

تحلیل آماری بی‌هنجاری‌های دمای حداقل و حداکثر ایران در دوره سرد سال به‌منظور درک اثر تغییر

اقلیم بر مناطق مختلف ایران

الهام یاراحمدی-دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

مصطفی کریمپور^۱-استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

هوشنگ قائمی-استاد هواشناسی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران، تهران، ایران

محمد مرادی-استادیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران، تهران، ایران

بهروز نصیری-استادیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۶

چکیده

بررسی بی‌هنجاری‌های دما برای شناخت تغییر اقلیم و خطرات ناشی از آن ضروری است. در این پژوهش به‌منظور شناخت بهتر خصوصیات و تغییرات دمای حداقل و حداکثر پس از بررسی کیفی داده‌های ۶۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۰) ۲۶ ایستگاه، آماره‌های میانگین، ضریب تغییرات و احتمال ۲۰٪ حد بالا و پائین دمای حداکثر و حداقل داده‌ها برای تشخیص دوره‌های سرد و گرم فراگیر محاسبه شد. از آزمون من‌کندل برای تشخیص روند سری‌های استفاده شد. کمترین میانگین دمای حداقل پاییز (اکتبر، نوامبر، دسامبر) و زمستان (ژانویه، فوریه، مارس) در نیمه غربی و بیشترین آن در نیمه جنوبی رخ داده است. کمترین ضریب تغییرات دمای حداقل پاییز در سواحل شمالی و جنوبی، در زمستان سواحل شمالی و جنوبی و قسمت‌های شرق مشاهده می‌شود. همچنین کمترین دمای حداکثر در پاییز در شمال غرب و غرب و در زمستان در شمال و شمال غرب رخ داده است. بیشترین دمای حداکثر در دو دوره در نیمه جنوبی ثبت شده است که با کمترین ضریب تغییرات هماهنگ است. میانگین دمای حداکثر و حداقل ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ ساله اول و ۱۰ ساله آخر نسبت به ۱۰ ساله اول در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. بیشترین وقوع فراگیر امواج گرمایی در فصل پاییز و زمستان در دهه ۷۰ و ۸۰ و بیشترین امواج گرمایی در دهه ۶۰ و ۲۰۰۰ رخ داده است. طبق نتایج آزمون من‌کندل در دمای حداقل طی پاییز و زمستان به ترتیب ۸ و ۴ ایستگاه روند کاهشی و مابقی روندی افزایشی داشته‌اند. دمای حداکثر پاییز، در ۳ ایستگاه روند کاهشی داشته و در زمستان همه مناطق با

روند افزایشی مواجهه بوده‌اند. در هر دو دوره حداقل‌ها بیشتر از حداکثرها افزایش یافته و دامنه اختلاف دمای شبانه‌روزی کاهش یافته است که در بسیاری از موارد می‌تواند اثرات اقتصادی-اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی نامطلوبی به همراه داشته باشد.

واژگان کلیدی: دمای حداقل، دمای حداکثر، ضریب تغییرات، من کندال، امواج گرمایی و سرمای

۱- مقدمه

اقلیم مناطق مختلف کره زمین در گذر زمان تغییرات بسیار زیادی داشته است. این تغییرات باعث فراوانی رخداد پدیده‌های فرین مانند طوفان، سیل، امواج گرمایی، یخبندان و ... شده که در این ارتباط نیز مدل‌های اقلیمی، افزایش دماهای حدی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند (Raisanen و همکاران، ۲۰۰۴). در حال حاضر فرض این‌که اقلیم کره زمین در حال تغییر است، دانشمندان و پژوهشگران را بر آن داشته است تا به بررسی رفتار این فراسنج که برای درک تغییرپذیری اقلیم با اهمیت است پردازند. چون این تغییرات در ابعاد فضایی و زمانی می‌تواند در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی ظاهر شود (Alexander و همکاران، ۲۰۰۶). هیئت بین‌دولت‌های تغییر اقلیم به وضوح مشخص کرده است که در مقیاس جهانی دما در حدود ۰٫۸۵ درجه سانتی‌گراد طی دوره ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش داشته است (IPCC, 2013). علاوه بر این، از اواخر قرن ۱۹ مقدار این افزایش بیشتر شده است (Houghton و همکاران، ۲۰۰۱). در سه دهه گذشته، بیشتر تحلیل‌ها در مورد دمای هوای سطح زمین بر روی مقادیر میانگین متمرکز شده بود؛ اما در سال‌های اخیر به‌ویژه از اواخر قرن ۲۱ روی تحلیل دماهای فرین با بسامد بالا و تغییرات آنها، روندهای منطقه‌ای دمای حداقل و حداکثر و دامنه تغییرات شبانه‌روزی متمرکز شده است. در حال حاضر پدیده‌های حدی در قانون توجه پژوهشگران قرار دارد، زیرا خطر افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی به وسیله افزایش گازهای گلخانه‌ای و هواویزه‌ها در جو افزایش یافته است. کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی و سرمای در آینده، در گرو شناسایی سازوکار امواج گرمایی و سرمای، سامانه‌های هواشناسی ایجادکننده آنها، پیش‌بینی و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده امواج گرمایی بر روی سلامت عمومی و همچنین شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی و سرمای است (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). تغییرات دما در چند دهه اخیر که آن را تغییر اقلیم می‌خوانند، معمولاً بر روی مسائل اجتماعی و اقتصادی، منابع طبیعی و دسترسی به آب به‌خصوص در مناطقی که فعالیت اقتصادی آنها وابسته به کشاورزی است (همانند اکثر مناطق ایران)، اثرات بسیار مؤثری داشته است (قاسمی، ۲۰۱۵). در حال حاضر نه تنها به داده‌ها و پژوهش‌های بیشتری در مورد الگوهای محلی تغییرات اقلیمی نیاز است، بلکه باید بر تغییرات الگوهای سامانه‌های جوی و نتایج آن بر روی منطقه که سبب این تغییرات می‌شود، بیشتر تمرکز نمود.

سچرنی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم بخصوص در ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل توجهی در امواج سرمایی ایجاد نشده است. Hamid و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی روند دما در حوضه رودخانه Satluj در پاکستان با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کنندال به بررسی شاخص دما در هشت ایستگاه حوزه این رودخانه پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که سه ایستگاه از ۸ ایستگاه مورد مطالعه روند کاهشی قابل توجه داشته است. بعضی ایستگاه‌های با ارتفاع بیشتر در هر دو دمای حداقل و حداکثر، افزایش دما را نشان داده‌اند. بررسی دمای فصلی نیز نشان می‌دهد که روند افزایش دما در زمستان و بهار بیشتر از تابستان و پاییز بوده است. بررسی روند دمای حداکثر و حداقل در شمال آمریکای جنوبی با استفاده از داده‌های دمای حداکثر و حداقل ۱۴ ایستگاه در ونزوئلا و کلمبیا طی دوره آماری ۷۳ ساله (Ramon, ۲۰۱۴) نشان داده است که افزایش نسبی و پایدار سری‌های دمای حداقل و کاهش اختلاف دمای شبانه‌روزی طی ۲۵ سال اخیر در دوره آماری مورد نظر رخ داده است که در اکثر داده‌های ایستگاهی ثبت شده دارای تغییر قابل توجهی است. بارت و همکاران (۲۰۱۲)، نشان داده‌اند که به‌طور کلی افزایش مرگ و میر ناشی از امواج سرمایی ناچیز بوده، اما خطر مرگ ناشی از امواج گرمایی افزایش یافته است. Tshiala (۲۰۱۱) با بررسی روند دما در استان Limpopo در آفریقای جنوبی و روند سالانه دمای حداکثر و حداقل طی دوره ۵۰ ساله نشان داد که در هر ۱۰ سال، دما ۰٫۱۲ درجه سانتی‌گراد در حوزه مورد مطالعه افزایش یافته است و ۱۳ درصد حوزه‌ها روند منفی و ۸۷ درصد آنها روند مثبت در میانگین سالانه دما را تجربه کرده‌اند. علاوه بر این در فصل زمستان و تابستان به ترتیب ۰٫۱۸ و ۰٫۰۹ افزایش دمای میانگین مشاهده گردیده است. Balling & Roy (۲۰۰۵)، با بررسی روند فصلی میانگین دمای حداقل و حداکثر، اختلاف شبانه‌روزی دما و پوشش ابر طی دوره آماری ۷۲ ساله (۱۹۳۱-۲۰۰۲) نشان دادند که افزایش قابل توجهی در حداکثر و حداقل دما در فلات دکن رخ داده است. همچنین به دلیل افزایش پوشش ابر در کشمیر، اختلاف شبانه‌روزی دما در فصل زمستان و تابستان منفی بوده است. مطالعات صورت گرفته بر دمای حداکثر و حداقل سواحل جنوبی دریای کاسپین (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۳) در دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۱۹۹۴ نشان می‌دهد، روند دمای حداقل در اکثر ایستگاه‌های این منطقه افزایشی و روند دمای حداکثر کاهشی است؛ بنابراین از دامنه نوسان دما در ناحیه کاسته شده است. همچنین این تغییرات در این منطقه در فصل‌های تابستان و زمستان بیشتر از بهار و پاییز به چشم می‌خورد. امیدوار و خسروی (۱۳۸۹)، نیز نشان داده‌اند که افزایش دمای حداقل در سری زمانی سال‌های ۱۹۵۶-۲۰۰۵ موجب افزایش متوسط دما در شهرهای بندرعباس، بوشهر و آبادان شده است. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که دمای حداقل در ۲۰ ایستگاه سینوپتیکی کشور روند افزایشی داشته است. آن‌ها نشان داده‌اند که نوسانات و تغییرات دما در مناطق ایران اختلافات زیادی دارد، به‌طوری‌که ایستگاه‌های شمال‌غرب و نواحی کوهستانی مفرد کشور تغییرات شدید مکانی

و زمانی دارند، اما تغییرات در ایستگاه‌های مرکزی و جنوبی ملایم‌تر بوده است. ورشایوان و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی دماهای حداقل و حداکثر ۸ ایستگاه سینوپتیک در ایران نشان داده‌اند که اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی معناداری در دمای حداقل دارند. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۰)، با ارزیابی روند احتمالی تغییرات اختلاف دمای شبانه‌روزی در برخی اقلیم‌های خشک کشور طی پنج دهه گذشته در ۱۱ ایستگاه همدیدی کشور با استفاده از روش من کندال و رگرسیون خطی طی دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ نشان داده‌اند که ۱۸ درصد ایستگاه‌ها در برخی ماه‌ها فاقد روند در اختلاف دمای شبانه‌روزی هستند. همچنین مقادیر شیب کاهشی به دست آمده از آزمون من کندال نیز تو سط روش رگرسیون خطی تأیید شد و میانگین شیب کاهشی روند اختلاف دمای شبانه‌روزی در ایستگاه‌های دارای روند حدود ۰,۴۴ درجه سانتی‌گراد در هر دهه به دست آمده است. در ایستگاه‌های شمالی و مرکزی روند کاهشی اختلاف دمای شبانه‌روزی نیز بیشتر از ایستگاه‌های جنوبی بوده است. اسماعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی امواج گرمایی در ایران نشان داده‌اند که دوره‌های گرم کوتاه رخداد بیشتری داشته و تعداد امواج گرمایی پر تداوم کمتر رخ داده است. همچنین در پایان زمستان و روزهای نخستین پاییز دوره‌های گرم بیشتری رخ داده است و همچنین در شمال، شمال‌غرب، مرکز و سواحل جنوب ایران رخداد دوره‌های گرم بیشتر بوده است. بررسی تغییر اختلاف دامنه شبانه‌روزی دمای هوا در مقیاس سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه شهر مشهد نشان می‌دهد، دامنه اختلاف دمای شبانه‌روزی در دوره ۶۰ ساله گذشته در ایستگاه مشهد روند کاهشی داشته است (شمس و موسوی بایگی، ۱۳۹۵). همچنین شیب تغییرات در سری زمانی دامنه تغییرات شبانه‌روزی دمای هوای سالانه با میزان ۰,۰۲۹ درجه سانتی‌گراد در سال کاهشی بوده است و از نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ دامنه تغییرات شبانه‌روزی کاهشی بوده است. رئیسی نافچی و سلطانی محمدی (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی تغییرات زمانی میانگین حداقل و حداکثر در ایستگاه شهکرد طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰ با استفاده از روش من کندال پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین حداقل دما در فصل بهار، تابستان و پاییز و همچنین میانگین حداکثر دما در فصل تابستان دارای روند کاهشی معنادار بوده است. قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۵)، با مطالعه امواج گرما و سرمایی در سواحل جنوبی خزر روند تغییرات دمای حداکثر در بیشتر ایستگاه‌ها کاهشی و برای دمای حداقل افزایشی بوده است. همچنین ایستگاه رامسر برای امواج گرم و سرد بیشترین فراوانی را داشته است. قویدل‌رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) با مطالعه امواج سرمایی منطقه شمال‌غرب ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۱۰ نشان داده‌اند که هر چه هوا از عرض‌های بالاتری ریزش کند و جریان کندتر باشد، دوره‌های سرد شدیدتر و مستمرتری ایجاد می‌کند.

