نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی | سال هشتم | شماره بیست و نهم و سی ام | بهار و تابستان ۱۳۹۶

شناسایی اثر تغییر اقلیم بر پدیده‌های حدی دما در استان خراسان‌رضوی مطالعه موردی : ۲۰۱۵-۱۹۹۰

مژده سلیمی فرد[۱]، سید حسین ثنائی‌نژاد[۲]، مهدی جباری نوقابی[۳]، لیلا ثابت دیزاوندی[۴]

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسوول)
۳. استادیار گروه آمار، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. کارشناس ارشد اداره کل هواشناسی خراسان رضوی

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۴

چکیده

مسئله تغییر اقلیم همیشه به عنوان یکی از مسائل مهم در مطالعات علمی شناخته می‌شود و به همین دلیل محققان بسیاری در زمینه علل و ماهیت آن تحقیق کرده‌اند. اغلب عوامل تاثیر گذار اقلیمی مربوط به رخدادهای حدی هواشناسی است، که در این میان پارامتر درجه حرارت از جمله مهمترین پارامترها جهت تبیین و شناخت تغییر اقلیم می‌باشد. در این مطالعه به بررسی و ارزیابی دماهای حدی به عنوان شاخصی برای آشکارسازی تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی پرداخته شد. بدین منظور ۱۵ شاخص حدی دما جهت بررسی تغییرات حدی محاسبه شد. داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه این شاخص‌ها شامل داده‌های روزانه حداکثر و حداقل دما بودند که از ۹ ایستگاه سینوپتیک فعال در سطح استان طی بازه زمانی سالهای ۲۰۱۵-۱۹۹۰ برداشت شدند. پس از بررسی صحت و همگنی داده‌ها، شاخص های مذکور محاسبه شدند و به منظور بررسی معناداری روند از آزمون ناپارامتریک من-کندال در این مطالعه استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل روزانه در سطح استان در حال افزایش می‌باشد که شیب افزایش در دمای حداکثر نسبت به دمای حداقل بزرگتر می‌باشد. نتایج بررسی روندها نیز مشخص نمود که به طور کلی شاخص‌های حدی گرم دارای روند افزایشی و شاخص‌های سرد دارای روند کاهشی در منطقه می‌باشند. این در حالی است که در بین شاخص‌های سرد تنها دو شاخص شب‌های سرد(TN10P) و روزهای سرد(TX10P) دارای روند نزولی معنادار و در بین شاخص‌های گرم، ۵ شاخص روزهای تابستانی(SU25)، شب‌های حاره‌ای(TR20)، گرمترین شب‌ها(TNx)، شب‌های گرم(TN90P) و روزهای گرم(TX90P) دارای روند صعودی معنادار در اکثریت ایستگاه‌های مورد مطالعه بودند. به طورکلی نتایج این مطالعه حاکی از افزایش دما در سطح استان بود که افزایش بروز پدیده‌های حدی به خصوص پدیده‌های حدی گرم در طی ۲۰ سال گذشته گویای وقوع تغییر اقلیم در سطح منطقه می‌باشد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، شاخص‌های حدی، دما، روند تغییرات، من-کندال

مقدمه

فعالیت های انسانی جزء محرک های اصلی تغییر اقلیم است. تغییرات در غلظت گازهای گلخانه‌ای، تغییر در کاربری اراضی و همچنین تغییر پوشش سطح زمین چه از طریق فرآیندهای طبیعی چه انسانی ، موجب تغییرات در جذب ، پراکنده شدن و عبور تابش خورشیدی توسط اتمسفر و زمین می‌شود و موجب تغییر در فرآیندهای زمینی و اتمسفری می گردد. این اثر موجب تغییرات خصوصیات آب‌وهوای یک منطقه که در دراز مدت در آنجا حاکم بوده است و اقلیم منطقه را شکل داده‌است شده و به این ترتیب پدیده تغییر اقلیم در منطقه رخ می‌دهد. یکی از مهمترین بخش‌هایی که می‌توان اثرات تغییر اقلیم را در آن به خوبی مشاهده نمود بخش کشاورزی می‌باشد، زیرا از وابستگی‌های مهم این بخش اقلیم مطلوب و آب‌وهوای مناسب است، از این رو در میان بخش-های اقتصادی جهان در ارتباط با تغییر اقلیم و اثرات آن بر حفظ امنیت غذایی به خصوص در کشورهای در حال توسعه نگرانی‌هایی وجود دارد (Reynolds. 2010).

یکی از مباحث مهم در مطالعه تغییر اقلیم، بررسی رفتار وقایع حدی می‌باشد. امروزه ثابت شده‌است که تغییر در شدت و فراوانی وقایع حدی به مراتب اثر مخرب‌تری نسبت به تغییر در متوسط حالت اقلیمی بر روی سلامت انسانها، واحدهای اجتماعی و سیستم‌های طبیعی خواهد داشت. رویدادهای آب‌وهوایی حدی پدیده‌هایی هستند که از نظر فراوانی کمیاب و درجه شدت بالایی دارند و در هنگام وقوع روال معمول اکوسیستم و ساکنان منطقه را با تغییرات جدی روبه‌رو می‌کند و البته احتمال وقوع این رویدادها نیز به طور متوسط کمتر از ۵٪ تعریف شده‌است. از جمله رویدادهای حدی می‌توان به موج‌های گرمایی و سرمایی، سیل، خشکسالی، یخبندان، طوفان‌های شدید، گردبادها و... اشاره کرد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به اهمیت وقوع پدیده‌های حدی در هر منطقه و پیش‌بینی وقوع آنها به منظور جلوگیری از بروز خسارت و صدمات در بخش‌های مختلف، مطالعه و بررسی تغییرات پدیده‌های حدی در طول زمان اهمیت می‌یابد. به منظور شناسایی و مطالعه این پدیده‌ها در طول زمان گروهی از متخصصین CCI/CLIVAR[1] که بر روی تغییر اقلیم مطالعه می‌کنند، گروهی از شاخص‌ها را معرفی نمودند. با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان وقوع پدیده‌های حدی دمایی و بارشی را در طول زمان شناسایی کرد. شاخص‌های حدی که به بررسی وقوع پدیده های حدی دمایی می‌پردازند، به طور کلی شامل سه دسته کلی می‌شوند. دسته اول شامل شاخص‌های مطلق می‌شود مانند: شاخص‌های روزهای تابستانی، شب‌های حاره‌ای، روزهای یخبندان، و روزهای یخی. این دسته از شاخص‌ها بر اساس داده‌های مشاهداتی اصلی و آستانه‌های ثابتی محاسبه می‌شوند. دسته دوم شامل شاخص‌های نسبی مانند: روزها (شب‌های) گرم، روزها (شب‌های) سرد می‌شود، که بر اساس آستانه‌های نسبی (درصد) محاسبه می‌شوند. دسته سوم شامل شاخص‌هایی می‌شود که طول دوره سرما و گرما را محاسبه می‌کنند، مانند: محدوده تغییرات دمای روزانه و طول فصل رشد (Sun et al. 2016).

