

بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران

سعیده کوزه گران^۱ - محمد موسوی بایگی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۲

چکیده

فعالیت‌های انسان جو زمین را در طی صد سال گذشته به طور قابل توجهی تغییر داده است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای منجر به گرمایش جهانی شده و در نتیجه سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی می‌شود. مطالعه مقادیر حدی در برنامه‌ریزی‌های و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد. داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی تعدادی از ایستگاه‌های خراسان رضوی و جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۲ در این مطالعه تحلیل شده اند. جهت بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، ۲۷ شاخص مربوط به بارش و دما که توسط گروه کارشناسی ETCCDMI^۳ تعریف شده، با نرم افزار Rclimindex برآورد شد. آزمون ناپارامتری من کندانال برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی حداکثر رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و حداکثر سرعت باد استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل دما، با گرم شدن منطقه مطابقت دارد. این نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی دارند که این روند برای شاخصهایی مانند روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای، روزها و شب‌های گرم معنادار بود. در حالیکه شاخص‌های حدی سرد در دوره مورد مطالعه روند کاهشی دارند که نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادها و روزها و شب‌های سرد است. بررسی روند سرعت باد حداکثر، نشان‌دهنده روند افزایشی آن در اغلب ایستگاه‌ها است. روند کاهشی و منفی بارش در بررسی همه شاخص‌های بارش در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه، وجود داشت، هر چند تعداد کمی روند معنی دار در طول دوره مورد مطالعه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای اقلیمی، نمایه‌های بارش، نمایه‌های دما

مقدمه

شدت و فراوانی وقوع رویدادهای حدی اقلیمی (سیل، خشکسالی، دماهای بالا و ...) می‌شود. نمایه‌های حدی اقلیمی توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO^۵) به عنوان پدیده‌های اقلیمی و هواشناسی نادر که فراتر (یا فروتر) از یک حد آستانه‌اند تعریف شده است. تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی مانند دوره‌های طولانی روزهای داغ و یا روزهای با بارش‌های سنگین تاثیر بسیار زیادتری از تغییرات در میانگین‌های اقلیمی بر جوامع انسانی و محیط می‌گذارد. آب و کشاورزی از مهم‌ترین قسمت‌هایی هستند که از رویدادهای حدی تاثیر می‌پذیرد و تغییرات آنها بر تعداد بسیار زیادی از نیازهای بشر از جمله کیفیت و کمیت محصولات تولید شده تاثیر بسزایی دارد. مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی مهم هستند. تغییرات در رخداد و فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگیهای اقلیمی داشته باشد (۸). پروژه مشترکی در چهار چوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی، بین کمیسیون اقلیم شناسی (CCL^۶)، تغییرپذیری

تغییرات طبیعی یکی از مشخصه‌های اقلیمی جهانی است که در مقیاس کوتاه مدت و بلند مدت اتفاق می‌افتد. اکثر اقلیم شناسان براین باورند که نوسانات اقلیمی کوتاه مدت و بلند مدت حوادثی تصادفی نیستند (۳). فعالیت‌های انسان جو زمین را در طی صد سال گذشته به طور قابل توجهی تغییر داده و افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای منجر به گرم شدن سطح زمین شده است. هیات بین المللی تغییر اقلیم (IPCC^۴) در سومین گزارش خود در دوره ۲۱۰۰-۱۹۹۰ بر تغییرات جهانی دمایی و شرایط اقلیمی اشاره نموده و افزایش میانگین دمای جهانی از ۱/۴ الی ۵/۸ را در دوره مورد بررسی بیان کردند. این گرمایش جهانی سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی و افزایش

۱- دانشجوی دکتری و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: mousavib@um.ac.ir)

