نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال چهاردهم | شماره پنجاه و ششم | زمستان ۱۴۰۲
وصول: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷
صص ۴۴-۳۳

بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در حوزه آبخیز حبله رود با استفاده از نرم افزار RClimDex (دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷)

مهین نادری[۱]، واحدبردی شیخ*[۲]، عبدالرضا بهره‌مند[۳]، چوقی بایرام کمکی[۴]، عبدالعظیم قانقرمه[۵]
۱- آبخیزداری، دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
۲- آبخیزداری، دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
۳- مهندسی هیدرولوژی، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
۴- دکترای سنجش از دور کاربردی، استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
۵- دکترای اقلیم شناسی، استادیار، دانشگاه گلستان

چکیده

تغییرات آب و هوایی با تغییر الگوهای جوی می‌تواند منجر به گرم شدن جهانی هوا و در نتیجه سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی و به هم ریختن نظم اکوسیستم‌ها شده و عواقب جدیی برای محیط زیست داشته باشد. مطالعه مقادیر حدی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاستگذاری‌های بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد. در این مطالعه داده‌های روزانه بارش و دمای تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک و بارانسنجی داخل و محدوده حوزه آبخیز حبله رود در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷ تحلیل شده‌اند. جهت بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، ۲۷ شاخص مربوط به بارش و دما که توسط گروه کارشناسی ETCCDMI تعریف شده است، با نرم افزار RClimdex برآورد شد. نتایج نشان داد، در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های دمایی گرم در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند صعودی معناداری را نشان می‌دهند. درصد روزها و شب‌های گرم در تمام ایستگاه‌ها روند صعودی معنادار را نشان می‌دهند در حالیکه درصد روزها و شب‌های سرد در تمام ایستگاه‌ها روند نزولی معنادار را نشان می دهند. همچنین تعداد ایستگاه‌هایی که روند شاخص‌های بارش را صعودی نشان می‌دهند بیشتر از تعداد ایستگاه‌هایی است که روند نزولی در این شاخص‌ها را نشان می‌دهند. بارش سالانه در نیمی از ایستگاه‌ها روند صعودی و در نیم دیگر روند نزولی را نشان می‌دهد. بنابراین می توان اینطور نتیجه گیری کرد که تغییرات اقلیمی معنادار از نوع افزایش دما در منطقه اتفاق افتاده است ولی نمی توان با قطعیت ادعا کرد که تغییرات بارندگی معناداری از نظر آماری در منطقه اتفاق افتاده است.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، شاخص‌های حدی دما، شاخص‌های حدی بارش، حبله رود.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۷۵۴۲۹۵۷
Email: sheikh@gau.ac.ir

مقدمه

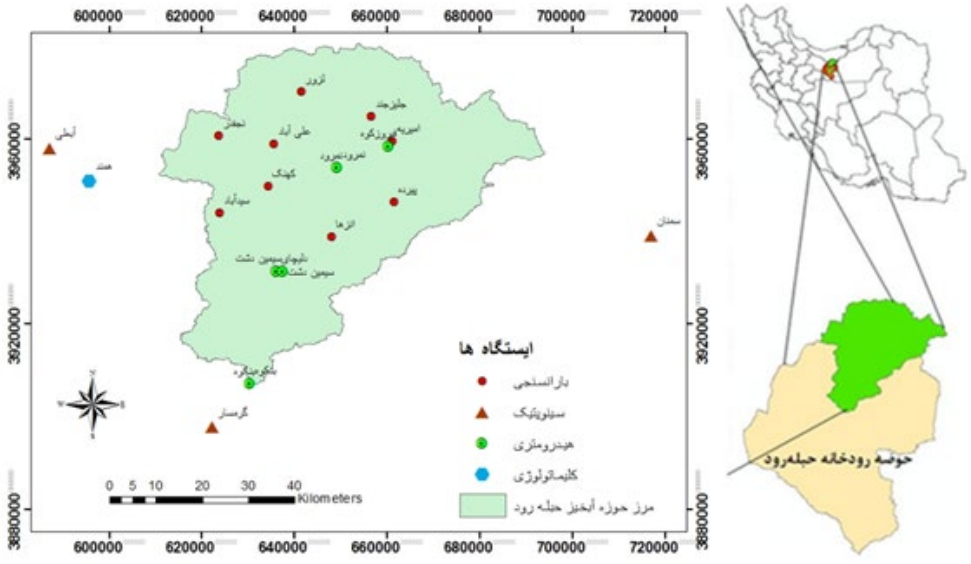
تغییراقلیم یک مسئله جهانی است که مورد توجه محققان زیادی می‌باشد و بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط زیست اطراف ما همچون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل ونقل، بهداشت و سلامت موثر است. به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم و عواقب مرتبط به آن در سال ۱۹۸۸ هیات بین المللی تغییر اقلیم (IPCC) به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) پایه‌گذاری شد. اغلب عوامل تاثیرگذار اقلیمی مربوط به رخدادهای حدی هواشناسی است و طولانی شدن وقوع آنها باعث تغییر اقلیم در یک منطقه می‌شود (Li et al, 2010). آب و هوای حدی و رویدادهای اقلیمی با توجه به اثرات شدید بالقوه آنها بر زندگی انسان، اقتصاد و اکوسیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر مورد توجه بیشتر اقلیم‌شناسان قرار گرفته‌اند (Bartolini et al, 2008). مساله تغییر اقلیم در چند دهه اخیر ضرورت مطالعات بیشتری را برای محققان در این زمینه فراهم نمود، در این راستا مطالعاتی در سطح جهانی و منطقه ای توسط محققین و دانشمندان انجام شده است و به نتایج و دستاوردهایی دست یافته اند. محمدی وتقوی (۱۳۸٤) روند شاخص‌های حدی براساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ را مطالعه کردند و متوجه شدند که شاخص‌های FD و ID یا شاخص‌های حدهای سرد روند کاهشی محسوسی دارند. از طرف دیگر روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملا افزایشی است و شیب مثبت دارد این در حالی است که روند افزایشی دمای حداکثر شیب کمتری دارد. شاخص‌های حدی بارش نیز روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان می‌دهد. همچنین دارند (۱۳۹۳) درپژوهشی که تحت عنوان واکاوی تغییرات حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم انجام داده است به این نتیجه رسید که تغییرات بیشتر نمایه‌های بارش فرین طی دوره آماری مورد مطالعه روند نزولی معناداری را نشان می‌دهند و طی چند سال اخیر از بسامد رخداد بارش‌های سنگین، ابر سنگین و میزان کل بارش سالانه ارومیه به شدت کاسته شده است. بهیوتیانی و همکاران (۲۰۰۷) روند بلندمدت میانگین، کمینه و بیشینه ی دمای هوا در شمال غرب هیمالیا را طی قرن بیستم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دمای هوا در شمال غرب هیمالیا حدود ۱/٦ درجه سانتی گراد طی قرن اخیر افزایش یافته است، این افزایش دما در فصل زمستان نسبت به دیگر فصل‌ها بیشتراست. بارتولینی و همکاران (۲۰۰۸) نیز روند دمای تابستانی توسکانی (ایتالیا) و شاخص‌های فرین مربوط به آن را مورد تجزیه و تحلیل قراردادند، نتایج نشان داد فرین‌های حداکثر وحداقل دما افزایش یافته و در نهایت دامنه دمای شبانه‌روزی (DTR) در تابستان (۰/۰٦ به ازای هر دهه) افزایش یافته است. سدری و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی داده‌های بیشینه بارش ۲٤ ساعته در ٦٦ ایستگاه در دانمارک از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۷ نشان دادند که درمقیاس منطقه‌ای شدت بارش‌های دو، پنج و ٦۰ دقیقه‌ای در سطح معنی دار پنج درصد روند افزایشی دارد. ژائو و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیقی به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه هایهی چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹٦۰ پرداختند، نتایج بررسی آنها نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و دامنه دمای شبانه‌روزی روند منفی معناداری را نشان می‌دهند در حالی که نمایه‌های گرم فرین از جمله روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، کوچکترین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرما روند مثبت و معناداری را نشان می‌دهند. سنسوی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روند شاخص‌های اقلیمی در ترکیه در سال‌های ۱۹٦۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند، آنها دریافتند که روزهای تابستان، روزها و شب‌های گرم و شب‌های حاره‌ای در کل ترکیه در حال افزایش است، در حالیکه روزهای یخبندان، روزها و شب‌های سرد کاهش یافته‌اند. همچنین رز و همکاران (۲۰۱٤) بارش‌های حدی منطقه‌ای را با رویکرد غیر ثابت آستانه بیشینه‌ای در هلند و شمال غربی آلمان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نشان دادند که بارش‌های حدی در تابستان افزایش معنی‌داری داشته، ولی این روند بارش‌های حدی در تابستان به مدل‌های گردش عمومی بستگی دارند. تان و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کلانتان مالزی براساس سناریوهای واداشت تابشی پرداختند، نتایج نشان داد در دوره آینده براساس سناریوهای واداشت تابشی، میزان دما افزایش خواهد داشت، بارش در ماه های سرد سال به طور ناچیز افزایش خواهد داشت اما در ماه‌های گرم نسبت به دوره پایه با کاهش همراه خواهد بود. در مطالعه‌ای دیگر در ایران قیامی شمامی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که تغییرات در شاخص‌های