هدف این پژوهش بررسی روند تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر طی دوره آماری ۶۰ ساله و مقایسه آن با دو دوره ۳۰ ساله اول و دوم و ۱۰ ساله اول و آخر به منظور درک بهتر تغییرات ایجاد شده در دما و شناسایی رژیم دمایی کشور است که نتایج آن می‌تواند در مطالعات و برنامه‌ریزی مدیریت بحران در بخش‌های مختلف از جمله

منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و آبخیزداری که از مدتی پیش زنگ خطر آن به صدا در آمده است، مفید فایده باشد. آنچه این پژوهش را از دیگر پژوهشها متمایز می‌سازد، استفاده از آمار تجربی طولانی مدت (۶۰ ساله) و تفکیک آن به بازهای زمانی کوتاهتر به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در بازه‌های زمانی کوتاه مدت (۳۰ ساله و ۱۰ ساله) و مقایسه آن نسبت به دوره نرمال ۶۰ ساله برای درک بهتر تغییرات اقلیمی ایجاد شده در مناطق مختلف کشور است. همچنین استفاده از معیار ۲۰ درصد حد بیشینه و کمینه دما به منظور مشخص کردن دوره‌در نواحی سرد و دوره‌های گرم فراگیر خود از امتیازات این مقاله است.

۲- داده‌ها و روش‌ها

داده‌های روزانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های سینوپتیک کشور از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد. از میان ۲۰۰ ایستگاه سینوپتیک، ۲۶ ایستگاه که دارای پایه آماری مشترک ۶۰ ساله بودند، انتخاب و براساس روش‌های معمول پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی (WMO. NO. 100. NCP8. 2016)، کیفیت داده‌ها بررسی شد. با توجه به اهداف مورد مطالعه، داده‌ها به یک دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۰)، دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۵۱-۱۹۸۰ و ۱۹۸۱-۲۰۱۰) و دو دوره ۱۰ ساله (۱۹۵۱-۱۹۶۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۰) تقسیم‌بندی شدند. داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه بر اساس ماه، فصل (پاییز و زمستان) و دوره سرد (اکتبر-مارس)، مرتب شدند. فصل پاییز شامل ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر، فصل زمستان شامل ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس و دوره سرد از ابتدای ماه اکتبر تا انتهای ماه مارس است. برای هر ایستگاه، با استفاده از نرم‌فزار R آماره‌های مورد نیاز شامل میانگین دمای حداقل و حداکثر فصل پاییز، زمستان و دوره سرد، انحراف معیار، مد، ضریب تغییرات، ضریب شکل و ضریب مقیاس) برای ادامه فرایند تحقیق محاسبه شدند. بر اساس داده‌های دوره ۶۰ ساله، ۲۰ درصد حد بیشینه برای دمای حداکثر و ۲۰ درصد حد کمینه برای دمای حداقل به ترتیب برای شناسایی دوره‌های گرم و سرد، محاسبه و استخراج شد. سپس گستره این دوره‌ها بر روی ایستگاه‌ها پهنه‌بندی شد. با استفاده از تابع من-کندال، روند داده‌های میانگین دمای حداقل و حداکثر فصل پاییز، زمستان و دوره سرد در یک دوره ۶۰ ساله محاسبه شد. در نهایت با استفاده از نرم افزار GIS برای متغیر حداقل و حداکثر دما در دوره‌های ۶۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۰)، و دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۵۱-۱۹۸۰ و ۱۹۸۱-۲۰۱۰) و دو دوره ۱۰ ساله و اختلاف آنها با یکدیگر، نقشه‌های هم‌ارزش ترسیم و به تفسیر آنها پرداخته شد. برای ترسیم نقشه‌های هم‌ارزش بر حسب ماهیت داده‌ها و پراکنش مکانی و آماری از روش IDW استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- بررسی میانگین و ضریب تغییرات دمای حداقل

مقایسه الگوهای میانگین و ضریب تغییرات دمای حداقل فصل پاییز و زمستان طی دو دوره ۳۰ ساله و یک دوره ۶۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). مقایسه الگوی میانگین دمای حداقل دو دوره نشان می‌دهد که الگوی ۳۰ ساله دوم شباهت بیشتری با الگوی ۶۰ ساله دارد. در صورتی که الگوی ضریب تغییرات طی دوره ۶۰ ساله در نیمه جنوبی و غربی و بخش‌هایی از شمال غرب با دوره ۳۰ ساله اول بیشتر منطبق است. به‌طور کلی کمترین میانگین دمای حداقل در فصل پاییز در هر سه الگو در شمال غرب، غرب دیده می‌شود و با گذر از مرکز ایران به سوی جنوب شرق و جنوب بر مقادیر میانگین دمای حداقل این فصل افزوده می‌شود. در فصل پاییز ضریب تغییرات در سواحل شمالی و جنوبی کشور کمتر از سایر نقاط است که بیانگر نزدیک بودن خصوصیات دما به توزیع نرمال است. در فصل زمستان میانگین دمای حداقل در هر سه دوره بجز در نواحی شمال و شمال غرب تقریباً بر هم منطبق هستند. در دوره سرد با وجود این که سه الگوی مورد مطالعه، تشابه زیادی از لحاظ میانگین دمای حداقل بویژه در نیمه جنوبی، شمال غرب و غرب دارند، ولی ضریب تغییرات آنها تا حد زیادی متفاوت است. الگوی تفاضل میانگین دمای حداقل ۱۰ ساله اول از ۱۰ ساله آخر، چنین نشان می‌دهد (شکل ۲) که در فصل پاییز و زمستان در اکثر مناطق کشور در ۱۰ ساله دوم افزایش یافته است. بیشترین روند افزایشی در برخی نواحی جنوبی دریای کاسپین، کوهپایه‌های جنوبی البرز و بوشهر است.

الگوی میانگین و ضریب تغییرات (شکل ۱) در هر سه دوره در این منطقه نشان می‌دهد، طی دوره آماری ۶۰ ساله و دو دوره ۳۰ ساله میانگین دمای حداقل در زمستان، کمتر از پاییز بوده و ضریب تغییرات به نسبت بالاتر است. الگوی دمای حداقل فصل پاییز نشان می‌دهد که به‌طور کلی در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله افزایش یافته است. در فصل زمستان الگوهای میانگین دمای حداقل ۶۰ ساله در سواحل جنوبی دریای کاسپین از الگوی ۳۰ سال دوم بیشتر تأثیر پذیرفته است. طی دوره ۶۰ ساله بیشترین ضریب تغییرات فصل پاییز و زمستان مربوط به ایستگاه گرگان است. به‌طور کلی در فصل پاییز و زمستان، طی ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله میانگین حداقل دما غیر از ایستگاه گرگان که روند کاهشی داشته (شکل ۳ و ۴)، افزایش یافته است. در ۱۰ ساله آخر نیز همین روند مشاهده می‌شود. نکته کلی اینکه در فصل پاییز این روند افزایشی بیشتر بوده است (شکل ۵).

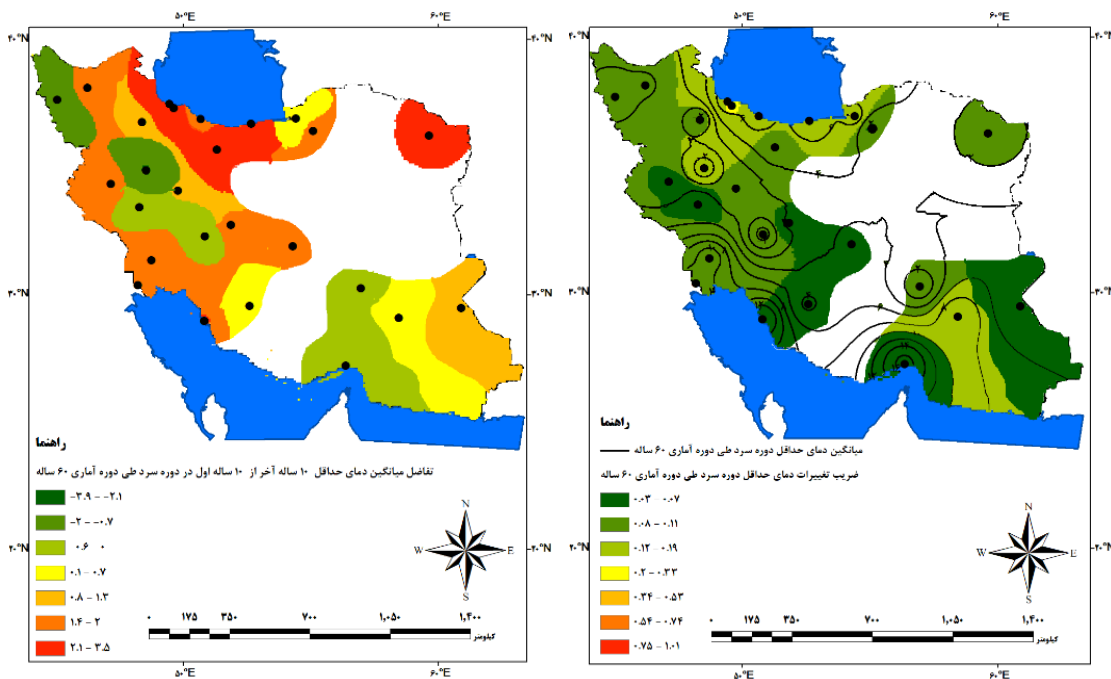
در نواحی شمال و شمال غرب در هر دو الگوی پاییز و زمستان کمترین میانگین دمای حداقل در این نواحی دیده می‌شود. در فصل پاییز و زمستان الگوهای میانگین دمای حداقل ۶۰ ساله شمال غرب از الگوی ۳۰ ساله اول تأثیر پذیرفته است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، همدان از بیشترین ضریب تغییرات برخوردار است که می‌تواند به دلیل موقعیت جغرافیایی، نحوه آرایش ناهمواری‌ها و ارتفاع این ایستگاه باشد. مقایسه دمای حداقل ۳۰ ساله دوم

نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله نشان می‌دهد که در فصل پاییز، غیر از ایستگاه تبریز و کرمانشاه، در این نواحی دمای حداقل کاهش یافته است. ایستگاه‌های شمال غرب در فصل زمستان روند افزایشی در دمای حداقل را تجربه کرده‌اند. در بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی مشاهده می‌شود. بیشترین روند کاهشی در میانگین دمای حداقل در کل کشور در ایستگاه خرم‌آباد بوده است. همچنین تفاضل ۱۰ ساله اول از ۱۰ ساله پایانی چنین بیان می‌کند که غیر از ایستگاه‌های کرمانشاه، زنجان و تبریز در بقیه ایستگاه‌های این نواحی میانگین ۱۰ ساله پایانی کاهش یافته است. به‌طور کلی هم در دوره ۳۰ ساله پایانی و هم ۱۰ ساله پایانی دمای حداقل در اکثر ایستگاه‌های این نواحی کاهش یافته است (شکل ۳ و ۴).