با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده در سراسر جهان، همگی بر تغییر روند پارامترهای اقلیمی درجه حرارت در دهه‌های اخیر توافق داشته و آن را در جهت تبیین و شناخت تغییر اقلیم مهم ارزیابی نموده‌اند (شکیبا و پیشداد، ۱۳۸۹). وینسنت و همکاران (Vincent et al. 2005)، با استفاده از داده‌های روزانه دما در ۸ کشور آمریکای جنوبی مطالعه‌ای را با هدف بررسی تغییرات شاخص‌های حدی انجام دادند. در این مطالعه جهت بررسی تغییرات شاخص‌ها از ۱۱ شاخص حدی دما استفاده شد. نتایج این مطالعه حاکی از وجود روندی در شاخص‌های حدی طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ بود. آگیلار و همکاران (Aguilar et al. 2009)، مطالعه‌ای را در گینه و زیمباوه جهت بررسی شاخص‌های حدی اقلیمی انجام دادند. آنها از داده‌های روزانه ۶۶ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۱۹۹۵-۱۹۷۱ استفاده کردند. نتایج این مطالعه نیز مانند بسیاری از مطالعات در سایر نقاط دنیا حاکی از روند کاهشی شاخص‌های حدی سرد و روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم بود. زو و همکاران (Xu et al. 2011)، در کشور چین بر اساس آمار روزانه دمای حداقل و حداکثر و آمار روزانه

[1] Commission for Climatology/ Climate Variability and Predictability

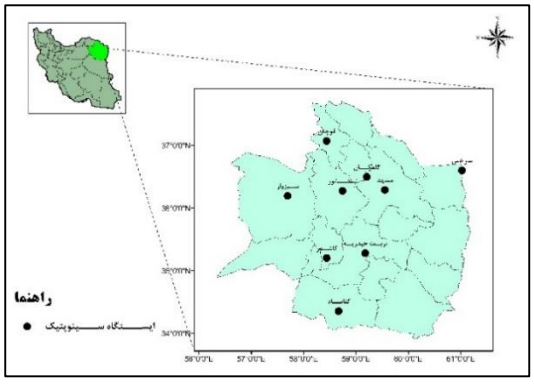
بارش ۵۳۲ ایستگاه هواشناسی در دو بازه زمانی ۱۹۸۲-۱۹۶۰ و ۲۰۰۷-۱۹۹۰ به بررسی و مقایسه شاخص‌های حدی اقلیمی پرداختند. شاخص‌های حدی سرد در این کشور در قسمت‌های شمال، شمال‌شرق، دارای روند کاهشی بوده‌است در حالی که شاخص‌های حدی گرم در جنوب، جنوب‌غربی و شمال‌غربی چین در حال افزایش است. در همین حال مقادیر حدی بارش سالانه و روزهای با بارش حدی به ترتیب ۱۰/۹ میلیمتر و ۰/۱۲ روز دارای افزایش بوده‌است. وانگ و همکاران (Wang et al. 2012)، با استفاده از آمار ۶۵۴ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۴ به مطالعه تغییرات روند شاخص‌های حدی (روزهای سرد، شب‌های سرد، روزهای گرم و شب‌های گرم) در چین پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص‌های حدی سرد در ۲۰ سال اخیر در این کشور دارای روند کاهشی و بالعکس شاخص-های حدی گرم دارای روند افزایشی معنادار بوده‌اند. همچنین میزان تغییرات روند در شاخص‌های حدی گرم نسبت به شاخص‌های سرد حدی بزرگتر است. کگن‌هاف و همکاران (Keggenhoff et al. 2014)، تغییرات سالانه شاخص‌های حدی اقلیمی از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ را با استفاده از داده‌های همگن دمای حداقل و حداکثر و داده‌های بارش در گرجستان بررسی کردند. در این مطالعه ۱۴ شاخص دمایی و ۱۱ شاخص بارشی محاسبه گردید و روند آنها مورد مطالعه قرار گرفت. در این بازه زمانی اکثریت شاخص‌های دمایی دارای روند گرم معنادار بودند و تعداد بسیار زیادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنادار گرم برای دمای حداقل و حداکثر ماهانه نشان دادند. دنگ و همکاران (Deng et al. 2014)، با استفاده از آمار ۶۸ ایستگاه هواشناسی در مدت ۵۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۶۱) به بررسی پدیده‌های حدی اقلیمی در منطقه خشک شمال‌غرب چین پرداختند. آنها از آزمون ناپارامتریک من-کندال جهت بررسی روند در سری زمانی داده‌های دمایی و بارشی استفاده کردند. در منطقه مورد مطالعه ۳ شاخص دمایی میانگین دمای هوا، میانگین دمای حداقل روزانه در سال و میانگین دمای حداکثر روزانه در سال دارای روند افزایشی بود. همچنین نتایج این مطالعه در مورد شاخص‌های حدی بارش نشان داد که ۳ شاخص بارشی میانگین بارش سالانه، تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر و حداکثر تعداد روزهای مرطوب در سال نیز دارای روند افزایشی است. رامل و همکاران (Ruml et al. 2017)، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی دمایی در سیبری بر اساس ۱۸ شاخص حدی که با استفاده از داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه، ۲۶ ایستگاه هواشناسی در سطح سیبری جمع-آوری شده بود، طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ پرداختند. به منظور بررسی روند در این منطقه از آزمون من-کندال استفاده شد. به طور کلی در این منطقه شاخص‌های گرم روندی سرد تا سال ۱۹۸۰ و روندی گرم برای سال‌های پس از آن نشان دادند. این در حالی بود که شاخص‌های سرد روندی گرم در کل دوره مورد مطالعه نشان دادند. محمدی و تقوی (۱۳۸۴)، روند شاخص‌های حدی اقلیمی را بر اساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ مورد مطالعه قرار دادند. علاوه برآن توزیع دنباله‌های حدهای گرم و سرد و کاربرد شاخص‌ها در موارد مختلف نیز در این مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی سرد روند کاهشی محسوسی دارند و روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملا افزایشی بود و شیب مثبت داشت. شاخص‌های حدی بارش نیز روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان دادند. شکیبا و پیشداد (۱۳۸۹)، در مطالعه ای به ارزیابی دمای حدی به عنوان شاخص تغییرپذیری اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک سمنان در طی دوره آماری ۴۲ ساله (۲۰۰۶-۱۹۶۵) پرداختند. جهت دستیابی به هدف موردنظر و تعیین تغییرات اقلیمی اخیر در منطقه، ۷ شاخص دمایی حدی انتخاب و محاسبه شد. بر اساس شاخص‌های مذکور نتایج نشان داد که رژیم حرارتی در منطقه مطالعاتی در طی دوره آماری با روند افزایشی همراه است. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳)، تحقیقی با هدف بررسی روند وقوع شرایط حدی هواشناسی در استان خراسان‌رضوی و در ۳ ایستگاه مشهد، سبزوار، تربت‌حیدریه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ به روش من-کندال انجام دادند. نتایج حاصله مشخص کرد که به طور کلی در منطقه مورد مطالعه تعداد روزهای یخبندان، روزهای یخی و وقوع دوره‌های سرد کاهش یافته و بالعکس تعداد روزهای آفتابی، شب‌های حاره-ای و نیز طول دوره گرم افزایش داشته‌است. همچنین شاخص‌های حدی بارش با نوسان بیشتر و عمدتا دارای شیب

کاهشی بسیار کم در منطقه داشتند. کوزه‌گران و موسوی (۱۳۹۳)، با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی تعدادی از ایستگاه‌های خراسان رضوی و جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۲ مطالعه‌ای را با هدف بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی انجام دادند. جهت بررسی روند از ۲۷ شاخص حدی بارش و دما استفاده شدو در نرم‌افزار RClimDex برآورد شدند. نتایج حاکی از گرم شدن منطقه بود. این نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی و شاخص‌های حدی سرد روند کاهشی دارند که نشان دهنده کاهش شدت و فراوانی رویداد بود. عراقی و همکاران (Araghi et al. 2016)، با استفاده از آزمون من-کندال روند تعداد روزهای با دمای حداکثر $Tdmax\geq 30$ و دمای حداقل $Tdmin\leq 0$ را طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ در ۳۰ ایستگاه سینوپتیک در ایران بررسی کردند. برای ۶۷ درصد از ایستگاه‌ها روزهای با دمای کمتر از ۰ درجه سلسیوس روند منفی معنادار نشان داد، در حالی که تنها ۴۰ درصد از یستگاه‌ها روند مثبت و معنادار برای روزهای با دمای بیش از ۳۰ درجه سلسیوس نشان دادند.