بارشی بسیار کمتر از شاخص‌های دمایی بوده و ایران تحت تاثیر افزایش قابل توجه دما قرار دارد. همچنین نی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی تحلیل روند دما و بارندگی شدید در طول دوره رشد گندم زمستانه در منطقه عمده کاشت گندم زمستانه چین را مورد بررسی قرار دادند که طبق نتایج بدست آمده روند شاخص‌های دمایی به صورت افزایشی می‌باشد. کارولین و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با استفاده از مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای به ارزیابی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه موندو در برزیل پرداختند که نتایج این پژوهش بیانگرکاهش میزان بارش و افزایش دمای حداکثر و حداقل در این حوضه می‌باشد. باتوجه به تحقیقات انجام شده در رابطه با تغییرات شاخص های اقلیمی مشاهده می‌شود که در اکثر موارد و در نقاط مختلف دنیا نتایج بیانگر افزایش دمای حداقل و حداکثر می‌باشد. اما در رابطه با پارامتر بارش روند مشخصی وجود نداشته و در مناطق مختلف افزایش یا کاهش بارش در آینده را پیش‌یابی کرده‌اند. با توجه به آن که منابع آبی و طبیعی در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارند، بررسی تغییرات اقلیمی می‌تواند راهگشای معضلاتی چون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی و تخریب‌های محیط زیستی باشد (Tan et al, 2017). حوضه حبله رود نیز همانند سایر حوزه‌های آبخیز تحت تاثیر مخاطرات ناشی از تغییرات اقلیمی قرار دارد. با توجه به پیامدهای تغییراقلیم در این حوزه آبخیز و تاثیراتی که بر ژیم جریان رودخانه حبله رود دارد، توجه جدی ذیمدخلان و ذینفعان به پدیده تغییر اقلیم در این حوزه آبخیز امری ضروری می‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر به منظور بررسی شاخص‌های اقلیمی در حوزه آبخیز حبله رود، سری‌های آماری اقلیمی طولانی مدت ایستگاه‌های کلیماتولوژی در این حوزه آبخیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، به منظور تحلیل شاخص‌های اقلیمی و بررسی روند این شاخص‌ها، از بسته نرم افزاری RclimDex در محیط نرم افزار R استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز حبله‌رود در بخش شرقی استان تهران واقع شده و از شمال به مرز استان‌های تهران و مازندران و از شرق و جنوب به مرز استان‌های تهران و سمنان محدود است. این حوضهٔ آبریز در محدودهٔ طول جغرافیایی ″۱۹ ′۱۱ °۵۲ تا ″۴۰ ′۸ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۴ ′۱۷ °۳۵تا ″۲۹ ′۵۷ °۳۵ شمالی واقع شده است. از نقطه‌نظر تقسیمات هیدرولوژیک کشوری، حوضهٔ آبریز رودخانهٔ حبله‌رود بخشی از حوضهٔ آبریز کویر مرکزی محسوب می‌شود. حوضهٔ رودخانهٔ حبله‌رود به سه بخش فوقانی، میانی و تحتانی قابل تقسیم است. این پژوهش مربوط به قسمت فوقانی و بالادست این حوضه آبریز می‌باشد که در شکل شماره (۱) موقعیت مکانی و شکل ظاهری این حوضهٔ آبریز نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل بارش روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه است که از آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم شناسی مطعلق به حوزه آبخیز حبله رود و محدوده آن به‌دست آمد، از آمار چند ایستگاه باران سنجی هم استفاده شد، که در شکل (۱) اسامی ایستگاه‌های مورد استفاده مشاهده می‌شود. در این مطالعه برای بررسی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از بسته نرم افزاری RClimDex v1.9 استفاده می‌شود. در این بسته نرم افزاری که در محیط نرم افزار آماری R قابل اجراست با استفاده از داده‌های دما و بارش روزانه مجموعه ایستگاه‌های پایش متغیرهای اقلیمی، شاخص‌های اقلیمی کلیدی جدول ۱ استخراج می‌شود. اکثر پیش پردازش داده ها توسط این نرم افزار قابل انجام است. این نرم افزار توسط تیم کارشناسی پایش و شاخص های ردیابی تغییرات اقلیمی (ETCCDMI) اداره اقلیم شناسی سازمان محیط زیست کانادا در اواخر سال ۲۰۱۸ توسعه داده شده است. در این نرم‌افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و بزرگتر یا مساوی بودن دمای حداقل از حداکثر چک شده و داده‌های پرت بررسی می‌شود. سپس شاخص‌های اقلیمی از داده‌های روزانه توسط نرم افزار RclimDex استخراج و محاسبه می‌شود (الکساندر و همکاران، ۲۰۰۶). ۱۱ شاخص بارندگی و ۱۶ شاخص درجه حرارت توسط نرم افزار RclimDex درمقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه می‌شود (جدول ۱) که این شاخص‌های حدی در ۵ دسته شامل شاخص‌های حدی مبتنی بر صدک‌ها، شاخص‌های حدی مطلق، شاخص‌های حدی آستانه‌ای، شاخص‌های حدی دوره‌ای و سایر شاخص‌ها مانند دامنه تغییرات می‌باشند (اکساندر، ۲۰۰۶). این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ برآورد می‌گردد. در نرم افزار RclimDex از آزمون رگرسیون استفاده می‌شود و با توجه به میزان محاسبه شده P-value و شیب خط نرخ تغییرات شاخص در سال می‌توان به معنادار یا غیرمعنادار بودن روند و همچنین جهت روند برای هرکدام از شاخص‌های محاسبه شده پی برد.