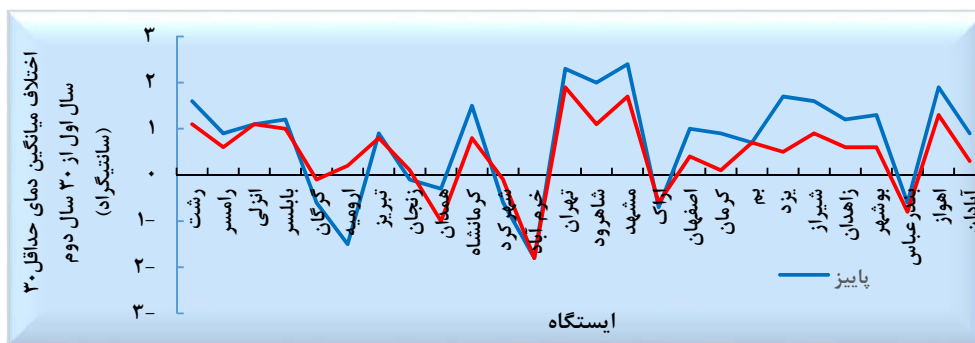
در کوهپایه‌های جنوبی البرز و شمال شرق، میانگین و ضریب تغییرات در همه دوره‌های مورد مطالعه پایین بوده و در ۳۰ سال دوم دمای میانگین حداقل بیشتری را نسبت به ۳۰ سال اول تجربه کرده‌اند. در این ناحیه میانگین دمای حداقل در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله افزایش یافته است (شکل ۳ و ۴) که این افزایش در فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان است. میزان ضریب تغییرات در ۳۰ سال اول بیشتر از ۳۰ سال دوم بوده است. همچنین در ۱۰ سال آخر نسبت به ۱۰ سال اول در این نواحی دمای حداقل افزایش یافته است (شکل ۵). بیشترین روند افزایشی دمای حداقل هم در ۳۰ ساله دوم و هم در ۱۰ ساله آخر در هر سه دوره در کل کشور در این ناحیه مشاهده می‌شود.

در نواحی مرکزی و شرقی، در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله غیر از ایستگاه اراک، میانگین دمای حداقل افزایش یافته است؛ که این افزایش نسبتاً زیاد است. همچنین در فصل پاییز مقدار این افزایش در فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان است. در ایستگاه اراک این میانگین دمای حداقل در هر سه دوره کاهشی بوده است که در فصل پاییز نسبت به زمستان مقدار این کاهش اندکی بیشتر است. الگوی ضریب تغییرات نیز در ۳۰ سال اول در این نواحی اندکی بیشتر از ۳۰ سال دوم دوره آماری بوده است و دوره ۶۰ ساله از دوره ۳۰ سال دوم تأثیر پذیرفته است (شکل ۳ و ۴). تفاضل ۱۰ ساله آخر نسبت به ۱۰ ساله اول نیز نشان می‌دهد که غیر از ایستگاه کرمان در هر دو دوره و ایستگاه بم فقط در پاییز، در بقیه ایستگاه‌های این نواحی میانگین دمای حداقل افزایش یافته که در برخی نقاط مقدار این افزایش قابل توجه است. به‌طور کلی در این نواحی میانگین ۳۰ ساله دوم و ۱۰ ساله آخر افزایش یافته است. در فصل پاییز و زمستان در نیمه جنوبی ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر بالاترین میانگین دمای حداقل را تجربه کرده‌اند. میزان دمای حداقل پاییز و زمستان در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله، و ۱۰ سال آخر نسبت به ۱۰ سال اول افزایش یافته است. در ایستگاه بندرعباس روند دمای حداقل در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰

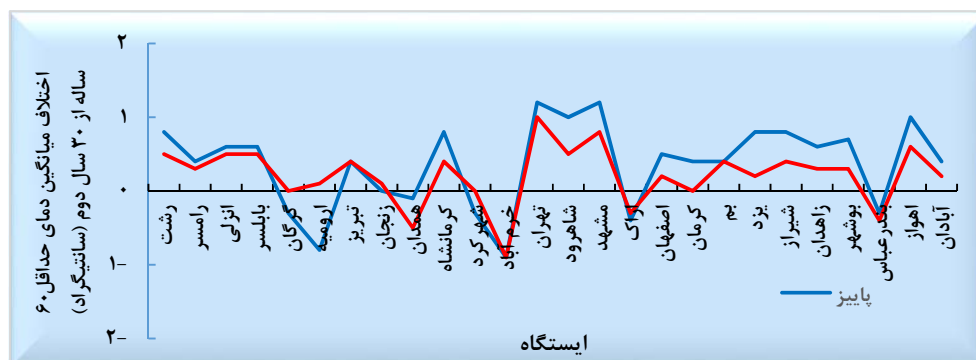
سال اول و ۱۰ ساله آخر نسبت به ۱۰ ساله اول کاهش بوده که این مقدار کاهش در زمستان بیشتر از پاییز است (شکل ۳، ۴ و ۵).



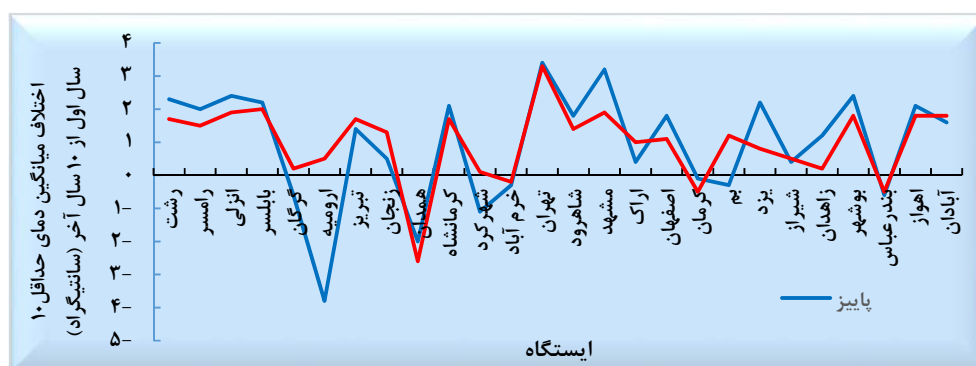
شکل ۱- میانگین و ضریب تغییرات دمای حداقل دوره سرد طی دوره آماری ۶۰ ساله
 شکل ۲- تفاضل میانگین دمای حداقل ۱۰ ساله آخر از ۱۰ ساله اول در دوره سرد طی دوره آماری ۶۰ ساله



شکل ۳- اختلاف میانگین دمای حداقل ۳۰ سال اول از ۳۰ سال دوم طی فصل پاییز و زمستان



شکل ۴- اختلاف میانگین دمای حداقل ۶۰ ساله از ۳۰ سال دوم طی فصل‌های پاییز و زمستان



شکل ۵- اختلاف میانگین دمای حداقل ۱۰ سال اول از ۱۰ سال پایانی طی فصل پاییز و زمستان

۲-۳- برآورد احتمال ۲۰ درصد حد بیشینه دمای حداقل

الگوهای برآورد احتمال ۲۰ درصد حد بیشینه دمای حداقل در دو دوره ۳۰ ساله و یک دوره ۶۰ ساله (شکل ۷) طی فصل پاییز و زمستان با اندکی تفاوت تقریباً شبیه هم هستند و نشان می‌دهد که هر سه الگو در سواحل دریای کاسپین، نیمه جنوبی کشور بویژه سواحل خلیج فارس و دریای عمان و قسمت‌هایی از بخش مرکزی، دمای حداقل بالاتر و نواحی شمال غرب و غرب کشور دمای حداقل پایین‌تری را تجربه کرده‌اند (شکل ۷). برآورد ۲۰ درصد حد کمینه میانگین دمای حداقل طی فصل پاییز و زمستان و مقایسه آنها با یکدیگر نشان می‌دهد که طی این دو فصل شدت و گستره نفوذ توده‌های هوایی سرد در ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ سال اول بیشتر شده است (جدول ۱). هر چند داده‌های مربوط به میانگین دمای حداقل در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و سعت بیشتری نشان می‌دهد؛ اما فراوانی آنها در دهه اول ۳۰ ساله دوم بیشتر و با نزدیک شدن به دهه دوم و سوم از نفوذ توده‌های هوای سرد فراگیر به کشور در این فصول کاسته می‌شود که می‌تواند بیانگر ایجاد تغییر در نحوه و مقدار اثرگذاری توده‌های هوای

سرد نفوذی به کشور باشد. از طرفی مقایسه داده‌های احتمال ۲۰ درصد حد بیشینه و کمینه دمای حداقل فصل‌های پاییز و زمستان و دوره ۳۰ ساله اول و دوم نشان می‌دهد که تعداد وقایع حدی فراگیر در دوره ۳۰ ساله دوم افزایش یافته است. محدوده نفوذ این دوره‌های فراگیر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز و زمستان پهنه بندی شده است (شکل ۸). برای سال‌هایی که بر اساس ۲۰ درصد حد کمینه، در آن دوره‌های سرد به منطقه مورد مطالعه وارد شده و آن را به اصطلاح سال‌های سرد فراگیر می‌نامند، سه سال با بیشترین فراوانی ایستگاه‌ها انتخاب شده است. بیشترین فراوانی این سال‌ها در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- فراوانی ایستگاه‌های با رخداد دوره‌های سرد طی ۳۰ سال اول و دوم طبق برآورد ۲۰ درصد حد کمینه