3 - ETCCDMI: Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

4 - Intergovernmental Panel on Climate Change

5- World Meteorological Organization

6- Commission for Climatology

پدیده‌های حدی دما و بارش در آسیا - اقیانوس آرام پرداختند. در این مطالعه، الگوهای مکانی و زمانی تغییرات وقایع حدی دما و بارش در ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی در کشورهای ده شبکه آسیا - اقیانوس آرام (APN) بررسی شد. ارتباط آنها با تغییر اقلیم برای دوره ۱۹۵۵-۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت. آنها دریافتند به طور متوسط در منطقه APN، فرکانس سالانه شب‌های سرد (روز) تا ۶/۴ روز / دهه (۳/۳ روز / دهه) کاهش یافته، در حالی که فراوانی شب‌های گرم (روز) تا ۵/۴ روز / دهه (۳/۹ روز / دهه) افزایش یافته است. در پدیده‌های بارش‌های حدی، در کمتر از ۳۰ درصد از تمام ایستگاه‌های هواشناسی، روند آماری معنی‌دار مشاهده شد. در حالی که در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌های هواشناسی، رویدادهای درجه حرارت شدید تغییرات معنی‌داری داشته است. اگیولار و همکاران (۱) تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش را در مرکز، شمال و جنوب آمریکا در دوره ۲۰۰۳-۱۹۶۱ بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که رویدادهای حدی گرمایی و دمای حداقل افزایش یافته در ضمن وقایع حدی سرما کاهش یافته است. موندال و همکاران (۱۱) روند بارش را با آزمون من کندال در منطقه اوریساک طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ مورد مطالعه قرار داده و روند افزایش بارش را در چند ماه نتیجه گرفتند. محمدی و همکاران (۱۴) به بررسی روند شاخص‌های حدی بارش و دمای تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۵ با استفاده از سری‌های زمانی روزانه دمای حداکثر، حداقل و بارش پرداختند. آنها دریافتند که دمای حداقل و متوسط روند افزایشی داشته است. رضی و همکاران (۱۶) روند بارندگی سالانه را در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی ایران طی دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۵ در ۷۹ ایستگاه هواشناسی بررسی کردند. نتایج آنها بیانگر روند سالانه منفی و کاهش بارش در سال‌های اخیر بوده که این روند در بعضی ایستگاه‌ها معنی‌دار نبود. مریانجی و همکاران (۱۲) به مطالعه روند تغییرات پارامترهای بارش، درجه حرارت حداقل و حداکثر و میانگین همدان با استفاده از آزمون من کندال پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پارامترهای دما دارای روند افزایشی معناداری بوده اما بارندگی روند معناداری نداشته است. رضایی و همکاران (۱۵) به منظور بررسی تغییر عناصر اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه، داده‌های درجه حرارت حداکثر و حداقل و بارندگی روزانه ۴ ایستگاه در طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از شش شاخص برای تجزیه و تحلیل روند تغییرات درجه حرارت و هشت شاخص جهت بررسی روند تغییرات بارش بهره گرفته شد. روند این نمایه‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات تعیین گردید و برای تشخیص معنی‌داری آنها آزمون رتبه‌ای من - کندال به کار رفت.