نتایج

تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از بسته نرم افزاری RClimDex v1.9 محاسبه گردید، در این بسته نرم افزاری ابتدا آمار دما و بارش از لحاظ کیفیت بررسی و سپس شاخص‌های اقلیمی مورد نظر استخراج شد. در شکل ۲ نمودارهای مربوط به شاخص‌های حدی گرم در ایستگاه‌های آبعلی، فیروزکوه، گرمسار و سمنان مشاهده می‌شود و در شکل ۳ روند شاخص‌های حدی گرم در هرکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است.

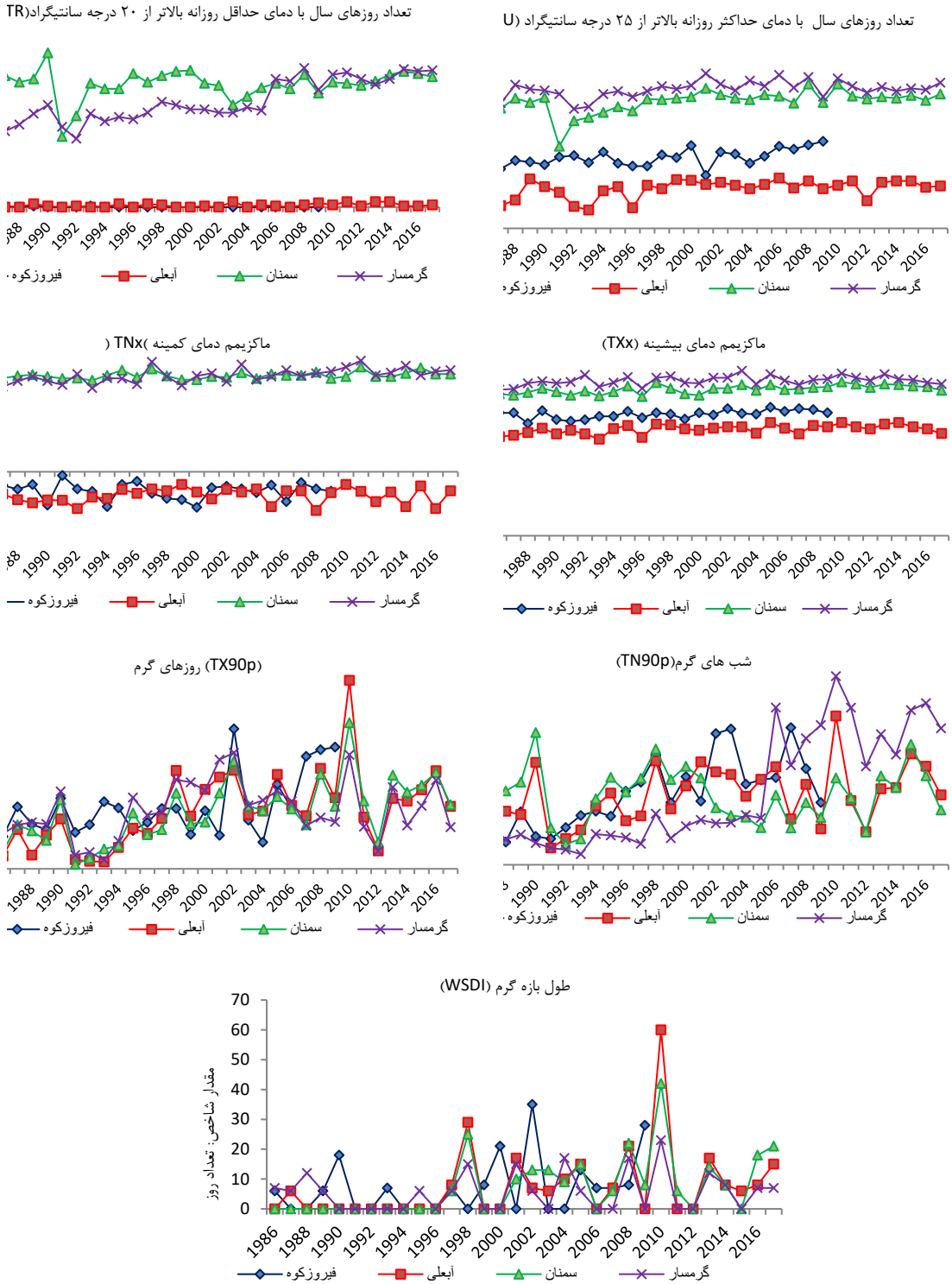
برازش شاخص تعداد روزهای تابستانی با دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد (SU25)، حاکی از روند معنادار مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بیشتر از ۲۰ درجه سانتیگراد (TR20) در ایستگاه‌های آبعلی، سمنان و گرمسار روند مثبت و معنادار داشته و در ایستگاه فیروزکوه دارای روند منفی و معنادار می‌باشد. شاخص روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای حداکثر بیش از صدک نودم باشد (TX90P) در تمام ایستگاه‌ها روند مثبت و معنادار را نشان می‌دهد که حاکی از افزایش تعداد روزهای گرم می‌باشد. در بررسی نمودارهای شاخص شب‌های گرم (TN90P)، مشاهده شد که تمام ایستگاه‌ها روند افزایشی و مثبت دارند.