استان خراسان رضوی با توجه به موقعیت جغرافیایی و تنوع اقلیمی، جزء مناطق نیمه خشک کشور به شمار رفته که اکثر بارش‌ها در طول فصل سرما در این استان اتفاق می‌افتد. با توجه به تاثیر زیاد پدیده‌های حدی در بخش کشاورزی و وقوع خشکسالی‌های فراوان در این استان که سهم بزرگی در تولیدات کشاورزی کشور دارد، بررسی و مطالعه پدیده‌های حدی دمایی ضرورت می‌یابد. از جمله اهداف این مطالعه، محاسبه شاخص‌های حدی دما در سطح استان و بررسی روند آنها به منظور شناخت الگوی تغییرات پدیده‌های حدی دمایی و همچنین بررسی تعداد وقوع این پدیده‌ها و شناسایی وقوع آثار تغییر اقلیم در سطح استان می باشد.

مواد و روش‌ها :

در این پژوهش از داده‌های روزانه دمای حداقل و داده‌های روزانه دمای حداکثر ۹ ایستگاه سینوپتیک فعال در سطح استان خراسان‌رضوی که دارای بازه آماری مشترک و طولانی مدت بودند، استفاده شد. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب مطابق با شکل (۱) و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) درج شده است. در این مطالعه از ۲۶ سال داده دمای حداقل و حداکثر روزانه بین بازه زمانی سال‌های (۲۰۱۵-۱۹۹۰) استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه استان خراسان‌رضوی

جدول ۱ : مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان خراسان‌رضوی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول شرقی	عرض شمالی	ارتفاع
قوچان	سینوپتیک	۵۸°۴۵′	۳۷°۱۱′	۱۲۷۰
سرخس	سینوپتیک	۶۱° ۱۰′	۳۶°۳۲′	۲۳۵
سبزوار	سینوپتیک	۵۷°۳۹′	۳۶° ۱۲′	۹۷۲
گلمکان	سینوپتیک کشاورزی	۵۹°۱۷′	۳۶°۲۹′	۱۱۷۶
مشهد	سینوپتیک فرودگاهی- جو بالا	۵۹°۳۸′	۳۶°۱۶′	۹۹۹/۲
نیشابور	سینوپتیک کشاورزی	۵۸°۴۸′	۳۶°۱۶′	۱۲۱۳
تربت حیدریه	سینوپتیک	۵۹°۱۳′	۳۵°۱۶′	۱۴۵۰/۸
کاشمر	سینوپتیک	۵۸°۲۸′	۳۵°۱۲′	۱۱۰۹/۷
گناباد	سینوپتیک	۵۸°۴۱′	۳۴°۲۱′	۱۰۵۶

شاخص‌های حدی دما

به منظور مطالعه پدیده‌های حدی دما، محققین در بخش ETCCDI[1] که بر روی شناسایی تغییرات اقلیم در حال فعالیت هستند، تعدادی از شاخص‌ها را جهت مطالعه این پدیده‌ها معرفی نموده‌اند(Alexander et al.2006). بر اساس این شاخص‌ها می‌توان خصوصیات مختلف پدیده‌های حدی از جمله : سرد یا گرم بودن، شدت، تکرار و حتی طول مدت رخ دادن پدیده‌ها را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از ۱۵ شاخص حدی مطابق با جدول (۲) به منظور بررسی تغییرات پدیده‌های حدی دمایی در سطح استان خراسان رضوی استفاده گردید. به طور کلی این شاخص‌ها در ۳ دسته: شاخص‌های گرم، شاخص‌های سرد و شاخص-های متغییر تقسیم بندی می‌شوند.

جدول ۲ : شاخص‌های حدی دمایی محاسبه شده در این مطالعه. TX نشان دهنده دمای حداکثر روزانه. TN نشان دهنده دمای حداقل روزانه.

نماد شاخص	نام شاخص	تعریف	واحد
شاخص‌های سرد			
FD_0	روزهای یخبندان	روزهایی با $Tmin < 0$	روز
ID_0	روزهای یخی	روزهایی با $Tmax < 0$	روز
TN10P	شب‌های سرد	درصد روزهایی با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره مورد مطالعه	روز
TX10P	روزهای سرد	درصد روزهایی با دمای حداکثر کمتر از صدک دهم دوره مورد مطالعه	روز
TNn	سردترین شب‌ها	حداقل ماهانه مقادیر دمای حداقل روزانه	$^{\circ}C$
TXn	سردترین روزها	حداقل ماهانه مقادیر دمای حداکثر روزانه	$^{\circ}C$
CSDI	طول دوره سرما	تعداد روز در سال با حداقل ۶ روز متوالی با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره مورد مطالعه	روز
شاخص‌های گرم			
SU25	روزهای تابستانی	روزهایی با $Tmax > 25$	روز
TR20	شب‌های حاره‌ای	روزهایی با $Tmin > 20$	روز
TN90P	شب‌های گرم	درصد روزهایی با دمای حداقل بیشتر از صدک ۹۰ دوره مورد مطالعه	روز
TX90P	روزهای گرم	درصد روزهایی با دمای حداکثر بیشتر از صدک ۹۰ دوره مورد مطالعه	روز
TNx	گرمترین شب‌ها	حداکثر ماهانه مقادیر دمای حداقل روزانه	$^{\circ}C$
TXx	گرمترین روزها	حداکثر ماهانه مقادیر دمای حداکثر روزانه	$^{\circ}C$
WSDI	طول دوره گرما	تعداد روز در سال با حداقل ۶ روز متوالی با دمای حداکثر بیشتر از صدک ۹۰ دوره مورد مطالعه	روز
شاخص متغییر			
DTR	**محدوده دمای روزانه**	میانگین ماهانه اختلاف دمای حداکثر و دمای حداقل	$^{\circ}C$

کنترل کیفیت و بررسی همگنی داده‌ها

قبل از هرگونه محاسباتی ابتدا باید کیفیت و همگنی داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی قرار گیرد. کنترل کیفیت داده‌ها موجب آشکارسازی داده‌های پرت و همچنین داده‌های خطا به طور مثال : (بیشتر بودن دمای حداقل نسبت به دمای حداکثر) در طول دوره آماری می‌گردد. در این مطالعه به منظور شناسایی داده‌های پرت و خطا از پکیج RClimDex(1.0) که تحت نرم افزار آماری R قابل اجرا می‌باشد استفاده شد. بررسی همگنی متغییرهای آب‌و-هوایی مانند: دما، بارش و ... یکی از گام‌های بسیار مهم در مطالعات اقلیمی است، به خصوص زمانی که بررسی روند این متغییرها هدف مطالعه باشد. زمانی که تغییرات در متغییرهای اقلیمی تنها در اثر نوسان‌های طبیعی آب‌وهوایی باشد، این متغییرها همگن می‌باشند، ولی چناچه تغییرات ناشی از تغییر مکان ایستگاه هواشناسی، تغییرات دستگاه‌های