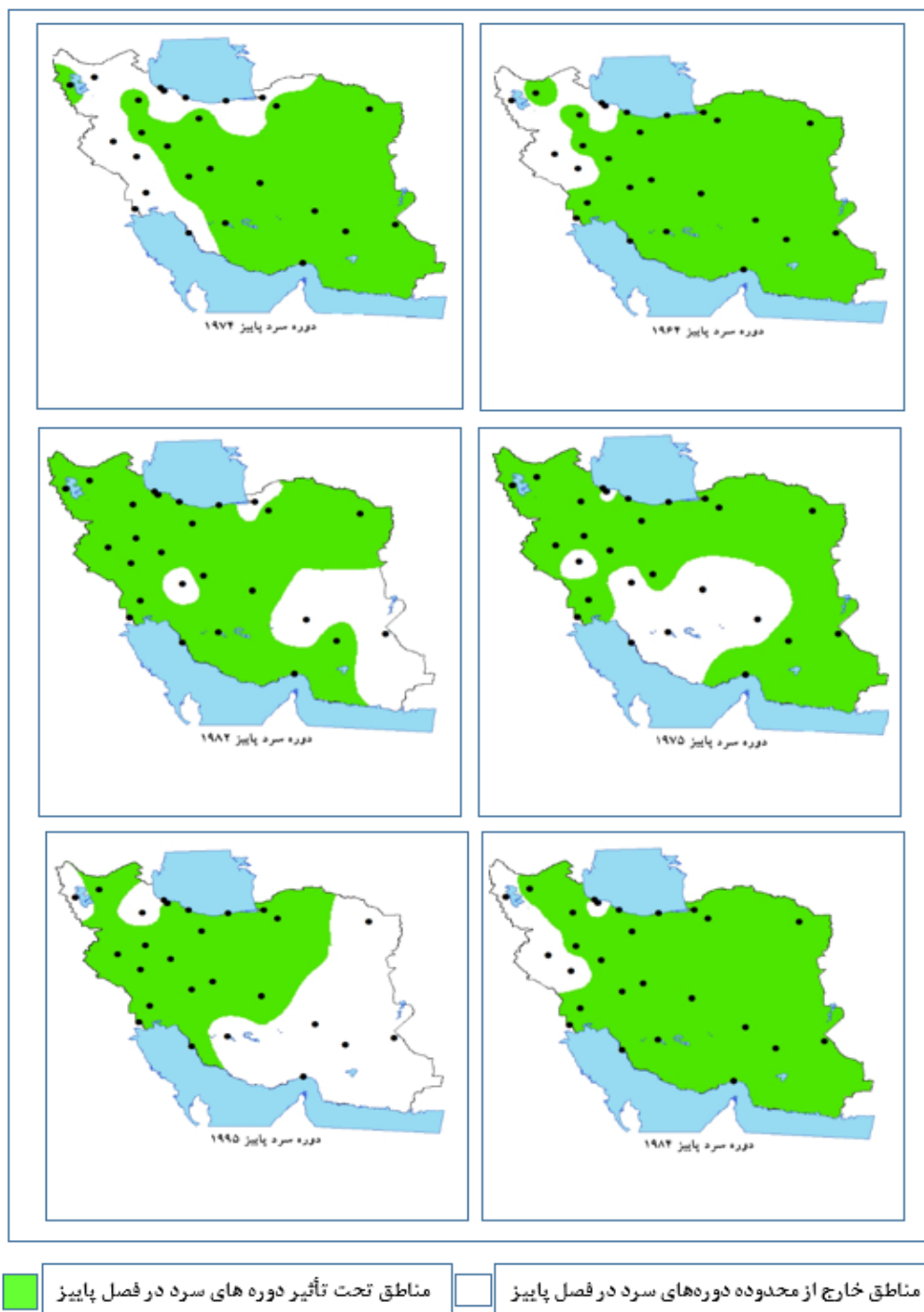
دمای حداقل

۳۰ سال اول (۱۹۸۰-۱۹۵۱)		۳۰ سال دوم (۱۹۸۱-۲۰۱۰)		۳۰ سال اول (۱۹۵۱-۱۹۸۰)		۳۰ سال دوم (۱۹۸۱-۲۰۱۰)	
پاییز				زمستان			
سال	فراوانی	سال	فراوانی	سال	فراوانی	سال	فراوانی
۱۹۶۴	۲۲	۱۹۸۲	۲۲	۱۹۷۲	۲۶	۱۹۸۹	۲۶
۱۹۷۵	۱۹	۱۹۸۴	۲۲	۱۹۶۴	۲۳	۱۹۹۲	۲۵
۱۹۷۴	۱۶	۱۹۹۵	۱۷	۱۹۷۴	۱۷	۱۹۸۳	۲۵

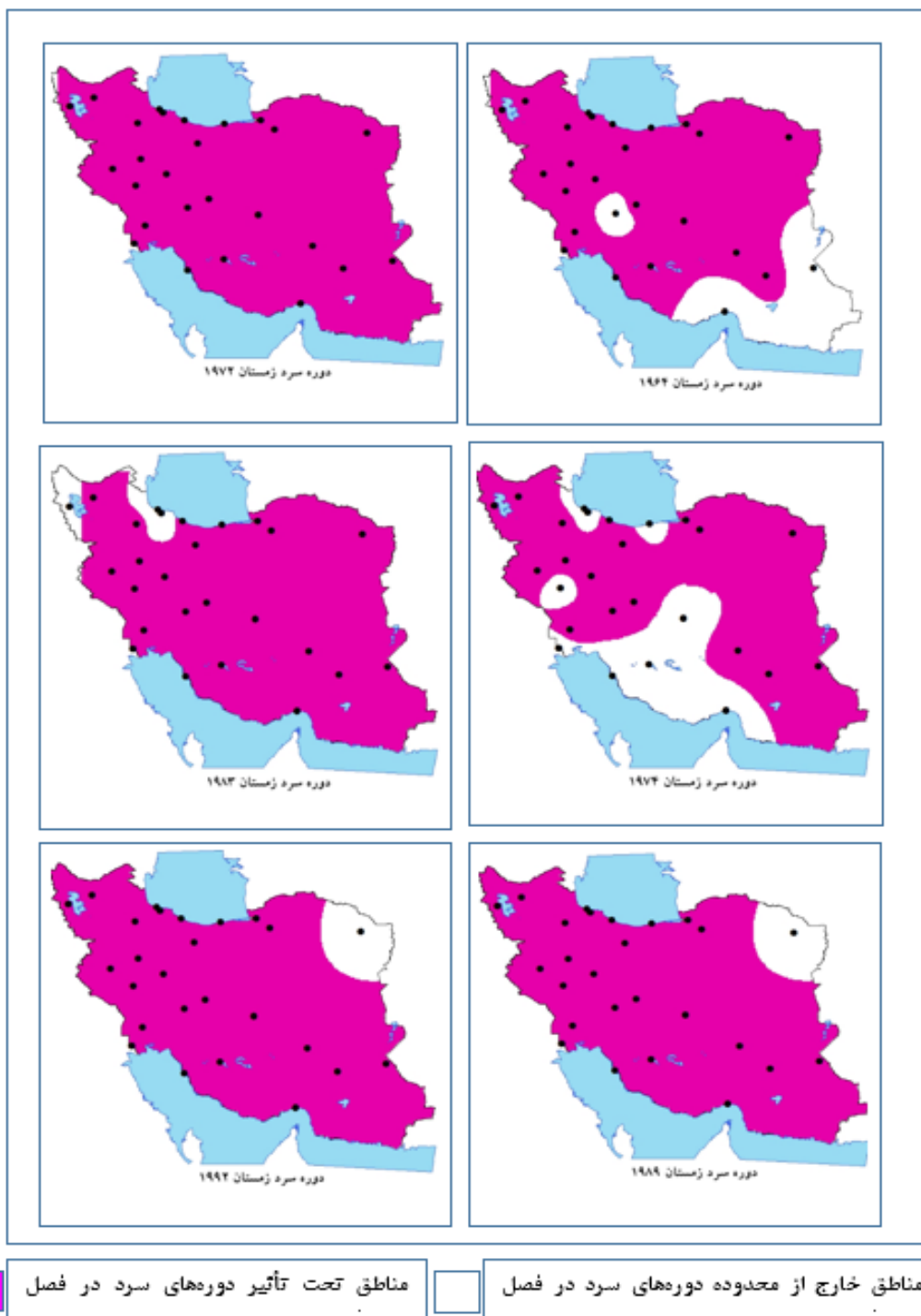
جدول ۲- فراوانی ایستگاه‌های با رخداد دوره‌های سرد طی ۳۰ سال اول و دوم طبق برآورد ۲۰ درصد حد بیشینه

دمای حداکثر

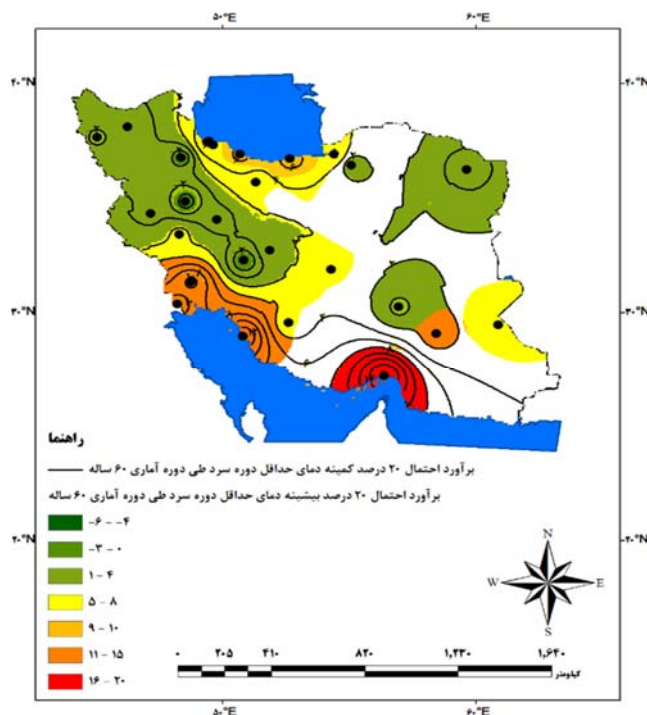
۳۰ سال اول (۱۹۵۱-۱۹۸۰)		۳۰ سال دوم (۱۹۸۱-۲۰۱۰)		۳۰ سال اول (۱۹۵۱-۱۹۸۰)		۳۰ سال دوم (۱۹۸۱-۲۰۱۰)	
سال	تعداد ایستگاه	سال	تعداد ایستگاه	سال	تعداد ایستگاه	سال	تعداد ایستگاه
پاییز				زمستان			
۱۹۶۶	۱۶	۱۹۹۸	۲۴	۱۹۶۶	۲۶	۲۰۰۴	۲۶
۱۹۷۰	۱۸	۲۰۱۰	۲۴	۱۹۶۳	۵۲	۲۰۱۰	۲۵
۱۹۶۱	۱۴	۲۰۰۵	۲۰	۱۹۵۸	۲۴	۲۰۰۲	۲۱



شکل ۶- محدوده اثر گذاری دوره های سرد در فصل پاییز بر اساس ۲۰ درصد حد کمینه دمای حداقل



شکل ۷- محدوده اثر گذا دوره‌های سرد در فصل زمستان بر اساس ۲۰ درصد حد کمینه دمای حد

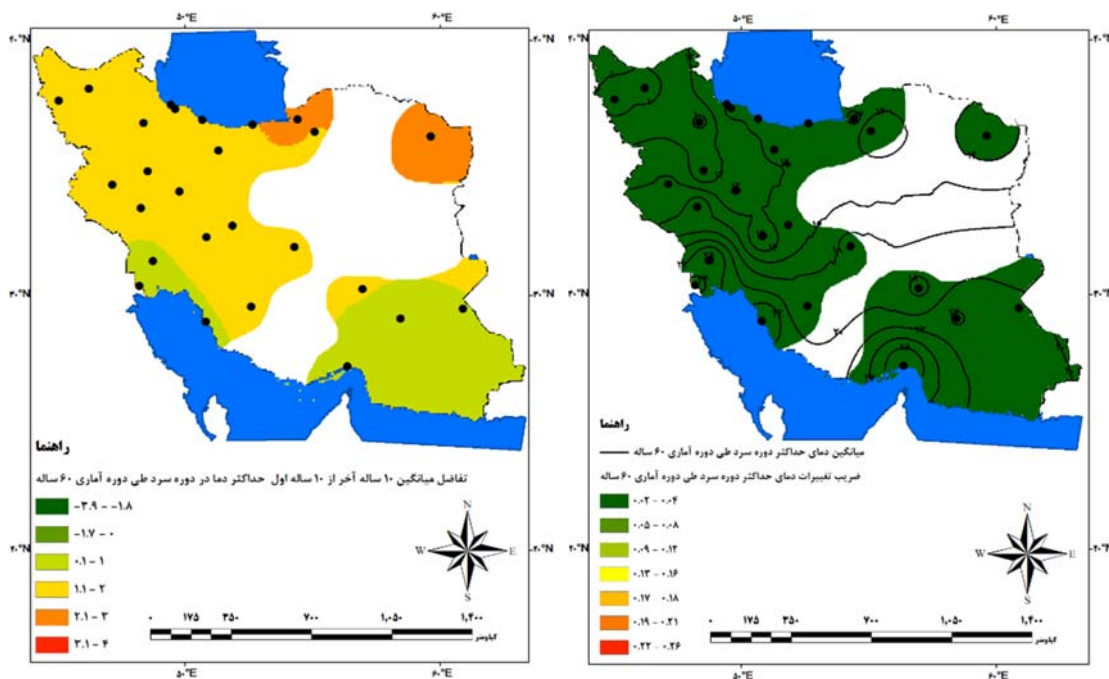


شکل ۸- الگوی ۲۰ درصد بالا و پایین دمای حداقل دوره سرد طی دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۰)