در شکل ٤ نمودارهای مربوط به تحلیل شاخص‌های حدی سرد و در شکل ۵ روند این شاخص‌ها در هرکدام از ایستگاه-های مورد مطالعه نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، شاخص‌های حدی سرد بر خلاف شاخص‌های حدی گرم، در بیشتر موارد، روند کاهشی را نشان می‌دهند. برازش نمودارهای روزهای یخبندان (ID) نشان دهنده شیب منفی در ایستگاه‌های آبعلی و فیروزکوه بوده که نشان دهنده کاهش روزهای یخبندان در این ایستگاه‌ها می‌باشد و در ایستگاه‌های گرمسار و سمنان شیب نمودار مثبت بوده و روند صعودی را نشان می‌دهد. به جز ایستگاه آبعلی در سایر ایستگاه‌ها این روند معنادار نیست. همچنین از برازش نمودار شاخص روزهای سرد (TX10P) روند معناداری منفی برای تمام ایستگاه‌ها مشاهده شد. در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10P) هم در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه روند منفی معناداری وجود دارد. شاخص مینیمم دمای بیشینه (TXn)

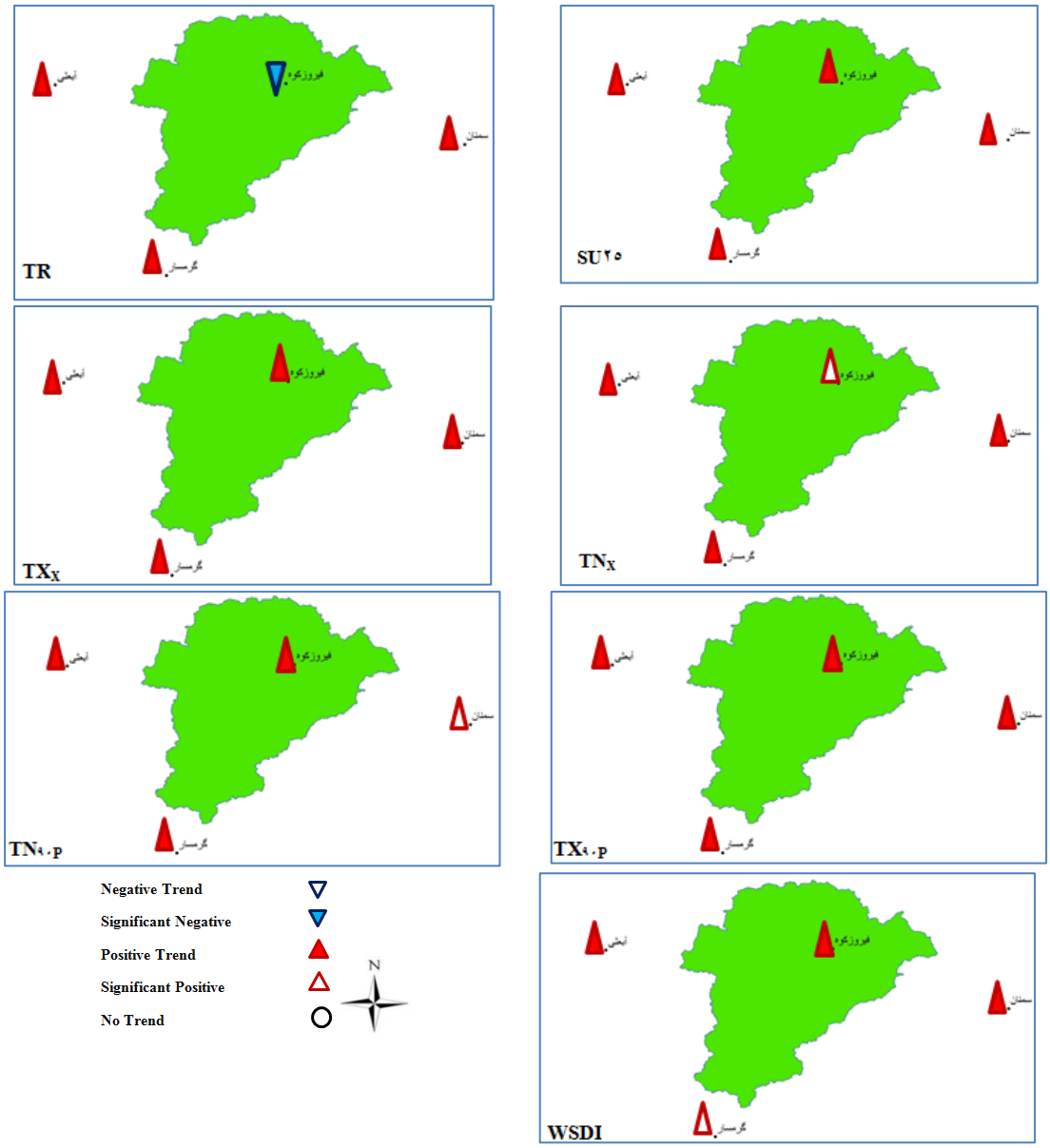
درتمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی بوده که این روند در همه ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه فیروزکوه معنادار می‌باشد. نتایج نشان دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد می‌باشد در حالیکه، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند.

جدول۱- شاخص‌های حدی دما و بارش توصیه شده توسط تیم کارشناسی پایش و شاخص‌های آشکارسازی تغییر اقلیم