و پیش بینی پذیری اقلیم^۱ (CLIVAR) و برنامه تحقیقات جهانی^۲ (WCRP) در زمینه پایش و آشکارسازی تغییر اقلیم و نمایه‌های آن انجام شد، روابط خاصی برای محاسبه نمایه‌های مختلف ارائه شد که نتیجه آن تولید چند نرم افزار مانند Climdex و RCLimdex است (۲۳). کریستیدیس و همکاران (۶) بیان داشتند که دمای حداقل و حداکثر در نیمکره شمالی از سال ۱۹۵۰ افزایش قابل توجهی داشته که باعث تغییر در شدت رویدادهای حدی مانند خشکسالی شده است. ایلماز (۲۴) شاخص‌های حدی بارش را در دوره موجود (۱۹۷۰-۱۹۸۹) و آینده (۲۰۸۰-۲۰۹۹) در انتالیای ترکیه در مطالعه خود بر اساس داده‌های روزانه بارش بررسی کرد. همه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی معناداری را نشان دادند. ایم و همکاران (۷) به بررسی ساختار فضایی و زمانی روندهای حال و آینده شاخص‌های حدی اقلیمی در کشور کره جنوبی طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۱۰۰ پرداختند. آنها برای بررسی شاخص‌ها و شدت، تداوم و فراوانی وقایع از داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و داده‌های بارش استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شاخص‌ها بر اساس دمای حداقل تغییر قابل ملاحظه‌ای به سمت گرم‌تر شدن دارند. در حالی که شاخص بر اساس دمای حداکثر روند قابل توجهی را نشان نمی‌داد. هم‌چنین شاخص‌های مربوط به فراوانی و شدت بارش‌های سنگین افزایش معنی‌داری داشت. سنسوی و همکاران (۱۷) به بررسی روند شاخص‌های اقلیمی در ترکیه در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. آنها دریافتند که روزهای تابستان، روزها و شب‌های گرم و شب‌های حاره‌ای در کل ترکیه در حال افزایش است. در حالی که روزهای یخبندان، روزها و شب‌های سرد کاهش یافته‌اند. اغلب روندها در سطح ۹۵ درصد معنادار بود. روند بارندگی سالانه در مناطق شمالی افزایشی و در مناطقی از جنوب کاهش یافته است. بارش‌های سنگین در اغلب ایستگاه‌ها افزایش داشته که باعث وقوع سیل شده است. مونیکا و همکاران (۱۳) به مطالعه شاخص‌های بارش حدی در شمال پرتغال طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۰ پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌ها روند افزایشی داشتند. سهرابی و همکاران (۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های حدی اقلیمی و ارتباط آن با خشکسالی منطقه ایداهو، آمریکا، پرداخته‌اند. آنها روند کاهش بارش و روند افزایشی دما را نتیجه گرفتند. هم‌چنین دریافتند که شب‌های حاره‌ای و روزهای تابستان افزایش و روزهای یخبندان کاهش یافته است. شاهدی (۱۸) روند شاخص‌های حدی بارش را در بنگلادش با داده‌های روزانه طی دوره ۲۰۰۷-۱۹۵۸ بررسی کرد. او دریافت روزهای با بارش‌های سنگین روند افزایشی و روند روزهای خشک متوالی در بنگلادش روند کاهش یافته است. چویی و همکاران (۴) به بررسی تغییرات

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه

Table 1- The characteristics of the synoptic stations

نام ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Height (m)
مشهد Mashhad	۵۹.۳۸	۳۶.۱۶	۹۹۹
کاشمر Kashmar	۵۸.۲۸	۳۵.۱۲	۱۱۱۰
تربت حیدریه Torbate Heydarye	۵۹.۱۳	۳۵.۱۶	۱۴۵۱
گناباد Gonabad	۵۸.۱۴	۳۴.۲۱	۱۰۵۶
بیرجند Birjand	۵۹.۲۵	۳۲.۹۰	۱۵۰۴
قاین Ghaen	۵۹.۱۸	۳۳.۷۳	۱۴۳۲
طبس Tabas	۵۶.۹۵	۳۳.۶۰	۷۱۱
نهبندان Nehbandan	۶۰.۰۳	۳۱.۵۳	۱۱۸۸

رضوی از تنوع اقلیمی برخوردار است، اما به طور کلی جزو مناطق نیمه خشک کشور به شمار می‌رود از خصوصیات بارندگی در استان خراسان رضوی، بارش در فصل سرد سال با توزیع غیر نرمال است. استان خراسان جنوبی از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست، و آب و هوای نیمه خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. در این پژوهش داده‌های روزانه بارش، حداقل و حداکثر درجه حرارت، حداکثر رطوبت نسبی، حداکثر سرعت باد و ساعات آفتابی مورد بررسی قرار گرفت.

روش مطالعه

این مطالعه برای بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، ۲۷ شاخص بارش و دما که توسط تیم کارشناسی ETCCDMI^۲ تعریف شده استفاده شد. این شاخص‌ها توسط نرم افزار RclimDex برآورد می‌شود. نرم افزار RclimDex توسط بخش تحقیقات اقلیمی هواشناسی کانادا در محیط R 1.84 تهیه شده که، منوط به نصب و راه اندازی زبان برنامه‌نویسی R می‌باشد در این نرم افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و یا 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