۳-۳- بررسی نقشه‌های میانگین و ضریب تغییرات دمای حداکثر

نقشه‌های میانگین و ضریب تغییرات دمای حداکثر در فصل پاییز، زمستان طی دو دوره ۳۰ ساله و دوره ۶۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که با وجود شباهت کلی الگوهای میانگین دمای حداکثر در فصل پاییز در دو دوره ۳۰ ساله و یک دوره ۶۰ ساله، تفاوت‌های محلی در الگوی حاکم مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که مقایسه سه دوره نشان می‌دهد، الگوی دوره ۶۰ ساله با دوره ۳۰ ساله دوم همخوانی بیشتری دارد. بطور کلی در هر سه دوره میانگین حداکثر دما از شمال و شمال‌غرب به سوی مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق افزایش و از میزان ضریب تغییرات کاسته می‌شود. کمترین میانگین حداکثر دمای ثبت شده در شمال‌غرب و غرب و بیشترین آن در نیمه جنوبی است. با وجود تشابه کلی روند تغییرات میانگین دمای حداکثر ثبت شده ۶۰ ساله با دو دوره ۳۰ ساله، مقدار ضریب تغییرات دوره سرد سال در بازه زمانی ۶۰ ساله کمتر است که نشان دهنده هجوم فراگیر هوای سرد و حاکمیت آن بر روی کشور است که باعث کاهش گرادیان دما شده است. در فصل پاییز نسبت به فصل زمستان در سواحل جنوبی دریای کاسپین دمای حداکثر بالاتر و ضریب تغییرات کمتری مشاهده می‌شود؛ اما در فصل زمستان دمای حداکثر کاهش یافته و ضریب تغییرات مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. اختلاف ۳۰ سال اول نسبت به ۳۰ سال دوم و دوره ۶۰ ساله (شکل ۹ و ۱۰) طی فصل پاییز در این منطقه نشان می‌دهد که غیر از ایستگاه انزلی و

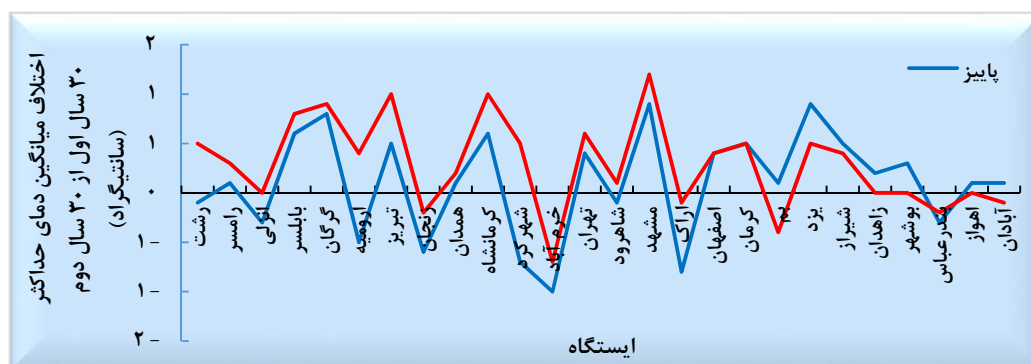
رشت که میانگین دمای حداکثر در ۳۰ ساله دوم کاهش داشته، در باقی ایستگاه‌ها با افزایش دمای حداکثر رو به رو بوده‌است. در فصل زمستان و دوره سرد، غیر از ایستگاه انزلی که تغییری در میانگین دمای ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله مشاهده نشده، در سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است. به‌طور کلی در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله و ۱۰ سال پایانی نسبت به ۱۰ سال اول (شکل ۸ و ۱۱) روند افزایشی در دمای حداکثر اتفاق افتاده‌است. در نواحی شمال غرب و غرب، در فصل پاییز و زمستان بالاترین ضریب تغییرات و کمترین میانگین دمای حداکثر رخ داده است. اختلاف ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله و ۱۰ ساله پایانی نسبت به ۱۰ سال اول در این منطقه کمی با دیگر نواحی متفاوت است. به‌طوری که در این نواحی روند افزایش مطلق میانگین دمای حداکثر در همه نواحی رخ نداده‌است و برخی ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته‌اند. در فصل پاییز غیر از ایستگاه‌های خرم‌آباد، شهرکرد و زنجان. در فصل زمستان غیر از ایستگاه خرم‌آباد و زنجان، و در دوره سرد در ایستگاه‌های خرم‌آباد، ارومیه، شهرکرد و زنجان که روند کاهشی در میانگین دمای حداکثر طی ۳۰ سال دوم داشته‌اند، در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده می‌شود. تفاضل ۱۰ ساله آخر نسبت به ۱۰ ساله اول نیز نشان می‌دهد که در فصل پاییز غیر از ایستگاه اراک، خرم‌آباد و شهرکرد در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی در میانگین دمای حداکثر در ۱۰ ساله پایانی رخ داده است. در فصل زمستان و دوره سرد در ۱۰ ساله پایانی نسبت به ۱۰ سال اول در کل منطقه روند افزایشی مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش در ایستگاه‌های ارومیه و کرمانشاه است (شکل ۱۱).



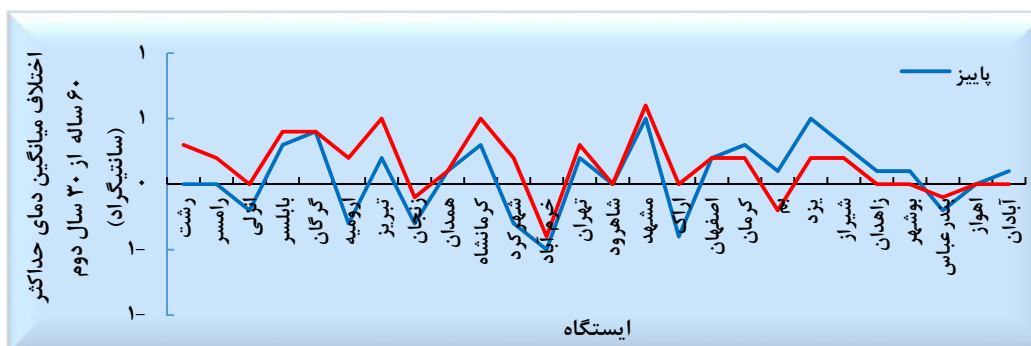
شکل ۱۰ - تفاضل میانگین ۱۰ ساله آخر از ۱۰ ساله اول دمای حداکثر در دوره سرد طی دوره آماری ۶۰ ساله

شکل ۹ - میانگین و ضریب تغییرات دمای حداکثر دوره سرد سال طی دوره آماری ۶۰ ساله

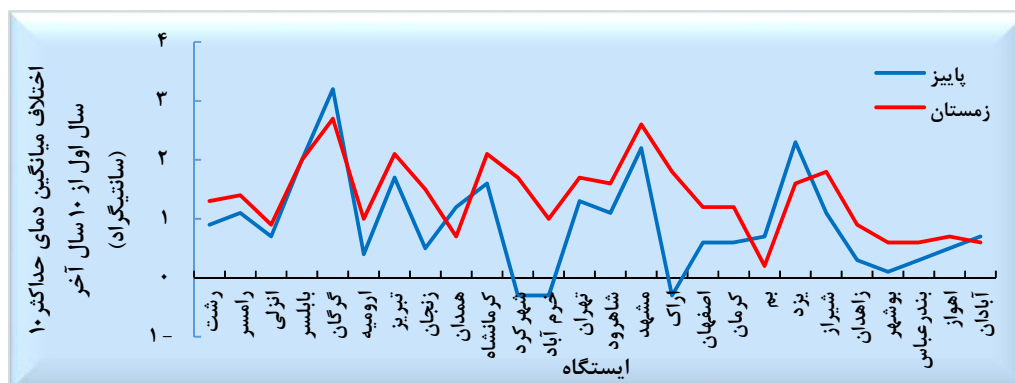
الگوها در کوهپایه‌های جنوبی البرز و شمال شرق نشان می‌دهد، طی ۳۰ سال اول و دوم ضریب تغییرات در این مناطق در فصل زمستان بیشتر از فصل پاییز است؛ اما در ۳۰ سال دوم دمای حداکثر بیشتر است. بیشترین ضریب تغییرات در منطقه شمال شرق مشاهده می‌شود (شکل ۹). در دوره ۶۰ ساله در هر سه الگوی پاییز و زمستان ضریب تغییرات به نسبت پایین‌تر از دو دوره دیگر است. در این مناطق در فصل پاییز در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله غیر از ایستگاه شاهرود در فصل زمستان نیز در هر دو دوره افزایش دما در ۳۰ سال دوم اتفاق افتاده است. در ۱۰ سال آخر نسبت به ۱۰ سال اول در هر سه فصل پاییز و زمستان روند افزایشی در میانگین حداکثر دما رخ داده است که بیشترین افزایش به‌طور کلی در بین تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، مربوط به ایستگاه مشهد بوده است (شکل ۱۱، ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۱- اختلاف میانگین دمای حداکثر ۳۰ سال اول از ۳۰ سال دوم طی فصل پاییز و زمستان



شکل ۱۲- اختلاف میانگین ۶۰ ساله از ۳۰ سال دوم طی فصل پاییز و زمستان



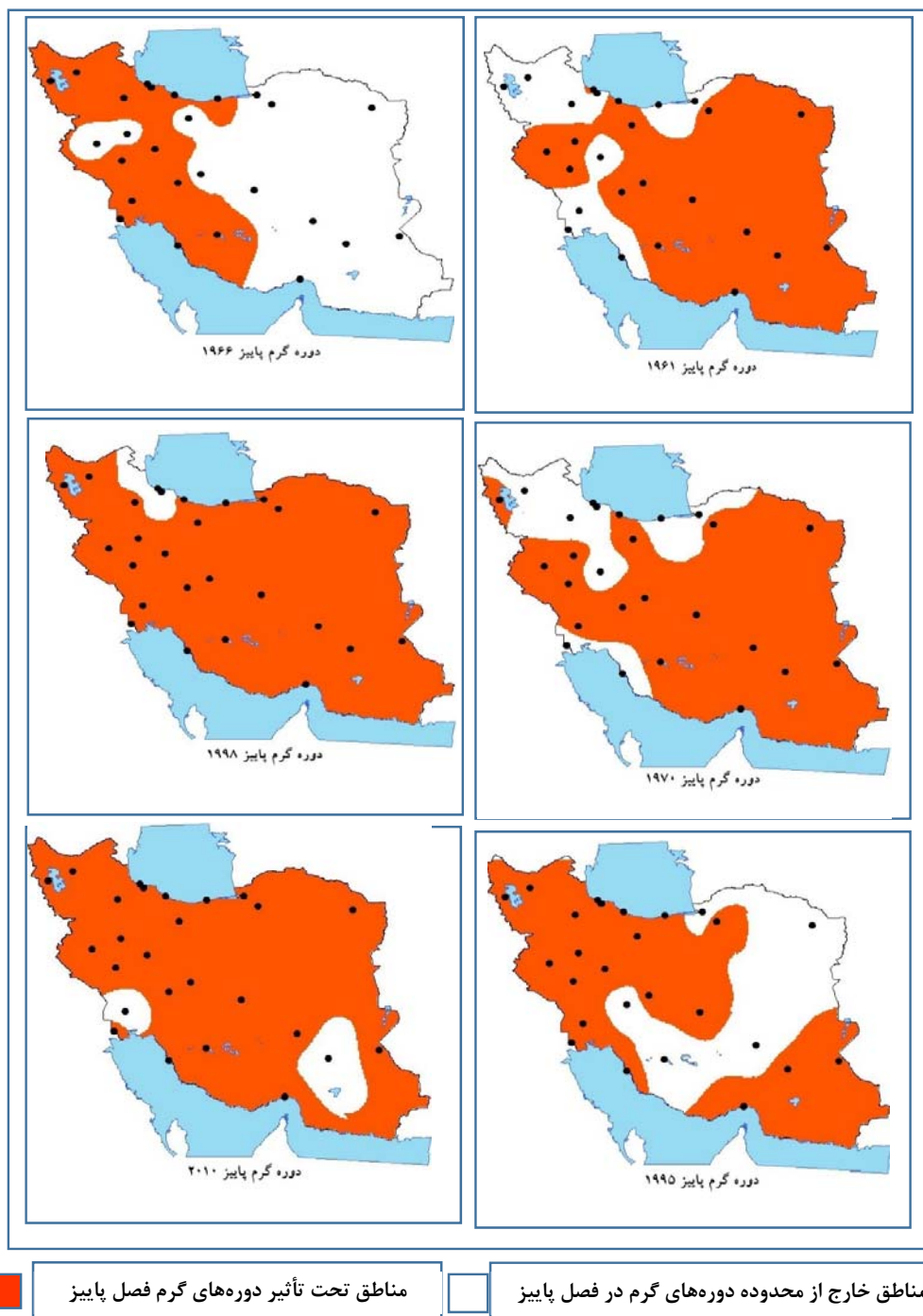
شکل ۱۳- اختلاف میانگین ۱۰ ساله اول از ۱۰ سال پایانی طی فصل پاییز و زمستان