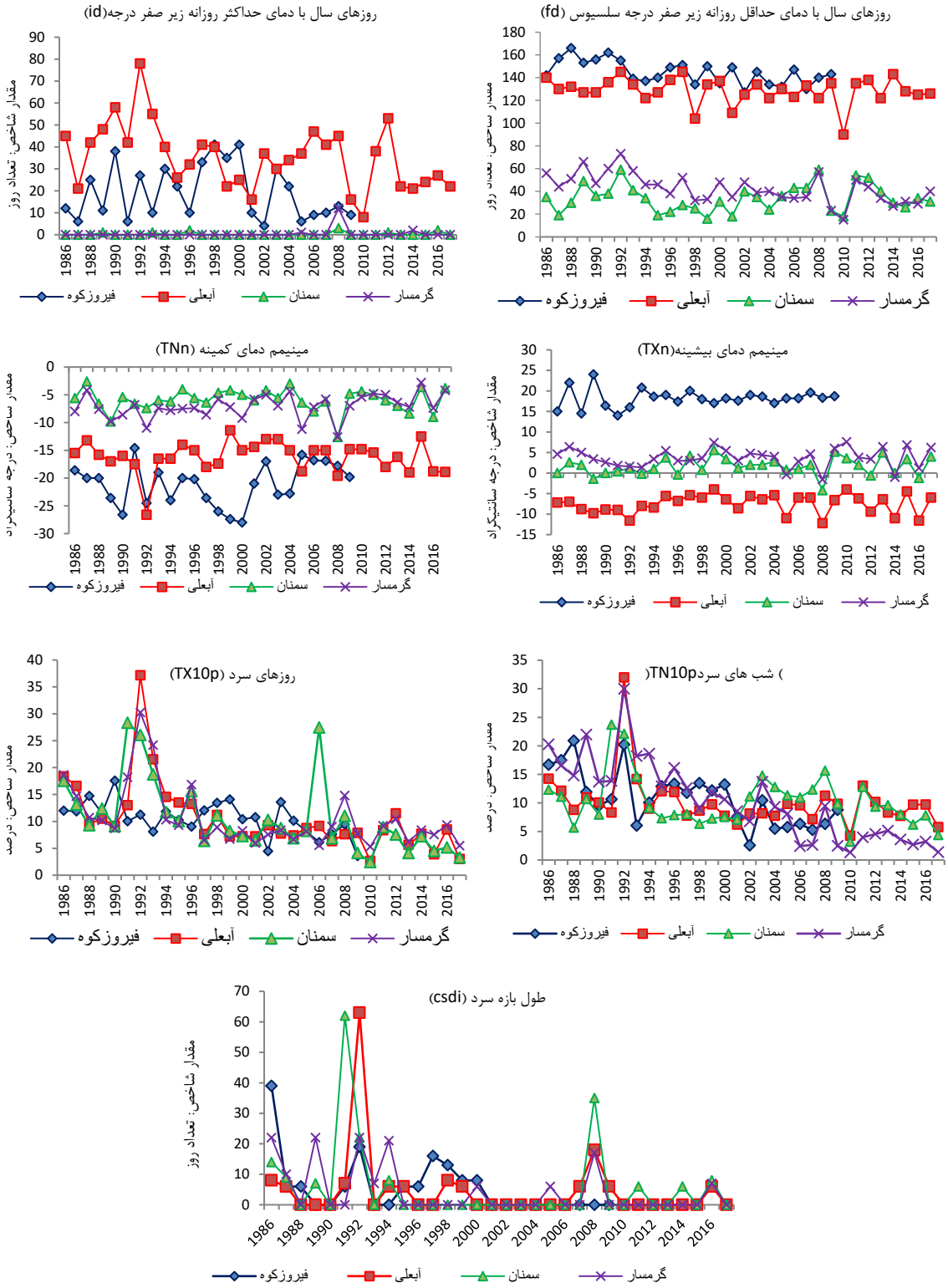
علامت شاخص	نام شاخص	تعریف	واحد
FD	روزهای تشکیل ژاله (شبنم یخ زده یا برفک)	تعداد روزهای سال که دمای حداقل روزانه زیر صفر درجه سلسیوس است	روز
SU	روزهای تابستانی	تعداد روزهای سال که دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ ^{o}C است	روز
ID	روزهای یخبندان	تعداد روزهای سال که دمای حداکثر روزانه زیر صفر درجه است	روز
TR	شبهای گرمسیری	تعداد روزهای سال که دمای حداقل روزانه بالاتر از ۲۰ ^{o}C است	روز
GSL	طول فصل رشد	تعداد روزهای سال بین اولین بازه زمانی ٦ روزه متوالی با دمای متوسط روزانه بالاتر از ۵ ^{o}C تا اولین بازه زمانی ٦ روزانه متوالی بعد از ماه ژولای با دمای متوسط روزانه کمتر از ۵ ^{o}C	روز
TXx	ماکزیمم دمای بیشینه	مقدار حداکثر ماهانه دمای بیشینه روزانه	^{o}C
TNx	ماکزیمم دمای کمینه	مقدار حداکثر ماهانه دمای کمینه روزانه	^{o}C
TXn	مینیمم دمای بیشینه	مقدار حداقل ماهانه دمای بیشینه روزانه	^{o}C
TNn	مینیمم دمای کمینه	مقدار حداقل ماهانه دمای کمینه روزانه	^{o}C
TN10p	شبهای سرد	درصد روزهایی که دمای حداقل روزانه کمتر از صدک دهم باشد	٪
TX10p	روزهای سرد	درصد روزهایی که دمای حداکثر روزانه کمتر از صدک دهم باشد	٪
TN90p	شبهای گرم	درصد روزهایی که دمای حداقل روزانه بیشتر از صدک نودم باشد	٪
TX90p	روزهای گرم	درصد روزهایی که دمای حداکثر روزانه بیشتر از صدک نودم باشد	٪
WSDI	طول بازه گرم	تعداد روزهایی که حداقل ٦ روز متوالی دمای حداکثر آنها بیش از صدک نودم باشد	روز
CSDI	طول بازه سرد	تعداد روزهایی که حداقل ٦ روز متوالی دمای حداقل آنها از صدک دهم کمتر باشد	روز
DTR	دامنه تغیرات روزانه دما	متوسط ماهانه اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه	^{o}C
RX1day	حداکثر بارش یک روزه	حداکثر بارش روزانه در ماه	mm
RX5day	حداکثر بارش ۵ روزه	حداکثر بارش ۵ روز متوالی در ماه	mm
SDII	شاخص ساده شدت بارندگی روزانه	مجموع بارندگی سالانه تقسیم بر تعداد روزهای بارانی (p>1 mm)	mm/day
R10	تعداد روزهای با بارش سنگین	تعداد روزهای با بارش روزانه بیش از ۱۰میلیمتر	روز
R20	تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین	تعداد روزهای با بارش روزانه بیش از ۲۰ میلیمتر	روز
Rnn	تعداد روزهای با بارش معین nn میلیمتر	تعداد روزهای سال که بارش روزانه بیش از nn میلیمتر است	روز
CDD	تعداد روزهای متوالی خشک	حداکثر تعداد روزهای متوالی بدون بارش یا با بارش روزانه کمتر از ۱ میلیمتر	روز
CWD	تعداد روزهای متوالی مرطوب	حداکثر تعداد روزهای متوالی با بارش روزانه بیش از ۱ میلیمتر	روز
R95p	مجموع بارش روزهای خیلی تر	مجموع بارندگی روزهایی از سال که بارندگی بیش از صدک نودوپنجم است	mm
R99p	مجموع بارش روزهای بیش از اندازه تر	مجموع بارندگی روزهایی از سال که بارندگی بیش از صدک نودونهم است	mm
PRCPTOT	مجموع بارش سالانه روزهای تر	مجموع بارش سالانه در روزهایی که بارش بیش از ۱ میلیمتر است	mm