نتایج نشان داد که شرایط اقلیمی در طی دوره مورد مطالعه در این منطقه تغییر پیدا کرده است. بطوری که تعداد روزهای تابستانی و شب‌های گرم به‌طور معنی‌داری افزایش و تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. مجموع بارندگی سالانه، تعداد روزهای بارانی و تعداد روزهای بارندگی سنگین، نیز کاهش معنی‌داری داشته است. مطالعه مقادیر حدی در برنامه ریزی‌های و سیاست گذاری‌های بخش کشاورزی، زراعت و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد. در این مطالعه به بررسی جامع شاخص‌های حدی دما و بارش پرداخته شده است. هدف این مقاله بررسی نمایه‌های حدی دما و بارش مطابق با استاندارد تعریف شده^۱ CCL /CLIVAR و بررسی روند سایر پارامترهای اقلیمی در منطقه شمال شرق ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر از آمار و داده‌های تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک شمال شرق کشور شامل مشهد کاشمر تربت حیدریه و گناباد از خراسان رضوی و ایستگاه‌های بیرجند، قاین، نهبندان و طبس خراسان جنوبی در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۲ استفاده شد (جدول ۱). این ایستگاه‌های دارای شرایط اقلیمی متفاوتی هستند. استان خراسان

2 -ETCCDM: Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

1 -CCL: Commission for Climatology/CLIVAR: Climate Variability and Predictability

و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک سری‌های زمانی به شمار می‌آید با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌گردد. این آزمون ابتدا در سال ۱۹۴۵ توسط منارانه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این آزمون در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) پیشنهاد شد و در بررسی معناداری روند سری‌های اقلیمی در موارد مختلف استفاده شد. در روش محاسبه آزمون نموداری من کندال اگر دنباله U و \bar{U} به صورت نموداری رسم شود، در حالت معناداری روند دو نمودار یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند به این نقطه برخورد چشم گفته می‌شود در مواقعی که U بیشتر از $+1.96$ باشد نشاندهنده روند مثبت و زمانی که U کمتر از -1.96 باشد نشاندهنده روند منفی در سطح معناداری ۵ درصد می‌باشد. بر اساس مطالعات اسنیرس و همکاران (۱۹) جهت انجام آزمون من کندال مراحل زیر باید صورت گیرد:

محاسبه می‌شود. یازده شاخص بارندگی و ۱۶ شاخص درجه حرارت توسط این نرم افزار در مقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه می‌شود (جدول ۲ و ۳)، 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 (۲)، که این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ برآورد می‌گردد. هدف از فرآیند ETCCDMI تعیین مجموعه استاندارد از شاخص‌هایی است که بتوان توسط آن ویژگی‌های مناطق مختلف را بررسی و مقایسه نمود. با استفاده از این نرم افزار شاخص‌ها محاسبه شده و نمودارهای هر شاخص شامل نمودار روند و میانگین متحرک آن در هر نمودار ایجاد شد. از آزمون‌های متفاوتی برای آشکارسازی روند نوسانات اقلیمی استفاده می‌شود در این مطالعه برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی حداکثر رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و حداکثر سرعت باد از آزمون ناپارامتری من کندال استفاده شد. آزمون من کندال جزء متداول‌ترین

جدول ۲- شاخص‌های حدی بارش توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL / CLIVAR
Table 2 - Precipitation indices recommended by the expert group CCL / CLIVAR

نمایه Index	معرفی نمایه Definition	یکا Units
Rx1day	حداکثر بارش یک روزه Max 1 day precipitation amount	میلیمتر mm
Rx5day	حداکثر بارش پنج روزه، میزان بارش ماهانه پنج روز متوالی Max 5 day precipitation amount	میلیمتر mm
SDII	نمایه ساده شدت روزانه، بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب ($PRCP \geq 1.0mm$) در سال Simple daily intensity index	میلیمتر برروز mm/day
R10mm	روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ده میلیمتر $RR_{ij} \geq 10mm$ Number of heavy precipitation days	روز days
R20mm	تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست میلیمتر $RR_{ij} \geq 20mm$ Number of very heavy precipitation days	روز days
R25mm Rnn mm	تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از بیست و پنج میلیمتر عبارتست از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 25mm$ Number of days $\geq 25mm$	روز days
CDD	روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} < 1mm$ Consecutive dry days	روز days
CWD	روزهای تر، بیشترین تعداد روزهای متوالی که $RR_{ij} \geq 1mm$ Consecutive wet days	روز days
R95p	روزهای خیلی تر، بارندگی کل سالانه هنگامیکه بیشتر از صدک نود و پنجم $RR > 95^{th}$ percentile Very wet days	میلیمتر mm
R99p	روزهای بیش از اندازه تر، بارندگی کل سالانه هنگامیکه بیشتر از صدک نود و نهم $RR > 99^{th}$ percentile Extremely wet days	میلیمتر mm
PRCPTOT	مقدار سالانه بارش در روزهای تر $PRCPTOT_j = \sum_{j=1}^{365} RR_j (RR \geq 1mm)$ total wet days precipitation Annual	میلیمتر mm