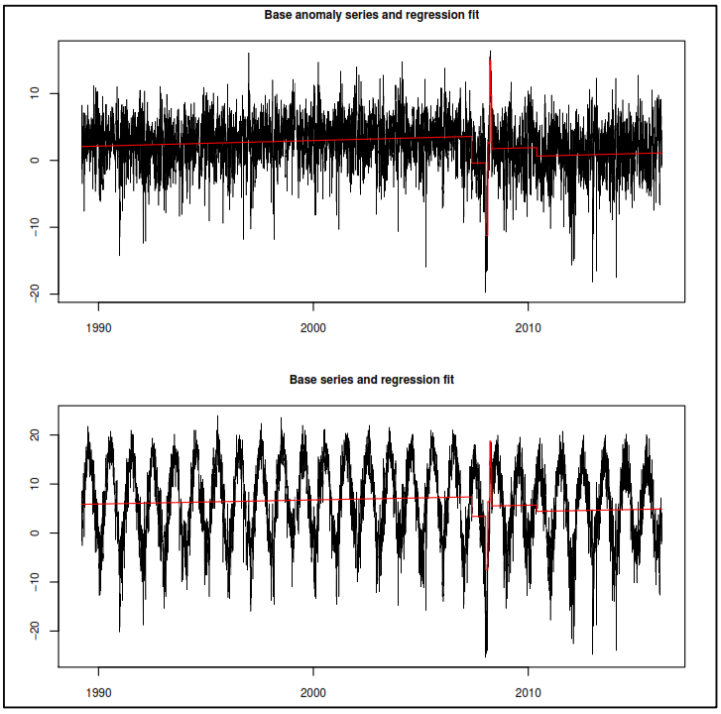
1. Expert Team on Climate Change Detection and Indices

ثبت کننده یا تغییر در زمان داده‌برداری باشد موجب ناهمگنی در سری زمانی متغییرآب‌وهوایی می‌شود (Araghi et al. 2016).

در این مطالعه نقاط ناهمگنی[3] در داده‌های دمایی از طریق پکیج RHtests که به منظور شناسایی و اصلاح این نقاط توسط وانگ و فنگ (Wang et al. 2010) طراحی شده‌است ، استفاده گردید. این پکیج با استفاده از الگوریتم PMFred[4] که بر اساس تاخیر مرتبه ۱ سری زمانی داده‌ها می‌باشد، قادر به شناسایی نقاط ناهمگن است. سپس نقاط ناهمگن توسط الگوریتم QM[5] اصلاح می‌گردد (Wang et al. 2010).

بررسی کیفیت و همگنی داده‌های روزانه دمای حداقل و حداکثر در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های فوق مورد بررسی قرار گرفت. بررسی همگنی داده‌ها با در نظر گرفتن خطا ۵٪ و با در نظر گرفتن سطح معناداری ۹۵٪ محاسبه شد.نتایج همگنی داده‌ها نشان داد که در بین ۹ ایستگاه مورد مطالعه در سطح استان خراسان‌رضوی ۶ ایستگاه که شامل : گلمکان، گناباد، کاشمر، مشهد، سرخس، تربت‌حیدریه است دارای داده‌هایی کامل همگن هستند. ۳ ایستگاه قوچان، نیشابور و سبزوار نقاط ناهمگنی را نشان دادند. این نقاط ناهمگن در هر ۳ ایستگاه در داده‌های روزانه دمای حداقل مشاهده شد. در ایستگاه قوچان ۸ نقطه تغییر در بین بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مشاهده شد. شکل (۲) نتایج بررسی همگنی در ایستگاه قوچان را نشان می‌دهد. در ایستگاه نیشابور تنها ۱ نقطه تغییر در سال ۱۹۹۷ و در سبزوار ۴ نقطه تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ شناسایی شد. تمامی ناهمگنی‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های فوق با استفاده از پکیج RHtest اصلاح شدند.

پس از بررسی کیفیت و همگنی داده‌ها و اصلاح داده‌ها، ۱۵ شاخص حدی دما مطابق با جدول (۲) برای ۹ ایستگاه مورد مطالعه در سطح استان خراسان‌رضوی با استفاده از پکیج RClimeDex(1.0) محاسبه شد. همچنین میانگین حسابی هر کدام از شاخص‌های محاسبه شده در سطح ایستگاه‌ها به منظور بررسی وضعیت کلی استان خراسان‌رضوی، نیز محاسبه گردید.



شکل ۲ : نتایج بررسی همگنی داده‌های دمای حداقل روزانه در ایستگاه قوچان.

3 Change-Point
4 Penalized Maximal F test
5 Quantile-Matching

آزمون روندیابی من-کندال

آزمون من-کندال[1] آزمون غیر پارامتریک روندیابی است که در مطالعات اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این آزمون شناسایی هرگونه روند معنادار در سری زمانی داده‌ها مورد بررسی، می‌باشد. در این آزمون فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوط جهت تعیین مقادیر آماره من-کندال به صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i) \quad (۱)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

$$VAR(s) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \quad (۳)$$

$$Z_m = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

که در روابط فوق n تعداد داده‌های مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، x_i و x_j به ترتیب iامین و jامین داده مشاهده‌ای و q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از ۲ عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در pامین گروه و Zm مقدار آماره من-کندال می‌باشد.

مقدار منفی آماره آزمون بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Zm| > 1.96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (سبزی‌پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

مطالعات نشان داده‌است که وجود هرگونه الگوی فصلی و یا همبستگی در سری زمانی می‌تواند بر روی نتیجه آزمون من-کندال تاثیر گذار باشد. وجود هرگونه خود همبستگی مثبت یا منفی می‌تواند موجب کم یا زیاد شدن واریانس محاسباتی نسبت به مقدار واقعی آن شود که این امر موجب کم و زیاد شدن مقدار آماره Z آزمون من-کندال می‌گردد (Araghi et al. 2016).

از این رو در این مطالعه به منظور ازبین بردن هر گونه خود همبستگی در محاسبه معناداری روند برای شاخص‌های محاسبه شده در هر ایستگاه، از پکیج ZYP استفاده شد. این پکیج ابتدا هر گونه خودهمبستگی را در سری زمانی مورد نظر را از بین می‌برد و سپس آزمون من-کندال را جهت بررسی معناداری روند محاسبه می‌کند (Wang et al. 2013). به منظور بررسی معناداری روند در این مطالعه از آماره P-Value استفاده شد، که با توجه به در نظر گرفتن میزان خطا (α) ۵٪، چناچه مقدار آماره P-Value از مقدار α کمتر می‌شد، فرض H_0 آزمون من-کندال که مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی است، رد و فرض مقابل آن یعنی وجود روند پذیرفته می‌شد. سپس تغییرات زمانی و مکانی روند شاخص‌ها در سطح استان و ایستگاه‌های هواشناسی، مورد بررسی قرار گرفت.

1 . Mann-Kendall

نتایج و بحث

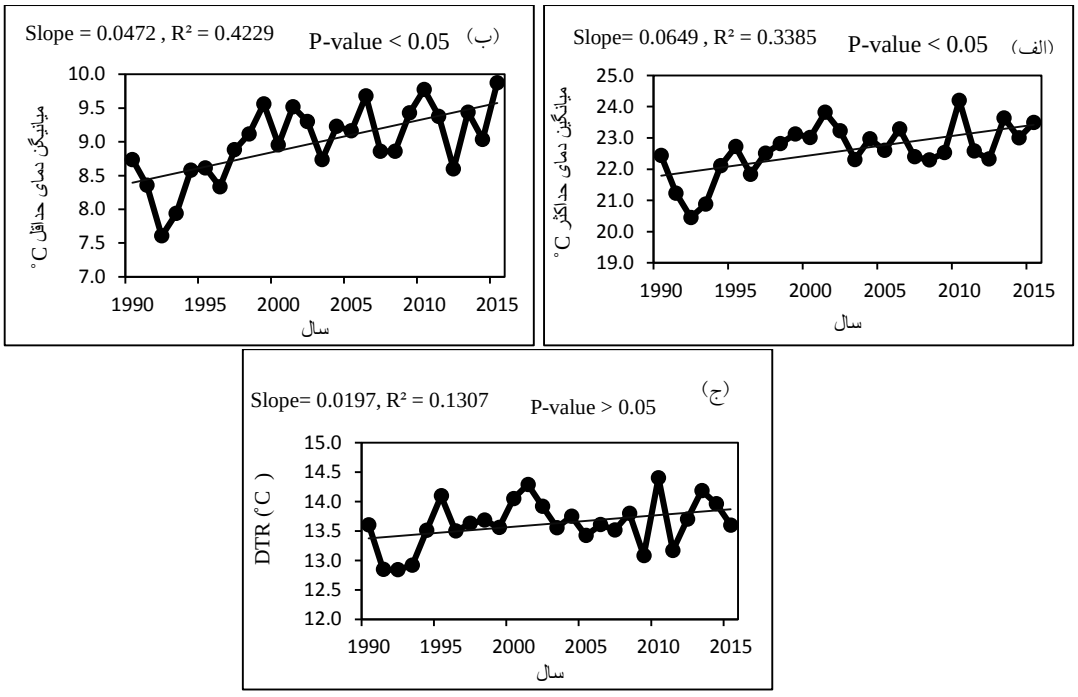
نتایج شاخص محدوده دمای روزانه (Diurnal Temperature Range)