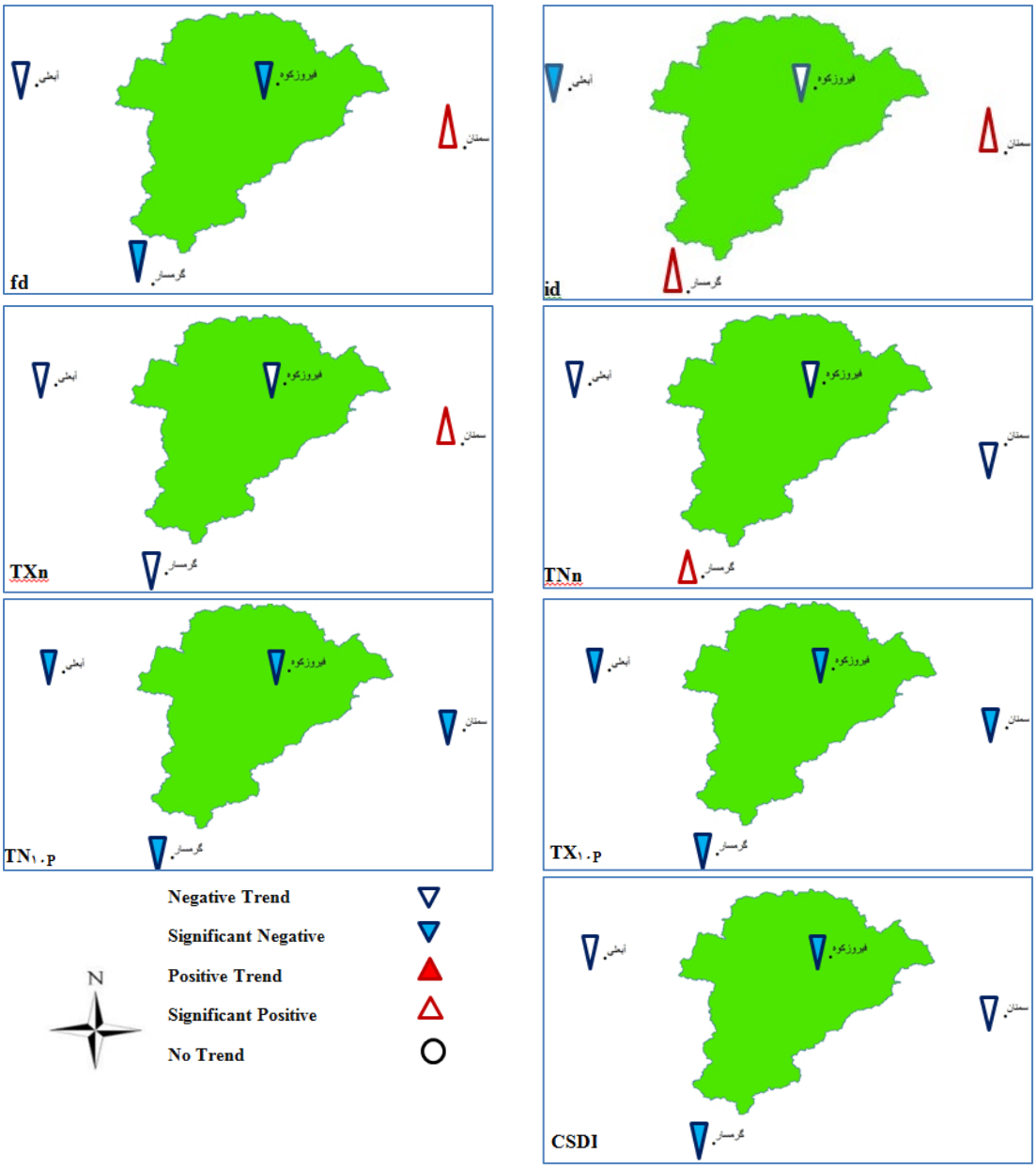
شکل ۲ نمودارهای مربوط به شاخص‌های حدی گرم در ایستگاه‌های آبعلی، فیروزکوه، گرمسار و سمنان



شکل ۳ روند شاخص‌های حدی گرم در ایستگاه‌های آبعلی، فیروزکوه،گرمسار و سمنان



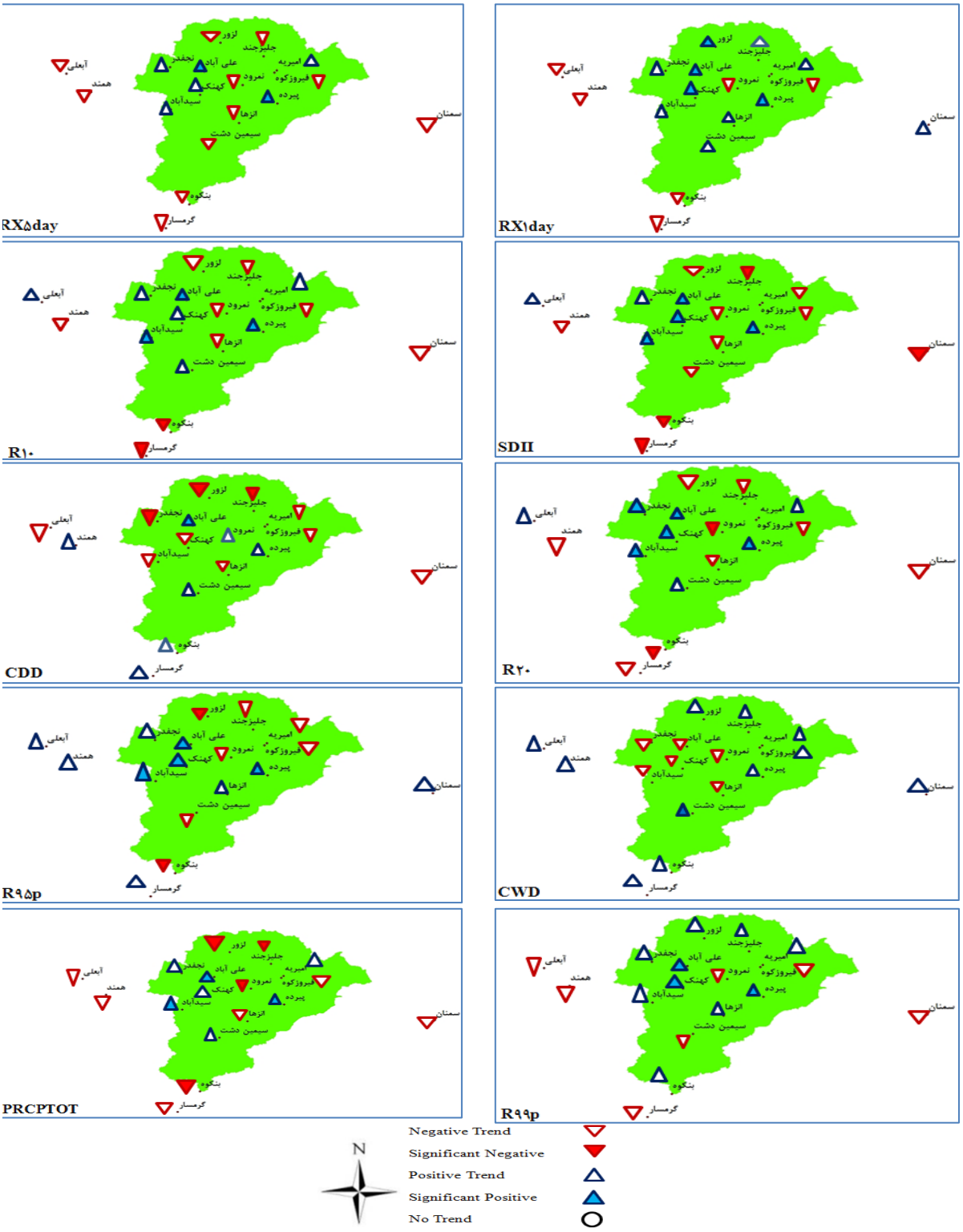
شکل ٤ شاخص‌های حدی سرد در ایستگاه های آبعلی،فیروزکوه،گرمسار و سمنان