جدول ۳- شاخص‌های حدی دما توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL / CLIVAR
Table 3- Temperature indices recommended by the expert group CCL / CLIVAR

نمایه Index	معرفی نمایه Definition	یکا Units
FD	تعداد روزهای یخبندان (دمای حداقل روزانه > 0 ° C) (Number of Frost Days)	روز days
SU25	تعداد روزهای تابستانی (دمای حداکثر روزانه Summer days) (25 °)	روز days
ID	تعداد روزهای یخی (دمای حداکثر روزانه > 0 ° C) (Number of Ice Days)	روز days
TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای حداقل روزانه < 20° C) Tropical nights	روز days
TXx	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Maximum Tmax)	° C
TNx	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Tmin Maximum)	° C
TXn	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Minimum Tmax)	° C
TNn	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Minimum Tmin)	° C
GSL	طول فصل رویش	روز days
TX90 P	روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد (Warm Days)	روز days
TN90 P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (Warm Nights)	روز days
TX10 P	روزهای سرد، درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (Cool Days)	روز days
TN\0 P	شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (Cool Nights)	روز days
DTR	دامنه تغییرات شبانه روزی دما (Diurnal Temperature Range)	° C
CSDI	نمایه طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (Cold Spell Duration Index)	روز days
WSDI	نمایه طول مدت گرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آنها بیشتر از صدک نودم باشد (Warm Spell Duration Index)	روز days

$$u(t_i) = [t_i - E(t_i)] / \sqrt{Var(t_i)} \quad (4)$$

سرانجام مقدار آماره $u(t_i)$ از طریق روش پسرو که از انتهای سری‌ها شروع می‌شود محاسبه می‌شود. که چنانچه این منحنی‌ها تقاطع داشته باشند از آن نقطه به بعد می‌تواند شروع یک روند باشد.

نتایج

پس از انجام کنترل کیفیت بر روی داده‌های روزانه وارد شده در نرم افزار شاخص‌های حدی برآورد می‌شود که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد.

ابتدا داده‌های مشاهده شده اولیه با رتبه y_i که دارای روند افزایشی است، مرتب می‌شوند. سپس برای هر مرتبه از y_i تعداد n_k مواردی که قبل از آن ($y_i > y_j$) می‌باشند، محاسبه می‌گردد ($y_i > y_j$) در مرحله آخر، آماره آزمون از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