الگوها در نواحی مرکزی و شرقی نشان می‌دهد که در فصل پاییز در ۳۰ سال اول میانگین دمای حداکثر کمتر از ۳۰ ساله دوم و دوره ۶۰ ساله است و الگوی ۶۰ ساله از الگوی ۳۰ سال دوم بیشتر تأثیر پذیرفته است؛ اما در فصل زمستان دمای حداکثر کاهش و ضریب تغییرات افزایش یافته است (شکل ۹). تفاضل داده‌های ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله (شکل ۱۱ و ۱۲) نشان می‌دهد که در این نواحی در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله در فصل پاییز غیر از ایستگاه اراک، در فصل زمستان غیر از ایستگاه اراک، بم و زاهدان که روند کاهشی داشته‌اند، بقیه ایستگاه‌های این نواحی روند افزایشی داشته است. در این نواحی تفاضل ۱۰ ساله اول از ۱۰ ساله آخر (شکل ۱۰ و ۱۳) بیان می‌کند که در همه ایستگاه‌ها غیر از اراک در فصل پاییز که در ۱۰ ساله آخر با کاهش میانگین دمای حداکثر همراه بوده است، در باقی ایستگاه‌ها افزایش دمای حداکثر اتفاق افتاده است. الگوی میانگین و ضریب تغییرات در نواحی جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق در هر سه دوره در این نواحی نشان می‌دهد که میانگین حداقل دما بالاتر و ضریب تغییرات پایین‌تر از دیگر نواحی کشور است. در نواحی جنوب غربی در ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله تغییرات بسیار ناچیز است. در نواحی جنوب و جنوب شرق نیز در ایستگاه‌های بندرعباس روند کاهشی محسوسی در هر سه فصل پاییز، زمستان و دوره سرد در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله مشاهده می‌شود (شکل ۱۱ و ۱۲). همچنین در این نواحی در کلیه دوره‌های مورد مطالعه ۱۰ ساله پایانی نسبت به ۱۰ سال اول روند افزایشی در میانگین دمای حداکثر رخ داده است (شکل ۱۳).

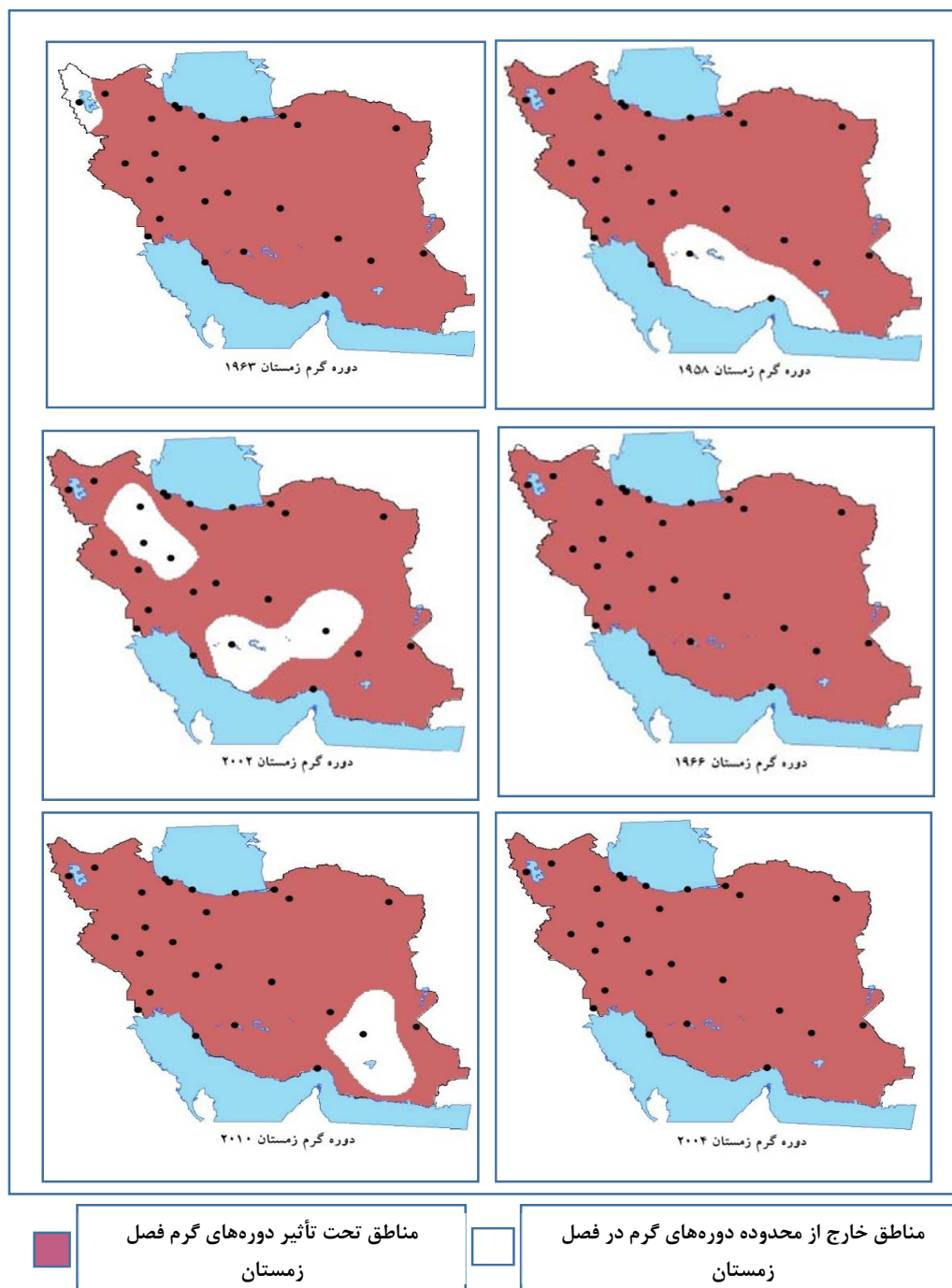
۴-۳- برآورد احتمال ۲۰ درصد حد پیشینه دمای حداکثر

بررسی الگوی برآورد احتمال ۲۰ درصد کمینه و بیشینه دمای حداکثر پاییز در دو دوره ۳۰ ساله و یک دوره ۶۰ ساله (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که بطور کلی نیمه شمالی بویژه شمال غرب کشور از میانگین دمای حداکثر پایین‌تری برخوردارند و با حرکت به سوی جنوب و جنوب شرق به رخداد روزهای با میانگین دمای حداکثر افزوده می‌شود. در

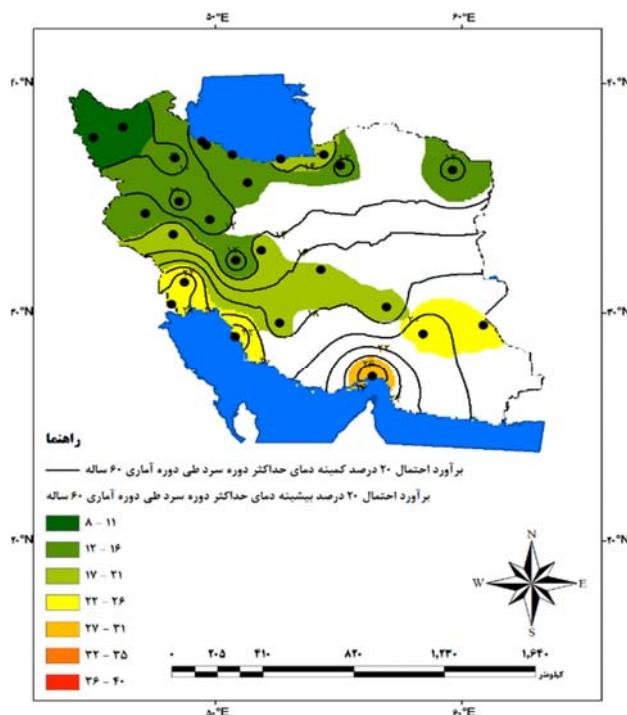
سواحل جنوبی کشور ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر و آبادان بالاترین میانگین دمای حداکثر در این فصل را تجربه کرده‌اند. شباهت نقشه ۶۰ ساله و دوره ۳۰ ساله دوم بیشتر می‌باشد که نشان از تأثیرگذاری بیشتر داده‌های دوره ۳۰ ساله دوم که این تشابه در نیمه جنوبی کشور بیشتر می‌باشد که دلیل آن از یک طرف تعدیل هواهای سرد فرارفت شده بر روی کشور از مبادی ورودی آن به سوی مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرق است و از طرف دیگر نفوذ توده‌های هوای جنوبی و تأثیر آنها در نیمه جنوبی ایران سبب تعدیل دما در این مناطق شده است. همچنین دوره‌های گرم فراگیر در جدول (۲) آورده شده است. همچنین محدوده اثر گذاری این دماها در فصل پاییز زمستان به صورت پهنه نشان داده شده است (شکل ۱۵ و ۱۶). همان طور که در جدول (۲) دیده می‌شود، در ۳۰ سال اول دوره آماری طی فصل پاییز و زمستان، در دهه ۶۰ بیشتر تحت تأثیر دماهای حداکثر بالای فراگیر قرار گرفته است؛ اما در ۳۰ سال دوم در دهه ۲۰۰۰ بیشترین و فراگیرترین رخداد دوره‌های گرم نسبت به ۵ دهه گذشته اتفاق افتاده است.