شکل ۵ روند شاخص‌های حدی سرد در ایستگاه های آبعلی، فیروزکوه،گرمسار و سمنان

در شکل ٦ نتایج مربوط به بررسی شاخص های اقلیمی بارش در ایستگاه های بارانسنجی مورد مطالعه مشاهده می شود. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص حداکثر بارش یک روزه (Rx1day)، ایستگاه‌های فیروزکوه، بنکوه و نمرود دارای روند نزولی بوده که این روند معنادار نمی‌باشد. در حالی که سایر ایستگاه‌ها دارای روند صعودی می‌باشند که این روند در ایستگاه‌های پیرده، لزور، کهنک و علی آباد معنادار می‌باشد. حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی (Rx5day) در ایستگاه‌های فیروزکوه، انزها، بنکوه، جلیزجند، لزور، نمرود و سیمین دشت دارای روند نزولی بوده که این روند فقط در ایستگاه فیروزکوه معنادار می‌باشد. در حالی که این شاخص در ایستگاه‌های علی آباد، امیریه، کهنک، نجفدر، پیرده و سید آباد دارای روند صعودی بوده که این روند هم تنها در ایستگاه علی آباد و پیرده معنادار می‌باشد. روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلیمتر (R10mm) در ایستگاهای سیمین دشت، سیدآباد، پیرده، نجفدر، کهنک، امیریه و علی آباد دارای روند صعودی بوده و در ایستگاه‌های نمرود، لزور،

جلیزجند، بنکوه، انزها و فیروزکوه دارای روند کاهشی بوده و این روندها تنها در ایستگاه‌های سیدآباد، پیرده، علی آباد، لزور و بنکوه معنادار می‌باشد. شاخص مقدارسالانه بارش در ایستگاه‌های فیروزکوه، انزها، بنکوه، جلیزجند، لزور و نمرود دارای روند نزولی بوده و در ایستگاه‌های علی آباد، امیریه، کهنک، نجفدر، سیدآباد و سیمین دشت دارای روند صعودی می‌باشد که این روندها در تمام ایستگاه‌ها به غیر از سیمین دشت، نجفدر، انزها، امیریه و فیروزکوه معنادار می‌باشد.



شکل ٦ روند شاخص‌های حدی بارش در ایستگاه های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

پدیده تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان آثار خود را در دهه‌های اخیر به جای گذاشته و انتظار می رود در دهه‌های آینده اثرات این تغییرات تشدید شود، تبعاً حوضه حبله رود نیز از این تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده است. جهت بررسی وقوع تغییرات اقلیمی، با استفاده از نرم‌افزار RClimdex، روند تغییرات ۱۸ شاخص دمایی در چهار ایستگاه سینوپتیک آبعلی، فیروزکوه، گرمسار و سمنان و همچنین ۱۰ شاخص بارندگی در چهار ایستگاه سینوپتیک آبعلی، فیروزکوه، گرمسار و سمنان و ۱۳ ایستگاه بارانسنجی داخل حوضه بررسی شد. نتایج بررسی روند شاخص‌های دمایی بیانگر تغییرات معنادار در اکثر شاخص‌ها می‌باشد که با توجه به جهت روند مشاهده شده در شاخص‌های مختلف می توان اثبات نمود که منطقه مورد مطالعه از الگوی کلی گرمایش جهانی تبعیت کرده است. بطوریکه در منطقه مورد مطالعه شاخص‌هایی دمایی گرم در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند صعودی معناداری را نشان می‌دهند. شاخص‌های متوسط دمای حداکثر و متوسط دمای حداقل، ماکزیمم دمای بیشینه و مینیمم دمای بیشینه، همچنین درصد روزهای تابستانی (با دمای بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد) و شب‌های گرمسیری(با دمای بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد) روند صعودی معنادار را نشان می‌دهند. درصد روزها و شب‌های گرم در تمام ایستگاه‌ها روند صعودی معنادار را نشان می‌دهند در حالیکه درصد روزها و شب‌های سرد در تمام ایستگاه‌ها روند نزولی معنادار را نشان می‌دهند. اما برای اکثر شاخص‌های بارندگی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند معناداری در شاخص‌ها مشاهده نگردید. بعبارتی بر خلاف تصور عمومی، داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و بارانسنجی منطقه، وقوع کاهش بارندگی در منطقه را تایید نمی‌کنند. حتی برای بعضی از ایستگاه‌های منطقه مثل علی آباد، سیدآباد، کهنک و پیرده روند صعودی معنادار در شاخص های بارندگی مشاهده گردید. برعکس برای ایستگاه‌های بنکوه، جلیزجند و لزور اکثر شاخص‌های بارندگی روند نزولی معنادار را نشان می‌دهند. بارش سالانه در نیمی از ایستگاه‌ها روند صعودی و در نیم دیگر روند نزولی نشان می‌دهد اگرچه در اکثر موارد این روندها از نظر آماری معنادار نیستند. در مجموع به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه ای مشخص و یکنواختی قابل ارائه نیست. بطور کلی تعداد ایستگاه‌هایی که روند شاخص‌های بارش را صعودی نشان می‌دهند بیشتر از تعداد ایستگاه‌هایی است که روند نزولی در این شاخص‌ها را نشان می‌دهند و همان گونه که مشاهده شد تغییر اقلیم در این حوضه روند صعودی را در اکثر شاخص‌های بارش نشان می‌دهد که این یافته با نتایج پژوهش محمدی و تقوی(۱۳۸٤)، دارند(۱۳۹۳) و تان و همکاران(۲۰۱۷) که شاخص‌های حدی بارش را دارای روند کاهشی دانستند غیرهمسو بوده و با نتایج پژوهش چانگ چان و همکاران در سال۲۰۰۷، برنز و همکاران در سال ۲۰۰۷ و رز و همکاران در سال ۲۰۱٤ که شاخص‌های بارندگی را درارای روند افزایشی دانستند همسو می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت عواملی که بر گرمایش جهانی موثر هستند، به نوعی منطقه مورد مطالعه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند که در نتیجه این امر شاخص‌های حدی گرم در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند صعودی معناداری دارند و شاخص‌های حدی سرد دارای روندنزولی معناداری می‌باشند. این یافته‌ها با نتایج هیات بین المللی تغییر اقلیم وهمچنین پژوهش‌های محمدی وتقوی (۱۳۸٤)، اگویلار و همکاران (۲۰۰۵)، برنز و همکاران (۲۰۰۷)، بهیوتیانی و همکاران (۲۰۰۷)، بارتولینی و همکاران(۲۰۰۸)، ژائو و همکاران (۲۰۱۲)، سنسوی و همکاران (۲۰۱۳) و تان و همکاران (۲۰۱۷) که شاخص‌های حدی گرم را دارای روند افزایشی و شاخص‌های حدی سرد را دارای روند کاهشی می‌دانند دارای روندی همسو می‌باشد. بنابراین می‌توان اینطور نتیجه گیری کرد که تغییرات اقلیمی معنادار از نوع افزایش دما در منطقه اتفاق افتاده است ولی نمی توان با قطعیت ادعا کرد که تغییرات بارندگی معناداری از نظر آماری در منطقه اتفاق افتاده است. همچنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در مناطق مختلف و حتی در حوزه‌های آبخیز مختلف داخل یک منطقه، روند تغییرات متغیرهای اقلیمی ممکن است متفاوت و حتی غیر همسو باشد. این شرایط ایجاب می‌نماید قبل از استفاده از داده‌های سری‌های اقلیمی در تجزیه و تحلیل‌های آماری برای اهداف طراحی و برنامه‌ریزی اقدامات مدیریت منابع آب از وجود و یا عدم وجود روند در آنها اطمینان حاصل نمود.