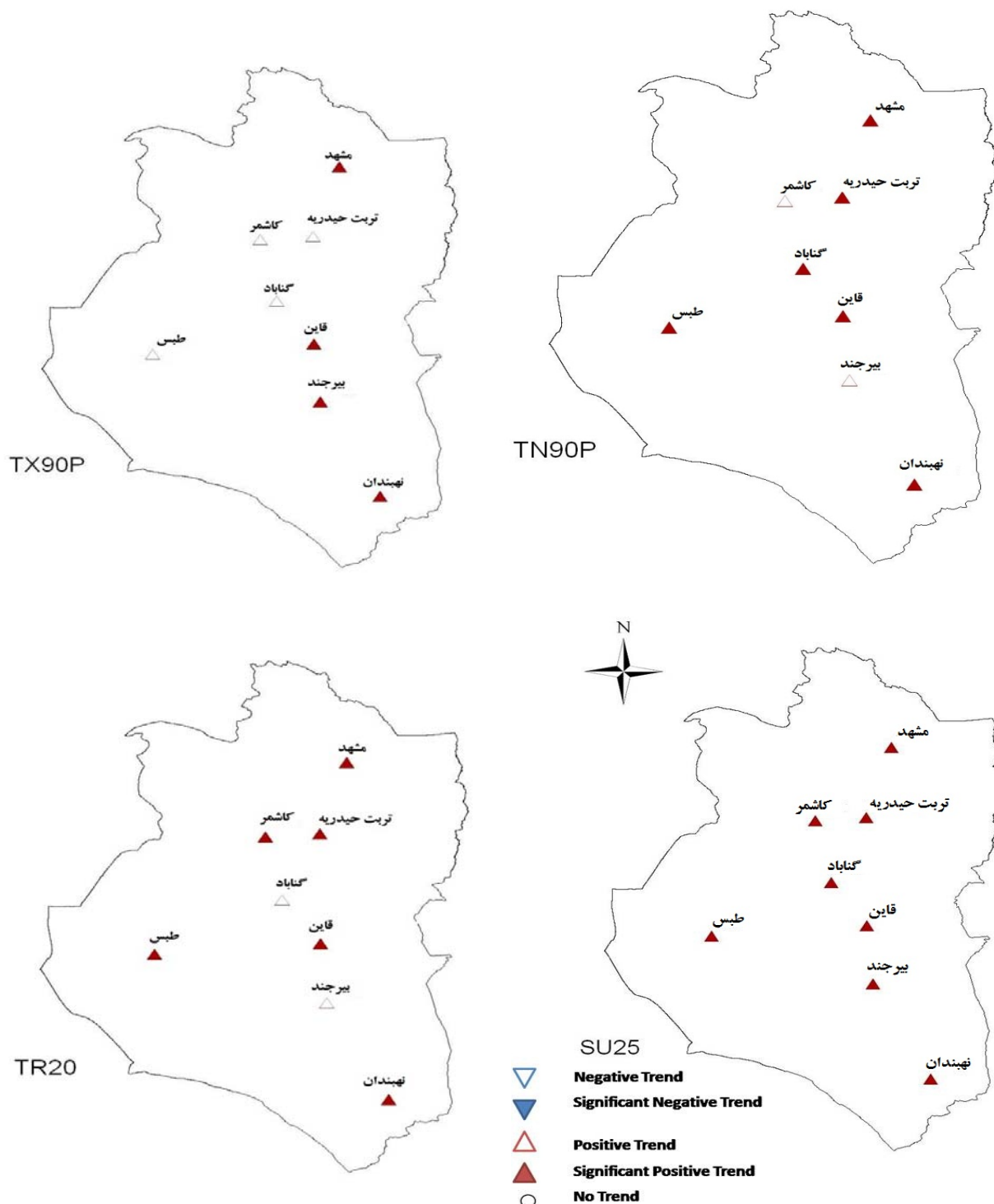
$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (1)$$

تابع توزیع آماره t_i دارای مقادیر متوسط (E) و واریانس (Var) می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شوند (۱۱):

$$E(t_i) = i(i-1)/4 \quad (2)$$

$$Var(t_i) = [i(i-1)(2i+5)]/7 \quad (3)$$

همچنین مقدار آماره $u(t_i)$ رابطه زیر محاسبه می‌شود:



شکل ۱- شاخص های حدی گرم، تعداد روزهای تابستانی (SU25)، تعداد شبهای حاره‌ای (TR20)، روزهای گرم (TX90P)، شب های گرم (TN90P)

Figure 1- Hot extremes indices, hot days (SU), warm night (TR20), hot days and nights (TX90p, TN90p)