شکل ۱۵- محدوده اثر گذاری دوره‌های گرم در فصل پاییز بر اساس ۲۰ درصد حد بیشینه دمای حداکثر



شکل ۱۶- محدوده اثر گذاری دوره‌های گرم در فصل زمستان بر اساس ۲۰ درصد حد بیشینه دمای حداکثر



شکل ۱۴- الگوی ۲۰ درصد بالا و پایین دمای حداکثر طی دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۰)

۵-۳- روند یابی تغییرات دمای حداقل و حداکثر

روندیابی تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر طی دوره آماری ۶۰ ساله در فصول پاییز و زمستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در مورد میانگین دمای حداقل فصل پاییز، زمستان به ترتیب با ۲۳ و ۲۰ ایستگاه (جدول ۳ و ۴) و در مورد دمای حداکثر ۱۱ و ۵ ایستگاه روند معنادار داشته‌اند (۵ و ۶). ۵ ایستگاه از ۲۳ ایستگاه دمای حداقل در فصل پاییز روند کاهشی داشته و بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی نشان می‌دهند و بیشترین افزایش مربوط به دو ایستگاه تهران و مشهد بوده است (۰,۷ درجه سانتی‌گراد). در مورد دمای حداکثر از بین ۱۱ ایستگاه دارای روند تنها ایستگاه خرم‌آباد دارای روند کاهشی بوده است. در این فصل ایستگاه‌هایی که به صورت مشترک دارای روند افزایشی در دمای حداقل و حداکثر بوده‌اند، مقدار افزایش در حداکثرها بیشتر بوده است. بدین ترتیب میزان اختلاف دمای شبانه‌روزی (DTR) در این ایستگاه‌ها کاهش یافته است. میانگین دمای حداقل ۳ ایستگاه از ۲۰ ایستگاه دارای روند در فصل زمستان کاهشی و ۱۷ ایستگاه افزایشی بوده است. در مورد دمای حداکثر، ۵ ایستگاه روند افزایشی داشته‌اند که غیر از ایستگاه گرگان، در چهار ایستگاه بابل‌سر، کرمانشاه، مشهد و تبریز هم در دمای حداقل و هم در دمای حداکثر با افزایش مواجه بوده‌اند. مقدار این افزایش در دماهای حداقل بیشتر بوده است؛

بنابراین در این مناطق کاهش دامنه اختلاف دمای شبانه‌روزی رخ داده است. در ایستگاه گرگان نیز فقط در دمای حداکثر افزایش داشته است.

۱۴ ایستگاه از ۲۳ ایستگاه دمای حداقل در دوره سرد روند کاهشی و بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی نشان می‌دهند؛ اما در مورد دمای حداکثر همه ایستگاه‌ها غیر از خرم‌آباد روند افزایشی داشته‌اند. در ایستگاه‌های دارای روند مشترک در دمای حداکثر و حداقل، در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایش دمای حداقل بیشتر بوده است. در ایستگاه‌های کرمانشاه و تبریز روند افزایشی دمای حداقل و حداکثر دما به صورت برابر بوده و بنابراین در این مناطق تغییر چندانی در اختلاف دمای شبانه روز ایجاد نشده است. در ایستگاه خرم‌آباد روند کاهشی دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر در هر دهه بوده است. به‌طور کلی در ایستگاه‌های نواحی سواحل جنوبی دریای کاسپین، جنوب و جنوب غرب (بجز بندرعباس) جنوب شرق، کوهپایه‌های جنوبی البرز و نواحی مرکزی افزایش دمای حداقل بدون تغییر در دمای حداکثر اتفاق افتاده است؛ بنابراین در این نواحی نیز اختلاف دمای شبانه روز کاهش یافته است. در ایستگاه‌های بندرعباس، خرم‌آباد و همدان نیز دمای حداقل و حداکثر کاهش یافته است که این امر می‌تواند ناشی از قرار گرفتن در معرض عبور توده‌های هوای سرد باشد. البته نقش توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه هم مؤثر است.

جدول ۳- روندیابی تغییرات دمای حداکثر طی دوره آماری ۶۰ ساله طی فصل پاییز

نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
بابلسر	۰,۲	افزایش	$Yt = 17.5 + 0.02 * t$	کرمان	۰,۱	افزایش	$Yt = 19.5 + 0.01 * t$
بم	۰,۰۸	افزایش	$Yt = 26.8 + 0.00 * t$	کرمانشاه	۰,۲	افزایش	$Yt = 16.6 + 0.02 * t$
گرگان	۰,۴	افزایش	$Yt = 17.9 + 0.04 * t$				

جدول ۴- روندیابی تغییرات دمای حداکثر طی دوره آماری ۶۰ ساله طی فصل زمستان

نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
بابلسر	۰,۲	افزایش	$Yt = 17.59 + 0.02 * t$	مشهد	۰,۳	افزایش	$Yt = 14.7 + 0.03 * t$
گرگان	۰,۴	افزایش	$Yt = 17.93 + 0.04 * t$	شیراز	۰,۲	افزایش	$Yt = 20.3 + 0.02 * t$
کرمانشاه	۰,۲	افزایش	$Yt = 16.6 + 0.02 * t$	تبریز	۰,۲	افزایش	$Yt = 11.7 + 0.02 * t$
مشهد	۰,۳	افزایش	$Yt = 14.7 + 0.03 * t$	تهران	۰,۱	افزایش	$Yt = 16.3 + 0.01 * t$

ادامه جدول ۴

نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	نام ایستگاه	مقدار در هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
تبریز	۰,۲	افزایش	$Yt = 11.7 + 0.02 * t$	یزد	۰,۳	افزایش	$Yt = 19.4 + 0.03 * t$
خرم‌آباد	۰,۱	کاهش	$Yt = 20.62 + 0.01 * t$				

جدول ۵- روندیابی تغییرات دمای حداقل طی دوره آماری ۶۰ ساله طی فصل پاییز

فصل پاییز							
ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
آبادان	۰,۳	افزایش	$Yt = 12.5 + 0.03 * t$	مشهد	۰,۷	افزایش	$Yt = -0.007 + 0.07 * t$
اهواز	۰,۵	افزایش	$Yt = 11.7 + 0.05 * t$	ارومیه	۰,۶	کاهش	$Yt = 3.1 + 0.06 * t$
انزلی	۰,۴	افزایش	$Yt = 9.5 + 0.04 * t$	رامسر	۰,۳	افزایش	$Yt = 9.3 + 0.03 * t$
بابلسر	۰,۴	افزایش	$Yt = 8.5 + 0.04 * t$	رشت	۰,۴	افزایش	$Yt = 7.1 + 0.04 * t$
بم	۰,۰۸	افزایش	$Yt = 11 + 0.008 * t$	شهرکرد	۰,۲	کاهش	$Y = -0.001 - 0.02 * t$
بندرعباس	۰,۱	کاهش	$Yt = 19 - 0.01 * t$	شاهرود	۰,۵	افزایش	$Yt = 2.2 + 0.05 * t$
بوشهر	۰,۴	افزایش	$Yt = 14.8 + 0.04 * t$	شیراز	۰,۳	افزایش	$Yt = 3.9 + 0.03 * t$
اصفهان	۰,۳	افزایش	$Yt = 2.7 + 0.03 * t$	تبریز	۰,۳	افزایش	$Yt = 1.5 + 0.03 * t$
همدان	۰,۲	کاهش	$Yt = -0.4 - 0.02 * t$	تهران	۰,۷	افزایش	$Yt = 5.1 + 0.07 * t$
کرمان	۰,۱	افزایش	$Yt = 0.6 + 0.01 * t$	یزد	۰,۵	افزایش	$Yt = 4.1 + 0.05 * t$
کرمانشاه	۰,۴	افزایش	$Yt = 1 + 0.04 * t$	زاهدان	۰,۳	افزایش	$Yt = 3.3 + 0.03 * t$
خرم‌آباد	۰,۳	کاهش	$Yt = 6.5 + 0.03 * t$				

جدول ۸- روندیابی تغییرات دمای حداقل طی دوره آماری ۶۰ ساله طی فصل زمستان

فصل زمستان							
ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
آبادان	۰,۲	افزایش	$Yt = 9 + 0.02 * t$	خرم‌آباد	۰,۳	کاهش	$Yt = 2.67 - 0.03 * t$
اهواز	۰,۴	افزایش	$Yt = 8.2 + 0.04 * t$	مشهد	۰,۴	افزایش	$Y = -2.2 + 0.04 * t$
انزلی	۰,۳	افزایش	$Yt = 4.1 + 0.03 * t$	رامسر	۰,۲	افزایش	$Yt = 4.04 + 0.02 * t$
بابلسر	۰,۳	افزایش	$Yt = 4.2 + 0.03 * t$	رشت	۰,۳	افزایش	$Yt = 2.5 + 0.03 * t$

ادامه جدول ۸

فصل زمستان							
ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط	ایستگاه	مقدار هر ۱۰ سال	نوع روند	معادله خط
بم	۰,۲	افزایش	$Yt = 7.5 + 0.02 * t$	شاهرود	۰,۲	افزایش	$Yt = -1.1 + 0.02 * t$
بندرعباس	۰,۲	کاهش	$Yt = 15.2 - 0.02 * t$	شیراز	۰,۲	افزایش	$Yt = 1.6 + 0.02 * t$
بوشهر	۰,۲	افزایش	$Yt = 11.1 + 0.02 * t$	تبریز	۰,۳	افزایش	$Yt = -4 + 0.03 * t$
اصفهان	۰,۱	افزایش	$Yt = 0.05 + 0.01 * t$	تهران	۰,۶	افزایش	$Yt = 0.3 + 0.06 * t$
همدان	۰,۴	کاهش	$Yt = -4 - 0.04 * t$	یزد	۰,۱	افزایش	$Yt = 2.3 + 0.01 * t$
کرمانشاه	۰,۲	افزایش	$Yt = -2. + 0.02 * t$	زاهدان	۰,۱	افزایش	$Yt = 3.6 + 0.01 * t$

۴- جمع‌بندی

به‌طور کلی ضریب تغییرات در سواحل شمالی پایین است که بیانگر نزدیک بودن خصوصیات دما به توزیع نرمال است. در سواحل جنوبی دریای کاسپین میانگین دمای حداقل و حداکثر زمستان کمتر از پاییز و ضریب تغییرات آن بالنسبه بیشتر است که می‌تواند به دلیل تأثیرپذیری بیشتر از توده‌های هوایی با منشاء عرض‌های بالای جغرافیایی در این دوره‌ها باشد. بیشترین ضریب تغییرات در ایستگاه گرگان مشاهده شده که می‌تواند ناشی از صعود حاصل از واداشت اجباری هوا و نزول متعاقب آن از دامنه‌های البرز شرقی باشد. در شمال غرب و غرب کشور نشان می‌دهد که کمترین میانگین دمای حداکثر در هر سه دوره پاییز، زمستان و دوره سرد در شمال غرب و غرب رخ داده است و بیشترین ضریب تغییرات را نیز دارد. در فصل پاییز، زمستان و دوره سرد بالاترین ضریب تغییرات و کمترین میانگین دمای حداکثر رخ داده است که می‌تواند ناشی از مسیرهای ورودی هوای سرد در شمال غرب کشور باشد و کانالیزه شدن مسیر حرکت توسط کوه‌ها، سبب تجمع و انباشت آنها بخصوص در منطقه خرم‌آباد و شهرکرد می‌شود و باعث ایجاد ضریب تغییرات بالای این دو ایستگاه نسبت به دیگر ایستگاه‌های نیمه غربی می‌شود. در حالی که کمترین میانگین دمای حداقل در فصل پاییز در هر سه الگو در شمال غرب، غرب دیده می‌شود و با گذر از مرکز ایران به سوی جنوب شرق و جنوب بر مقادیر میانگین دمای حداقل این فصل افزوده می‌شود. در فصل زمستان در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، همدان از بیشترین ضریب تغییرات برخوردار است که می‌تواند به دلیل موقعیت جغرافیایی، نحوه آرایش ناهمواری‌ها و ارتفاع این ایستگاه باشد. در نواحی شمال غرب و غرب، در فصل پاییز و زمستان بالاترین ضریب تغییرات و کمترین میانگین دمای حداکثر رخ داده است که می‌تواند ناشی از مسیرهای ورودی هوای سرد در شمال غرب کشور و کانالیزه شدن مسیر حرکت توسط کوه‌ها باشد که سبب تجمع و انباشت آنها بخصوص در منطقه خرم‌آباد و شهرکرد می‌شود و باعث ایجاد ضریب تغییرات بالای این دو ایستگاه نسبت به دیگر ایستگاه‌های نیمه