به منظور بررسی روند این شاخص ابتدا روند میانگین سالانه دمای حداکثر روزانه و میانگین سالانه دمای حداقل روزانه در هر ایستگاه محاسبه شد و سپس میانگین حسابی آن به منظور بررسی وضعیت منطقه‌ای و کلی استان خراسان رضوی بدست آمد.

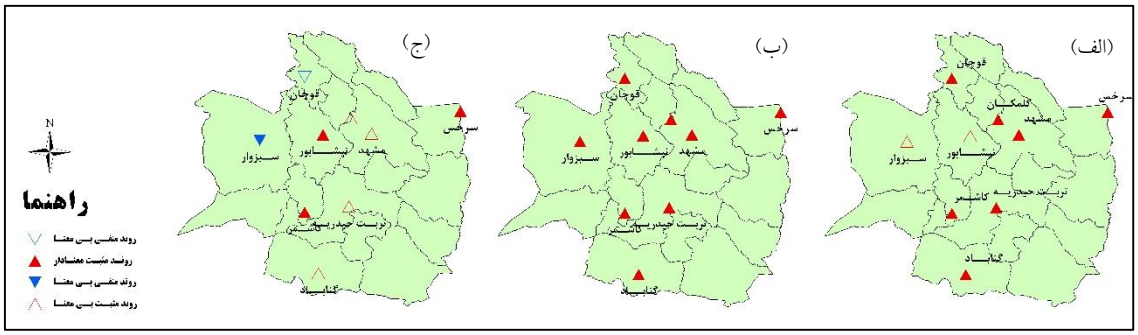
شکل (۳-الف) و شکل (۳-ب) نتایج حاصل از محاسبه و بررسی روند میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل روزانه در سطح استان را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود میانگین دمای حداقل و حداکثر دارای روند صعودی است که پس از انجام مراحل آزمون من-کندال مشخص گردید این روند صعودی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار نیز می‌باشد. کمترین میانگین دمای روزانه حداقل و حداکثر در بازه زمانی مورد مطالعه متعلق به سال ۱۹۹۲ می‌باشد.

شکل (۴-الف) و (۴-ب) به ترتیب تغییرات مکانی محاسبه و بررسی روند میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل روزانه را در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌شود میانگین دمای حداکثر به جزء ۲ ایستگاه نیشابور و سبزوار در سایر ایستگاه-ها دارای روندی مثبت و معنادار بود و میانگین دمای حداقل نیز در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روندی مثبت و معنادار است.

شکل (۳-ج) نتایج محاسبه شاخص محدوده دمای روزانه را نشان می‌دهد. این شاخص در سطح استان خراسان رضوی دارای روندی صعودی است که نتایج آزمون من-کندال حاکی از بی معنا بودن این روند بود. شکل (۴-ج) تغییرات مکانی شاخص DTR را در هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌شود تنها ۳ ایستگاه نیشابور و سرخس و کاشمر دارای روند صعودی و معنادار و ایستگاه سبزوار دارای روند نزولی و معنادار و سایر ایستگاه‌ها نیز دارای روندی بدون معنا بودند.



شکل ۳ : تغییرات زمانی (الف) میانگین دمای حداکثر روزانه (ب) میانگین دمای حداقل روزانه (ج) شاخص DTR در استان خراسان رضوی



شکل ۴ : تغییرات مکانی (الف) میانگین دمای حداکثر روزانه (ب) میانگین دمای حداقل روزانه (ج) شاخص DTR در استان خراسان رضوی

شاخص‌های حدی سرد

در این مطالعه شاخص‌های حدی سرد (FD0، ID0،TN10P ،TX10P ،TNn ،TXn ،CSDI) به ترتیب در ۹ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه محاسبه شد، سپس میانگین حسابی هر کدام از شاخص‌ها جهت بررسی تغییرات و روند منطقه‌ای آنها نیز محاسبه گردید. جدول (۳) مقادیر روند هر یک از شاخص‌های حدی سرد را در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود دو شاخص TN10P و TX10P در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در سطح استان معنادار می‌باشد. شکل (۵) نتایج تغییرات زمانی میانگین حسابی شاخص‌های سرد را در سطح استان خراسان‌رضوی نشان می‌دهد. اکثر شاخص‌های سرد در سطح استان دارای روندی نزولی می‌باشند. در بین شاخص‌های محاسبه شده جهت بررسی وضعیت کلی استان نیز تنها دو شاخص شب‌های سرد (TN10P) و روزهای سرد (TX10P) دارای روند نزولی و معنادار بودند.

جدول۳ : مقادیر روند شاخص‌های حدی سرد در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در سطح استان خراسان رضوی.

نام ایستگاه	FD0	ID0	TN10P	TX10P	TNn	TXn	CSDI
قوچان	-۱/۵۲*	-۰/۱۱۶	-۰/۲۵۱*	-۰/۳۳۶*	۰/۰۲۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۸۳
گلمکان	-۰/۶۲۴	-۰/۰۲۵	-۰/۲۲۶*	-۰/۳۰۴*	-۰/۰۰۴	-۰/۰۵۹	-۰/۱۳۱
گناباد	-۰/۱۵۳	۰/۰۸۸	-۰/۳	-۰/۳۲۴*	۰/۰۶۲	۰/۰۵۴	-۰/۲۲۷
کاشمر	۰/۰۰۴	۰/۰۹۹	-۰/۲۶۵	-۰/۳۴۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰/۰۱۲
مشهد	-۰/۲۹۵	-۰/۰۶۴	-۰/۲۹*	-۰/۳۳۸*	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۱۵۵
نیشابور	۰/۰۷۴	۰/۰۳۲	۰/۱۷۵	-۰/۳۴۴	-۰/۱۷۵	-۰/۰۰۸	۰/۳۳۸
سبزوار	-۱/۰۹۴	۰/۰۱	-۰/۵۴۱*	-۰/۲۶۱*	۰/۱۱۸	-۰/۰۰۵	-۰/۲۲۶
سرخس	۰/۱۹۶	-۰/۰۱۶	-۰/۲۰۴*	-۰/۴۰۲*	۰/۰۵۷	-۰/۰۲	-۰/۰۲۶
تربت حیدریه	-۰/۲۵۲	-۰/۰۵۲	-۰/۲۳۵*	-۰/۴۰۴*	۰/۰۶۲	۰/۰۷۴	-۰/۰۴۵

* روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

شکل (۶) تغییرات مکانی شاخص‌های حدی سرد را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود به جزء دو شاخص شب‌های سرد (TN10P) و روزهای سرد (TX10P) که در اکثر ایستگاه-های مورد مطالعه دارای روندی نزولی و معنادار است، سایر شاخص‌ها دارای روندی بدون معنا هستند. شاخص شب‌های

سرد تنها در ۳ ایستگاه نیشابور، کاشمر و گناباد دارای روندی بدون معنا است و شاخص روزهای سرد نیز در ۲ ایستگاه نیشابور و کاشمر دارای روندی بدون معنا می‌باشد. شاخص روزهای یخبندان (FD0) نیز تنها در ایستگاه قوچان دارای روندی نزولی و معنادار است.