درجه حرارت

شاخص‌های حدی گرم

شاخص‌های حدی گرم که شامل تعداد روزهای تابستانی با دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد (SU25)، تعداد شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد (TR20)، روزهای گرم درصد روزهایی که دمای حداکثر بیش از صدک نودم باشد (TX90P)، شب‌های گرم درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (TN90P)، شاخص طول مدت گرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد (WSDI)، بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) می‌باشد. برازش شاخص (SU25)، روزهای تابستانی، حاکی از روند معنادار مثبت این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای در تمام ایستگاه‌ها روند مثبت داشته و به جز ایستگاه بیرجند و گناباد در بقیه ایستگاه‌ها این روند معنادار می‌باشد. بیشترین تعداد شب‌های حاره‌ای مربوط به ایستگاه طبس با حداکثر ۱۷۴ شب و بعد از آن متعلق به نهبندان با ۱۲۰ شب می‌باشد. شاخص روزهای گرم، (TX90P)، در تمام ایستگاه‌ها روند مثبت را نشان می‌دهد که حاکی از افزایش تعداد روزهای گرم بوده، درحالی‌که فقط در ایستگاه‌های بیرجند، قاین، نهبندان و مشهد این روند معنادار می‌باشد. در بررسی نمودارهای شاخص (TN90P)، شب‌های گرم، مشاهده شد که تمام ایستگاه‌ها روند افزایشی و مثبت دارند که فقط ایستگاه‌های بیرجند و کاشمر روند مثبت آنها معنادار نبود (شکل ۱). بررسی شاخص‌های WSDI و TXx نشان داد که هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها روند معناداری نداشته اگرچه روند مثبت دارند و شاخص طول مدت گرما در بسیاری از سال‌ها صفر می‌باشد. ایستگاه مشهد تنها ایستگاهی می‌باشد که شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) در آن معنادار می‌باشد اگرچه تقریباً تمام ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشند.