غربی می‌شود. کوهپایه‌های جنوبی البرز و شمال شرق بالاترین میانگین دمای حداکثر و بیشترین ضریب تغییرات را تجربه کرده‌اند در حالی که میانگین دمای حداقل چندان بالا نبوده و ضریب تغییرات آن کمتر بوده است. در ۳۰ سال دوم، هم میانگین حداقل و هم میانگین حداکثر دما افزایش یافته است. در نواحی مرکزی، شرقی، جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی هر دو میانگین دمای حداکثر و حداقل دما بالا و ضریب تغییرات پایین بوده است. در بین این مناطق کمترین ضریب تغییرات و بیشترین میانگین دمای حداکثر و حداقل ثبت شده در نواحی جنوبی رخ داده است که می‌تواند ناشی از تأثیر کم نسبی در قالب پس‌خوراند مثبت در تشدید گرمای هوا، پایین بودن عرض جغرافیایی، طول روز بیشتر در این فصول و قرار گرفتن بیشتر در معرض تابش بخصوص در ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر باشد. بیشترین روند افزایشی دمای حداقل هم در ۳۰ ساله دوم و هم در ۱۰ ساله آخر در هر سه دوره در کل کشور در کوهپایه‌های جنوبی البرز و شمال شرق مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه در اکثر ایستگاه‌ها، دمای میانگین حداکثر و حداقل غیر از نواحی غرب و شمال غرب در ۳۰ سال دوم نسبت به ۳۰ سال اول و دوره ۶۰ ساله و در همه مناطق در ۱۰ ساله آخر نسبت به ۱۰ ساله اول افزایش یافته است که بیانگر، کاهش عملکرد سامانه‌های عرض‌های بالای جغرافیایی، همچنین تمرکز جمعیت بیشتر و تغییر کاربری اراضی و تراکم ساخت و ساز، ترافیک و به‌طور خلاصه دستکاری انسان در طبیعت باشد که پیامد آن افزایش گازهای گلخانه‌ای و ایجاد جزیره حرارتی بخصوص بر روی کلانشهرها است.

بیشترین افزایش میانگین حداقل دما در کوهپایه‌های جنوبی البرز و شمال شرق و بیشترین افزایش دمای حداکثر در ایستگاه مشهد رخ داده است. در این نواحی دو کلان شهر تهران و مشهد با جمعیت، درجه صنعتی، توریستی و آلودگی بالا قرار دارند که همه این موارد می‌تواند از دلایل بالا بودن میانگین دمای حداقل نسبت به سایر ایستگاه‌ها در دوره ۳۰ ساله دوم و ۱۰ ساله آخر باشد؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان به وجود یک روند افزایشی در میانگین دمای حداقل و حداکثر و به تبع آن افزایش در متوسط دما در سه دهه اخیر دوره آماری مورد نظر پی برد که این افزایش خود در اثر عوامل گوناگونی همچون افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر استفاده از سوختها، قطع بی رویه جنگلها در نقاط مختلف و دیگر دخالت‌ها و دستکاریهای انسان در طبیعت رخ داده است. این افزایش با دستاوردهای شمس و موسوی بایگی (۱۳۹۵)، سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۰)، ورشایان و همکاران (۱۳۹۰) و رحیم زاده و عسکری (۱۳۸۳) هماهنگی دارد. در نواحی شمال غرب و غرب نیز همچنین طی سه دوره کمتر دستخوش تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر واقع شده یا میانگین دمای حداقل آنها در دهه پایانی نسبت به دهه ابتدایی کاهش یافته که می‌تواند به علت قرار گرفتن در مسیر توده‌های هوایی سردی باشد که به کشور وارد می‌شوند. دماهای ۲۰ در صد کمینه دمای حداقل و حداکثر ثبت شده ایستگاه‌ها، غیر از ۳۰ سال اول فصل پاییز، در بقیه دوره‌ها بر هم منطبق هستند. در ۳۰ سال اول فصل پاییز دوره‌های سرد فراگیر در دهه ۵۰ رخ داده است؛ اما در ۳۰ سال اول دمای حداقل

در فصل پاییز و زمستان و ۳۰ سال اول دمای حداکثر در فصل زمستان، بیشترین دوره‌های سرد در دهه ۷۰ بخش‌های وسیعی از کشور را مورد هجوم قرار داده است. در مورد دماهای ۲۰ در صد حد بیشینه دمای حداکثر و حداقل ثبت شده ایستگاه‌ها طی دو دوره پاییز و زمستان باید گفت که در دهه پایانی ۳۰ سال دوم (سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) که به عنوان نمادی از تأثیر فزاینده گرمایش جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌توان نام برد، دوره‌های گرم گسترده‌ای کشور را تحت تأثیر قرار داده که با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و ویژگی‌های بارشی آن می‌تواند پیامدهای ناگواری از جهات اقتصادی-اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی به همراه داشته باشد. آمارها نشان می‌دهد که فراوانی نرخ گرمایی فراگیر در پاییز و زمستان بیشتر شده است. روندیابی با استفاده از روش من-کندال نشان داده که فراوانی ایستگاه‌های دارای روند در دمای حداقل بسیار بیشتر از دمای حداکثر است. این بدان معناست که دماهای حداقل دستخوش تغییرات بیشتری که عمدتاً افزایشی است، شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت در سه دوره مورد مطالعه (پاییز، زمستان و دوره سرد) مقدار حداقل‌های دمایی افزایش بیشتری داشته که با توجه به وضعیت روند در دمای حداکثر، منجر به کاهش دامنه اختلاف دمای شبانه‌روزی شده است. این امر بیانگر وجود یک تغییر در الگوی دمای کشور است که می‌تواند ناشی از اثرات انسانی و دستکاری انسان در طبیعت که در نهایت منجر به تغییرات اقلیمی می‌شود، باشد. شایان ذکر است که با بررسی بیشتر میانگین حداقل و حداکثر دما مشخص شد که در برخی ایستگاه‌ها اختلافاتی در ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ ساله اول وجود داشته که بعضی از آنها قابل توجه بوده است؛ اما آزمون من-کندال نتوانسته به خوبی وجود روند در این ایستگاه‌ها را مشخص سازد. به همین دلیل می‌توان گفت که این آزمون نمی‌تواند برای پی بردن به روند موجود در عنصر دما قابل اعتماد باشد و باید از روش‌های جایگزین بهتری استفاده شود. در نهایت می‌توان گفت که نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدیران سطوح مختلف کشور باید به شکلی بسیار هوشمندانه در بهره‌وری از منابع کشور عمل کنند، چون که سرزمین ایران در برابر خشکی و خشکسالی‌های فراگیر که نمادی از هجوم دوره‌های گرم فراگیر می‌باشند، نسبت به بسیاری از کشورها آسیب‌پذیر تر است و از طرفی پیامدهای آن از عمق و گسترش بیشتری می‌تواند برخوردار باشد.

تقدیر و تشکر

از پژوهشکده هواشناسی و علوم جو به سبب در اختیار گذاشتن فرصت مطالعاتی و همچنین همکاری بسیار نزدیک در مورد دریافت داده‌ها و استفاده از منابع مورد نیاز این موسسه و همچنین جناب آقای دکتر محمد پور، جناب آقای دکتر رهنما و جناب آقای دکتر روحبخش به سبب کمک‌های علمی ایشان قدردانی می‌شود. همچنین از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به سبب حمایت مالی از این مقاله قدردانی می‌شود.

کتابنامه

- اسمعیل نژاد، م؛ خسروی، م؛ علیجانی، ب؛ مسعودیان، ا. شناسایی امواج گرمایی ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۳. صص ۳۹-۵۴.
- امیدوار، ک؛ خسروی، ی؛ ۱۳۸۹. بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. شماره ۲(۳۸). صص ۳۳-۴۶.
- خوش اخلاق، ف؛ غربی، ا؛ شفیعی، ز؛ ۱۳۹۰. نگرشی بر تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه ایران زمین. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. شماره ۲(۴۲). صص ۱۹۹-۲۱۶.
- رحیم‌زاده، ف؛ عسکری، ا؛ ۱۳۸۳. نگرشی بر تفاوت نرخ افزایشی دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه‌روزی دما در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۷۳. صص ۱۵۳-۱۷۱.
- رئیس‌ناجی، ع؛ سلطانی محمدی، ا؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات زمانی بارندگی و میانگین، حداقل و حداکثر دما (مطالعه موردی: ایستگاه شهرکرد). *مجله علمی-ترویجی نیوار*. شماره ۹۴-۹۵. صص ۶۹-۸۰.
- سبزی‌پرور، ع؛ ا؛ میرگلوی بیات، ر؛ قیامی، ف؛ ۱۳۹۰. ارزیابی روند احتمالی تغییرات اختلاف دمای شبانه‌روزی در برخی اقلیم‌های خشک کشور طی پنج دهه گذشته. *مجله پژوهش فیزیک ایران*. شماره ۱(۱۱). صص ۲۷-۳۷.
- شمس، س؛ موسوی بایگی، م؛ ۱۳۹۵. بررسی نقطه شکست و روند تغییرات دامنه شبانه‌روزی دمای هوای شهر مشهد. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ۳۰(۲). صص ۱۶۷۳-۱۶۸۵.
- قاسمی‌فر، ا؛ ناصرپور، س؛ ۱۳۹۵. تحلیل سینوپتیکی امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی*. شماره. صص ۱۳۵-۱۴۶.
- قویدل رحیمی، ی؛ فرج‌زاده، م؛ مطلبی‌زاد، س؛ ۱۳۹۵. تحلیل آماری و سینوپتیک امواج سرمای منطقه شمال‌غرب ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۴۰. صص ۲۹-۴۶.
- ورشایوان، و؛ خلیلی، ع؛ قهرمان، ن؛ حجام، س؛ ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. شماره ۱(۳۷). صص ۱۶۹-۱۷۹.
- Alexander, LV., Zhang, X., Peterson, TC., Caesar, J., Gleason, B., Klein, AMG., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, pp. 1-22
- Barnett, A.G., Hajat, S., Gasparrini, A., & Rocklov, J. (2014). Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, 218-224.
- Ceccherini, G., Russo, S., Ametztoy, I., Patricia Romero, C., Carmona-Moreno, C., 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Nat. Hazards Earth Syst*, 16, 821-831.
- Hamid, AT., Sharif, M., Arche, D., 2014. Analysis of Temperature Trends in Satluj River Basin. *India*. 5. 2-9.

- Houghton, J T.Y., Ding, D J., Griggs, M., Noguer, P J., Linden, X., Dai, K., Maskell, C.A., 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge Univ. Press, New York. Vol. 111, pp. 1-22.
- IPCC. 2013. Climate change 2013, 2016, the physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Raisanen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Doscher, R., Graham, LP., Jones, C., Meier, HEM., Samuelsson, P., Willen, U., 2004, European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. Climate Dynamics 22.
- Ramond, A., 2014. Trends of Maximum and Minimum Temperatures in Northern South America, Journal of climate, Vol. 2. 2104-2112.
- Roy, S.S., Balling, C., 2005. Analysis of trends in maximum and minimum temperature, diurnal temperature range, and cloud cover over India, Geophysical Research, 32. 1-4.
- Tshala, M.F., 2011, Analysis of Temperature Trends over Limpopo Province. South Africa. Journal of Geography and Geology. 3(1), pp. 13-21.