعی از ایران زمین طی دوره‌ی مورد پژوهش رو به کاهش است. نتایج این پژوهش به نوعی تأییدی بر یافته‌های سایر پژوهش‌ها مبنی بر کاهش بسامد رخداد امواج سرما است. نه تنها از بسامد رخداد امواج سرمای ایران زمین کاسته شده، بلکه شدت و دوام آنها نیز روند نزولی از خود نشان می‌دهند. به لحاظ پراکنش مکانی نرخ کاهش‌ی همه‌ی مناطق یک‌اندازه و یکسان نیست. کاهش رخداد امواج سرما، کاهش دوام و شدت آنها بیشتر بر روی سرزمینهای پست و هموار و دشت‌های داخلی ایران دیده می‌شود. برخی مناطق بر روی بلندیهای رشته کوه‌های زاگرس و البرز و ارتفاعات داخلی وجود دارند که روند مثبتی را برای نمایه‌ها نشان می‌دهند ولی گستره‌ی این‌گونه مناطق بسیار اندک است. افزایش آستانه‌های صدکی ۱۰، ۵ و ۱م دمای کمینه طی دوره‌ی مورد پژوهش بیانگر افزایش نرخ دمای کمینه(شبانه) بر روی ایران زمین است که در نهایت منجر به کاهش دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی خواهد شد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ کاهش‌ی امواج سرمای طولانی و بادوام بسیار شدیدتر از نرخ کاهش‌ی امواج زودگذر و کم‌دوام است. نتایج حاصل از آزمون روند بر روی نمایه‌های طولانی‌ترین دنباله(MRL) و نمایه‌ی طول دوام موج سرما(CSDI) این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. بیشترین نرخ کاهش‌ی رخداد، شدت و دوام امواج سرما بر روی مناطق شمالی تهران و جنوب‌غرب ایران منطقه‌ی بین

- Alexander, L.V, Hope, P., Collins, D, Trewin, B, Lynch, A and Nicholls, N (2007), Trends in Australia's climate means and extremes: A global context. Australian Meteorology Magazine, Vol. 56, 1-18.
- Alexander, L.V et al. (2006), Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, Journal of Geophysical Research, Vol.111:1-22.
- Vincent, L. A., and Coauthors, (2005), Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. Journal of Climate, Vol.18, 5011-5023.
- Vavrus, S., Walsh, J. E., Chapman, W. L., and Portis, D (2006), The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. International Journal of Climatology, 26, 1133-1147.
- Wang, W et al., (2012), Changes in daily temperature and precipitation extremes in the Yellow River Basin, China, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, DOI:10.1007/s00477-012-0615-8.
- Islam, S.U, Rehman, N(2008), Future change in the frequency of warm and cold spells durations over Pakistan simulated by the PRECIS regional climate model, Young Scientist Conference, November 5 -12, 2006, Beijing China.
- Munir Sheikh, M et al., (2008), Development and Application of Climate Extreme Indices and Indicators for Monitoring Trends in Climate Extremes and their Socio-Economic Impacts in South Asian Countries, Asia-Pacific Network for Global Change Research, Final report for APN project: ARCP2008-10CMY-Sheikh, 1-25.
- Su BD, Jiang T, Jin WB (2006) Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River Basin, China. Theoretical and Applied Climatology 83:139-151.
- Nutter FW (1999) Global climate change: why U.S. insurers care. Clim Change 42:45-49.
- و یزد)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۵(۱)، ۸۱-۹۸.
- مسعودیان، سیدابوالفضل و دارند، محمد(۱۳۹۰)، تحلیل هم‌دید سرماهای فرین ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، ۱۶۵-۱۸۵.
- علی‌جانی، بهلول، محمودی، پیمان و پناهی، علی(۱۳۹۰)، بررسی جابه‌جایی مکانی و زمانی دماهای حداقل در غرب و شمال‌غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۱(۱)، ۵۳-۶۸.
- زندى، عبدالواسع(۱۳۸۴)، تغییرات آب و هوایی و سرماهای شدید ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- Cony, M, Hernandez, E, Del Teso, T (2008), Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe, Atmosfera, Vol. 21(4), 398-401.
- García-Herrera R., Díaz, J, Trigo , R.M. and Hernández, E (2005), Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditional. Ann. Geophys. Vol.23, 239-251.
- Pereira M. G., Trigo, R, M, DaCamara, C.C, Pereira, J.M.C. and Leite, S.M (2005), Synoptic patterns associated with large summer forest in Portugal. Agricultural and Forest Meteorology, 129, 11-25.
- Trigo, R.M, García-Herrera, R, Día, J, Trigo, I.F. and Valente, M.A (2005), How exceptional was the early August 2003 heat wave in France?. Geophysics Research Letter 32, L01701, doi: 10.1029/2005GL022410.
- Salinger, M. J, and Griffiths, G.M, (2001), Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. International Journal of Climatology, Vol. 21,1437-1452.

Page CM, Lough JM (1999) Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climate Change* 42:183–202.

Katz RW, Brown BG (1992) Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Clim Change* 21:289–302.

Plummer N, Salinger MJ, Nicholis N, Suppiah R, Hennessy KJ, Leighton RM, Trewin B,