شاخص‌های حدی گرم

شاخص‌های گرم محاسبه شده در این مطالعه شامل : (SU25، TR20، TN90P، TX90P، TNx، TXx، WSDI) است. این شاخص‌ها نیز همانند شاخص های سرد ابتدا در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد و سپس جهت بررسی روند منطقه‌ای هر شاخص میانگین حسابی آنها محاسبه گردید.

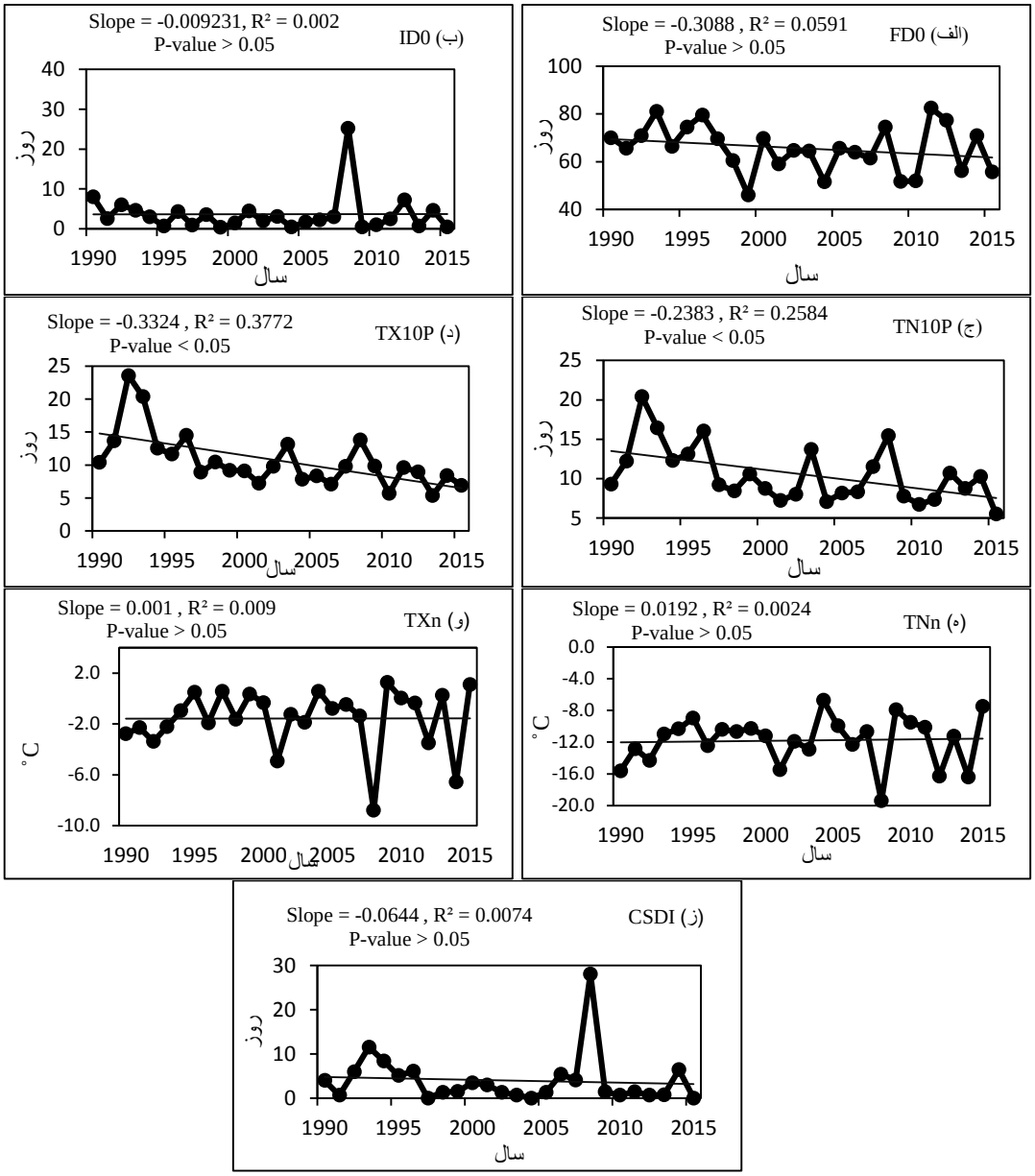
جدول ۴ : مقادیر روند شاخص‌های حدی گرم در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در سطح استان خراسان رضوی.

نام ایستگاه	SU25	TR20	TN90P	TX90P	TNx	TXx	WSDI
قوچان	۰/۹۹۷*	۰/۰۱۹	۰/۷۶۶*	۰/۱۵۳	۰/۰۹۶*	۰/۰۳۵	-۰/۰۷
گلمکان	۱/۰۲*	۰/۲۶۵*	۰/۳۳۱*	۰/۳۳۱*	۰/۱۰۵*	۰/۰۵۱	۰/۲۵۳*
گناباد	۱/۰۳۸*	۱/۰۳۴*	۰/۳۲۷*	۰/۲۲۷*	۰/۰۵۱	۰/۰۴۵	۰/۱۲۲
کاشمر	۰/۸۵۱*	۰/۸۴۳*	۰/۲۳۷*	۰/۲۵۸*	۰/۰۸۳*	۰/۰۵۱	۰/۱۹۱
مشهد	۱/۱۴۳*	۰/۹۷۱*	۰/۳۴۸*	۰/۳۵۴*	۰/۰۹۲*	۰/۰۲۵	۰/۲۴۷*
نیشابور	۱/۲۴۹*	۰/۱۷۳	۰/۱۵	۰/۲۸۸*	۰/۰۴۳	۰/۰۵	۰/۰۶۵
سبزوار	۰/۵۷	۱/۰۸۲*	۰/۶۱۳*	۰/۱۵*	۰/۱۲۷*	۰/۰۳۸	-۰/۰۲۷
سرخس	۰/۹۷۹*	۰/۹۸۴*	۰/۲۴۱*	۰/۳۸۵*	۰/۰۰۲	۰/۰۶۸	۰/۳۰۴*
تربت حیدریه	۱/۳۱*	۰/۷۰۱*	۰/۳۰۷*	۰/۳۱۳*	۰/۰۵۵*	۰/۰۶۷*	۰/۱۵۷

* روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

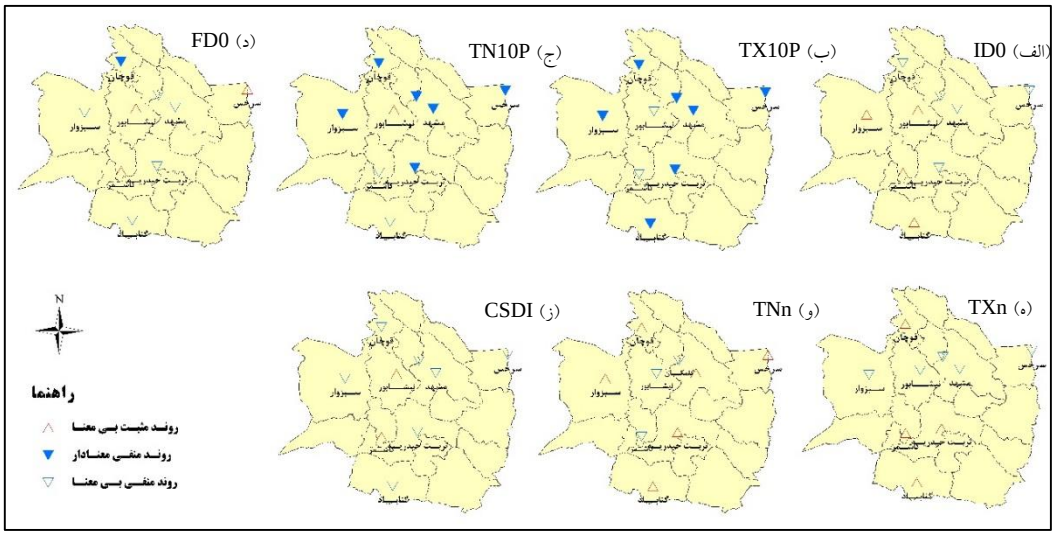
جدول (۴) مقادیر روند هریک از شاخص‌های حدی گرم را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور شاخص‌های SU25 وTR20 وTN90P وTX90P و TNx در اکثریت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در سطح استان دارای روند مثبت و معنادار بودند. شکل (۷) نیز نتایج حاصل از تغییرات زمانی میانگین حسابی شاخص‌های گرم در سطح استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود شاخص‌های گرم در سطح استان دارای روندی صعودی می‌باشند، که شاخص‌های روزهای تابستانی (SU25)، شب‌های حاره‌ای (TR20)، گرمترین شب‌ها (TNx)، شب‌های گرم (TN90P) و روزهای گرم (TX90P) دارای روندی صعودی و معنادار هستند. روند صعودی شاخص‌های گرم در طی زمان ، نشان دهنده افزایش دما در سطح استان خراسان‌رضوی می‌باشد. که با توجه به وقوع خشکسالی‌های متوالی و کاهش بارش‌ها به خصوص در طی فصول پاییز و زمستان در این استان در طی سال‌های اخیر، قابل توجیه می‌باشد.

شکل (۸) تغییرات مکانی شاخص‌های گرم را در سطح ۹ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه نشان می‌دهد. شاخص‌های گرم بر خلاف شاخص‌های سرد که اکثرا در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روندی بدون معنا بودند، دارای روندی صعودی و معنادار بودند. که این روند معنادار حاکی از افزایش دما در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

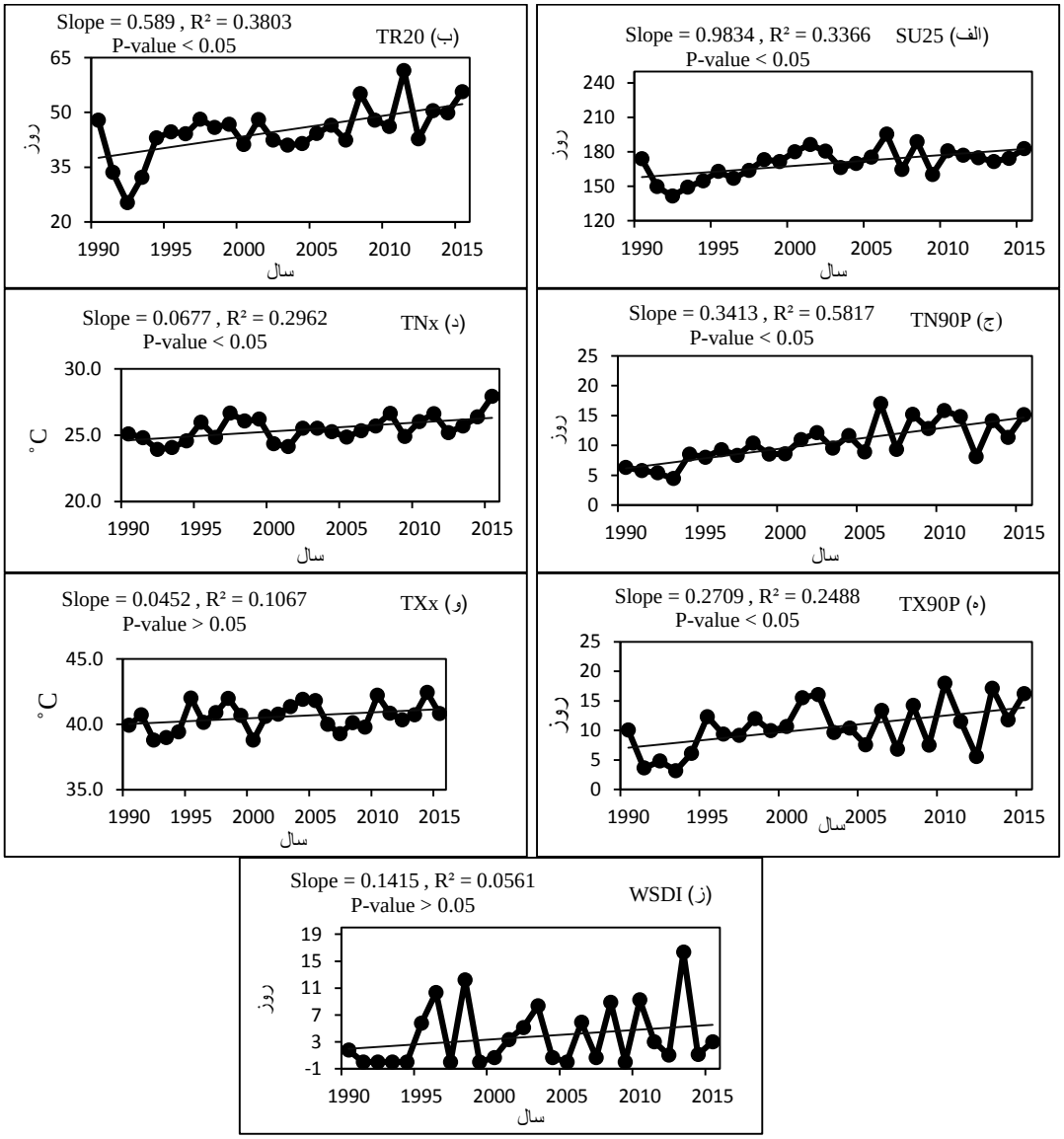


شکل ۵ : تغییرات زمانی شاخص‌های حدی سرد در سطح استان خراسان‌رضوی.

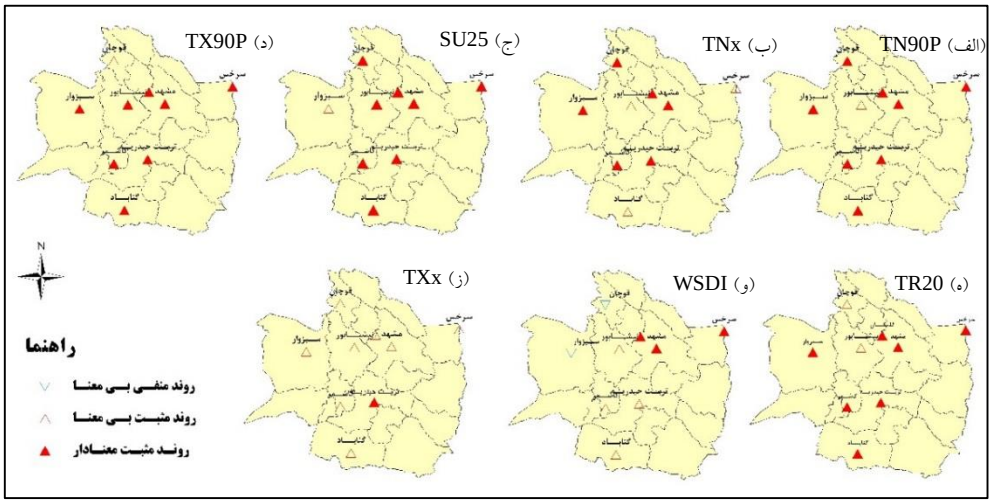
همانطور که در شکل (۸) نیز مشاهده می‌شود شاخص گرمترین روزها (TXx) تنها در ایستگاه تربت‌حیدریه و شاخص طول دوره گرما (WSDI) نیز در ۳ ایستگاه سرخس، مشهد و نیشابور دارای روند صعودی معنادار بودند که در بین سایر شاخص‌های حدی گرم دارای کمترین روند معناداربودند. شاخص روزهای تابستانی (SU25)، روزهای گرم (TX90P) و شب‌های گرم (TN90P) در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی و معنادار بودند.