منابع

1- Aguilar E, Peterson TC, Obando PR, Frutos R, Retana JA, Solera M. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. Journal of Geophysical Research 110:1-15.
2- Alexandern LV, Zhang X, Peterson TC. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research 111:1-22.
3- Bartolini G, Morabito M, Crisci A, Grifoni D. 2008. Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. International Journal of Climatology 28: 1751-1760.
4- Bhutiyani MR, Kale VS, Pawar NJ. 2007. Long-term trends in maximum, minimum and mean annual air temperatures across the Northwestern Himalaya during the twentieth century. Climate Change 85: 159-177.
5- Burns DA, Klaus J, McHale MR. 2007. Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA. Journal of Hydrology 336: 155-170.
6- Carolyne W L, Andrade., Suzana M G L, Montenegro., Abelardo A A, Montenegro., José R de S, Lima., Raghavan, Srinivasan., Charles A, Jones.) 2020(. Climate change impact assessment on water resources under RCP scenarios. A case study in Mundaú River Basin. Northeastern Brazil. International Journal of Climatology.
7- Darand, Mohammad. (1393). Analysis of some changes in rainfall and temperature in Urmia as signs of climate change. Journal of Soil and Water Conservation Research, Volume 21, Number 2, 1-30.
8- IPCC.2007. Fourth assessment report climate change. Paris, http://www.IPCC.ch Journal of the American Statistical Association 74: 365-367.
9- Kayano Mt, rahmanda B, Rao V, Moura AD. 1998. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. journal of climatology 8: 47-88.
10- Kyselý J, Beranová R. 2009. Climate change effects on extreme precipitation in central Europe: uncertainties of scenarios based on regional climate models. Theoretical and Applied Climatology 95(3-4): 361-374.
11- Mahsafar H, Maknoon R, Saghafian B. 2011. The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level, Iran. Water Resources Research 7: 47-58.
12- Mohammadi, Hussein; Taqwa, Farahnaz. (1384). The trend of temperature and precipitation limit indicators in Tehran. Geographical Research, No. 53, 151-176.
13- Nie, H., Qin, T., Yang, H., Chen, J., He, S., Lv, Z., & Shen, Z. (2019). Trend analysis of temperature and precipitation extremes during winter wheat growth period in the major winter wheat planting area of China. Atmosphere, 10(5), 240.
14- Qayami Shamami, Fereshteh, Maroofi, Safar, Sabziparvar, Ali Akbar, Zare Abyaneh, Hamid, Heidari, Majid (1390). Detection of Climate Change in Western Iran Due to Temperature Changes, Irrigation and Water Engineering Quarterly, No. 6, pp. 2-10.
15- Ropelewski CF, Halpert MS. 1986. Northern American Precipitation and temperature patterns associated with the El Nino/southern oscillation (Enso). monthly weather review 14: 2352-2362.
16- Roth M, Buishand TA, Jongbloed G, Tank AK, Zanten JH. 2014. Projections of precipitation extremes based on a regional, non-stationary peaks- over- threshold approach: a case study for the Netherlands and north-western Germany. Weather and Climate Extremes 4(2014): 1-10.
17- Sadri S, Madsen H, Mikkelsen PS, Burn DH. 2009. Analysis of extreme rainfall trends in Denmark. In Proceedings of the 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, Canada, 9-14 August. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR).
18- Sensoy S, Turkoglu N, Akcakaya A, Ekikici M, Ulupinar Y, Atay H, Tuvan A, Demirbas H. 2013. Trends in Turkey Climate indices from 1960 to 2010. 6th Atmospheric Science Symposium- ATMOS 2013 3-5 Haziran 2013, İstanbul.
19- Tan ML, Yusop Z, Chua VP, Chan NW. 2017. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. Atmospheric Research 189: 1-10.
20- Turkesh M, Sumer M, Demirj I. 2002. Re-evealuation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of turkey for period 1991-1999. International Journal of Climatology 22: 947-977.
21- Zhao C, Wang W, Xing W. 2012. Regional Analysis of ExtremeTemperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. International Conference on Modern Hydraulic Engineering 28: 604-607.