شکل ۶: تغییرات مکانی شاخص‌های حدی سرد در استان خراسان‌رضوی.



شکل ۷ : تغییرات زمانی شاخص‌های حدی گرم در سطح استان خراسان رضوی.



شکل ۸ : تغییرات مکانی شاخص‌های حدی گرم در سطح استان خراسان رضوی.

نتیجه‌گیری

تغییرات در فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب-های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد ، از طرفی بررسی روند شاخص‌های حدی در گذشته به خصوص شاخص‌های حدی دما که نقش مهمی در طول دوره رشد گیاهان دارد، می‌تواند از بروز بسیاری از خسارات اقتصادی در آینده جلوگیری نماید. در این مطالعه به منظور شناسایی اثرات تغییر اقلیم، روند ۱۵ شاخص حدی دمایی در سطح استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی همگنی و کیفیت داده‌ها با استفاده از دو پکیج آماری RHtests و RClimDex(1,0) انجام شد و سپس شاخص‌های حدی محاسبه گردید. سپس از آزمون من-کندال جهت بررسی معناداری روند استفاده شد. در این مطالعه شاخص‌های حدی گرم روندی صعودی و شاخص‌های حدی سرد روندی نزولی در ایستگاه‌های مورد مطالعه از خود نشان دادند. در بین شاخصهای گرم ۵ شاخص (SU25 و TR20وTN90P وTX90P و TNx) دارای روند صعودی و معنادار و در بین شاخص‌های سرد دو شاخص (TN10P و TX10P) دارای روند نزولی و معنادار، در سطح استان خراسان رضوی بودند.

نتایج این مطالعه نشان داد که دما در سطح منطقه مورد مطالعه با توجه به روند افزایشی و معنادار شاخص‌های حدی گرم و روند کاهشی و معنادار شاخص‌های حدی سرد در ایستگاه-های مورد مطالعه، در حال افزایش می‌باشد.

با توجه به شیب شاخص‌های محاسبه شده در طی ۲۶ سال بررسی دماهای حداکثر و حداقل روزانه، دمای حداکثر با شیب بیشتری نسبت به دمای حداقل در سطح استان درحال افزایش می‌باشد.

با توجه به روند افزایشی و معنادار شاخص‌های حدی گرم می‌توان نتیجه گرفت که تعداد وقوع پدیده‌های حدی گرم در سطح استان در حال افزایش می‌باشد.

با توجه به اینکه یکی از اهداف این مطالعه شناسایی اثرات تغییر اقلیم در سطح استان خراسان‌رضوی بود و با یادآوری این نکته که یکی از علایم بروز تغییر اقلیم در منطقه می‌تواند افزایش بروز پدیده‌های حدی باشد، می‌توان با توجه به افزایش وقوع پدیده‌های حدی گرم به خصوص در طی ۲۰ سال گذشته در سطح استان، آثار وقوع تغییر اقلیم را نیز مشاهده نمود.

نتایج سایر مطالعات در زمینه پدیده‌های حدی در سطح استان خراسان تصدیق کننده نتایج مطالعه اخیر می‌باشد. به طور مثال : عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳)، مطالعه‌ای را به منظور بررسی روند وقوع شرایط حدی هواشناسی در استان خراسان‌رضوی انجام دادند. نتایج این مطالعه همانند نتایج مطالعه اخیر نشان دهنده کاهش وقوع دوره‌های سرد و افزایش طول دوره‌های گرم بود. کوزه‌گران و موسوی (۱۳۹۳)، در استان خراسان-رضوی و جنوبی مطالعه مشابهی را با هدف بررسی روند پدیده‌های حدی اقلیمی در طی دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۲

انجام دادند. نتایج این مطالعه نیز همانند مطالعات فوق حاکی از روند افزایشی شاخص‌های حدی گرم و روند کاهشی شاخص‌های حدی سرد در منطقه مورد مطالعه بود.

منابع

1. Aguilar E, Barry AA, Brunet M, et al. .(2009); Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006.J Geophys Res Atmos114(2):p.1-11.
2. Alexander L V, Zhang X, Peterson TC, et al. (2006); Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. 111:p.1-22.
3. Araghi, Alireza, Jan Adamowski, and Majid Rajabi Jaghargh.(2016); Detection of Trends in Days with Thunderstorms in Iran over the Past Five Decades. *Atmospheric Research* 172–173(2016):174–85.
4. Deng H, Chen Y, Shi X, et al. (2014), Dynamics of temperature and precipitation extremes and their spatial variation in the arid region of northwest China. Atmos Res.;138:346-355.
5. Erfanian,M. Ansari, H. Allizadeh, A. Bannayan, M. (2015); Assessment of Climatic Extreme events Variation in Khorasan Razavi Province, Journal of Irrigation and Drainage, Vol. 8, No. 4, p.817-825.
6. Keggenhoff I, Elizbarashvili M, Amiri-Farahani A, King L. (2014); Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010. Weather Clim Extrem. 4:75-85.
7. Kouzegaran. S, Mousavi Bayagi. M, (2015); Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran, Journal of Water and Soil, vol. 29, No.3, p. 750-764.
8. Mohammadi,H. Taqavi, F. (2007), The trend of extreme temperature and precipitation indices in Tehran, Geographical Research Quarterly, volume 38, Issue 1, p. 151-172
9. Reynolds, M. (2010). Climate change and crop production. 1nded . CAB International.
10. Ruml M, Gregori E, Vujadinovi M, et al. (2017). Observed Changes of Temperature Extremes in Serbia over the Period 1961-2010. Atmospheric Research,Vol. 183, p. 26-41.
11. Sabziparvar,A.A. Shadmani, M. (2011); Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the MannKendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran, Journal of Water and Soil, vol. 25, No.4, p. 823-834.
12. Shakiba, A. Pishdad, A. (2011), The trend analysis od daily extreme temperature indices in Semnan during 1965-2005, Journal of Researches in Earth Sciences, vol.1, No. 4, p. 93-112.
13. Sun W, Mu X, Song X, Wu D, Cheng A, Qiu B. (2016); Changes in extreme temperature and precipitation events in the Loess Plateau (China) during 1960-2013 under global warming. Atmos Res. 168:33-48.
14. Vincent LA, Peterson TC, Barros VR, et al. (2005);Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. J Clim. 18(23):5011-5023.
15. Wang H, Chen Y, Chen Z, Li W. (2013); Changes in annual and seasonal temperature extremes in the arid region of China, 1960-2010. Nat Hazards. 65(3):1913-1930.
16. Wang XL, Chen H, Wu Y, Feng Y, Pu Q. (2010); New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. J Appl Meteorol Climatol. 49(12):2416-2436.
17. Wang Z, Ding Y, Zhang Q, Song Y. (2012); Changing trends of daily temperature extremes with different intensities in china. Acta Meteorol Sin.;26(4):399-409.
18. Xu X, Du Y, Tang J, Wang Y. (2011); Variations of temperature and precipitation extremes in recent two decades over China. Atmos Res. 101(1-2):143-154.