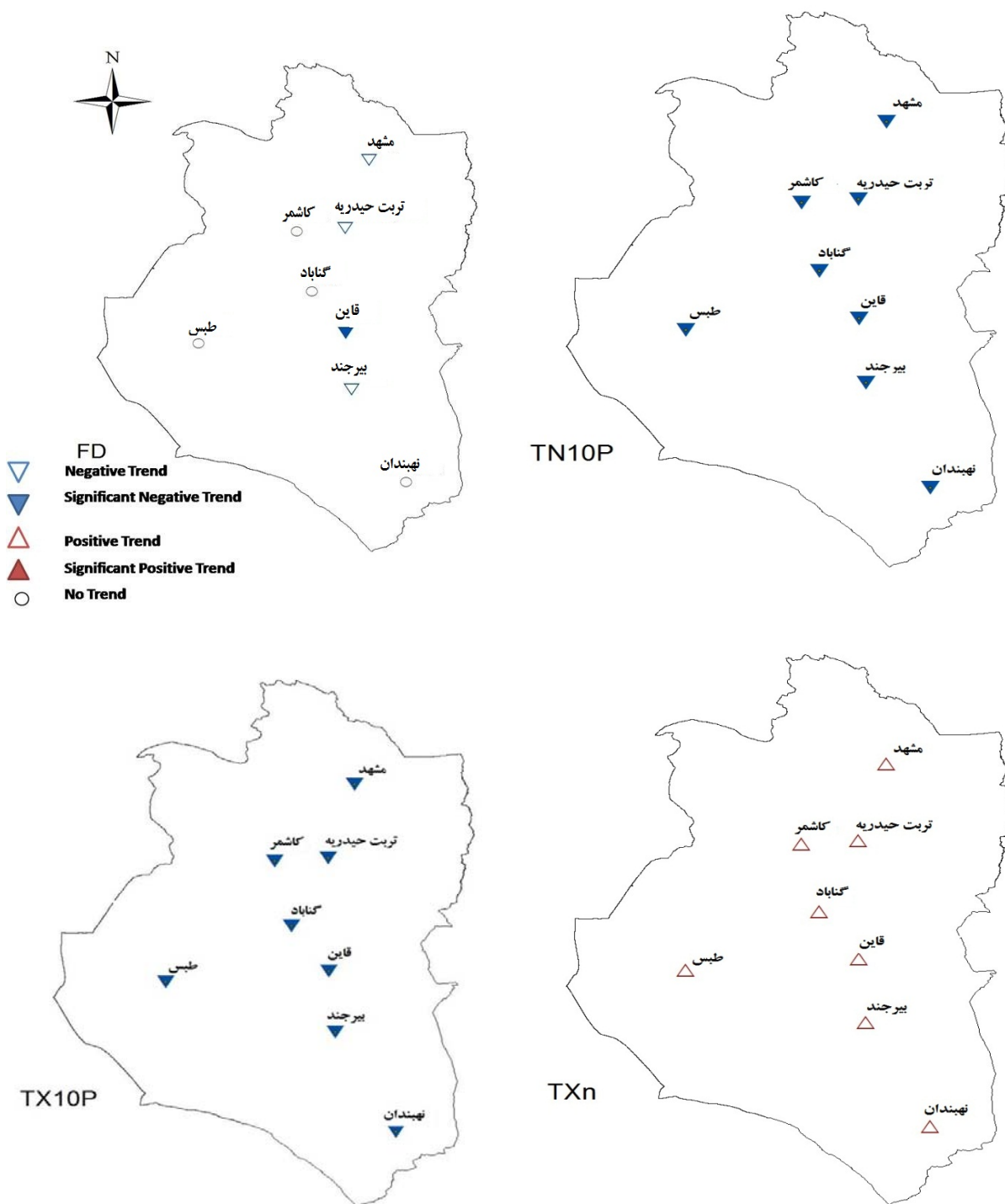
شاخص‌های حدی سرد

شاخص‌های حدی سرد که شامل تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی با دمای حداکثر زیر صفر درجه سانتی‌گراد (ID)، روزهای سرد درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد (TX10P)، شب‌های سرد درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (TN10P)، شاخص طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل آن‌ها کمتر از صدک دهم باشد (CSDI)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) می‌باشد. شاخص‌های حدی

سرد بر خلاف شاخص‌های حدی گرم بیشتر روند کاهش‌ی را نشان می‌دهد. برازش نمودارهای روزهای یخبندان نشان دهنده شیب منفی در اغلب ایستگاه‌ها و در نتیجه کاهش روزهای یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد اگرچه به جز ایستگاه قاین در سایر ایستگاه‌ها این روند معنادار نبود. شاخص روزهای یخی در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها از روند خاصی برخوردار نبود و تعداد روزهای یخی در ایستگاه‌ها بسیار کم و در بعضی ایستگاه‌ها در بیشتر سال‌ها صفر بوده است. درصد روزهایی که دمای حداکثر و حداقل کمتر از صدک دهم باشد تغییر یافته است که نشان‌دهنده کاهش روزها و شب‌های سرد می‌باشد. روند معناداری منفی برای تمام ایستگاه‌ها از برازش نمودار شاخص روزهای سرد (TX10P) مشاهده شد. در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10P) هم روند منفی معناداری در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه موجود بود (شکل ۲). شاخص CSDI که بیانگر طول دوره سرما می‌باشد در ایستگاه‌ها در اغلب سال‌ها صفر بوده و این شاخص از روند معناداری برخوردار نبود. شاخص‌های کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه و کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه در ایستگاه‌ها فاقد روند معناداری بوده است، در حالی‌که کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه در اغلب ایستگاه‌ها دارای شیب مثبت بود که با روند کاهش‌ی شاخص TX10P همراهی دارد که بیانگر افزایش دما و کاهش روزهای سرد می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد می‌باشد در حالی‌که، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند.

شاخص دامنه دمایی و طول دوره رویش

شاخص (DTR) دامنه تغییرات شبانه روزی دما را نشان می‌دهد. این شاخص به جزء برای طبس که روند منفی معنادار دارد برای سایر ایستگاه‌ها روند معناداری ندارد. روند منفی نشان می‌دهد که روند تغییر دمای حداقل زیاده‌تر از روند تغییر دمای حداکثر می‌باشد. شاخص طول دوره رویش (GSL)، در نیمکره شمالی فاصله زمانی بین اولین دوره بعد از اول ژوئیه (دهم) تیر که حداقل ۶ روز متوالی دمای میانگین روزانه بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد و اولین دوره ۶ روزه با دمای میانگین روزانه کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد، تعریف می‌شود. این شاخص برای ایستگاه‌ها معنادار نیست، زیرا که در بیشتر مناطق در ایران طول دوره رویش بیشتر به بارش بستگی دارد و نمی‌توان تغییرات واقعی طول دوره رویش گیاهان همه مناطق را با این شاخص بیان نمود.



شکل ۲- شاخص‌های حدی سرد، تعداد روزهای یخبندان (FD)، شب‌های سرد (TN10P)، روزهای سرد (TX10P)، کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

Figure 2- Cold extremes indices, frost days (FDs), cool days and nights (TX10p, TN10p), minimum tmax (TXn)

شاخص‌های بارش

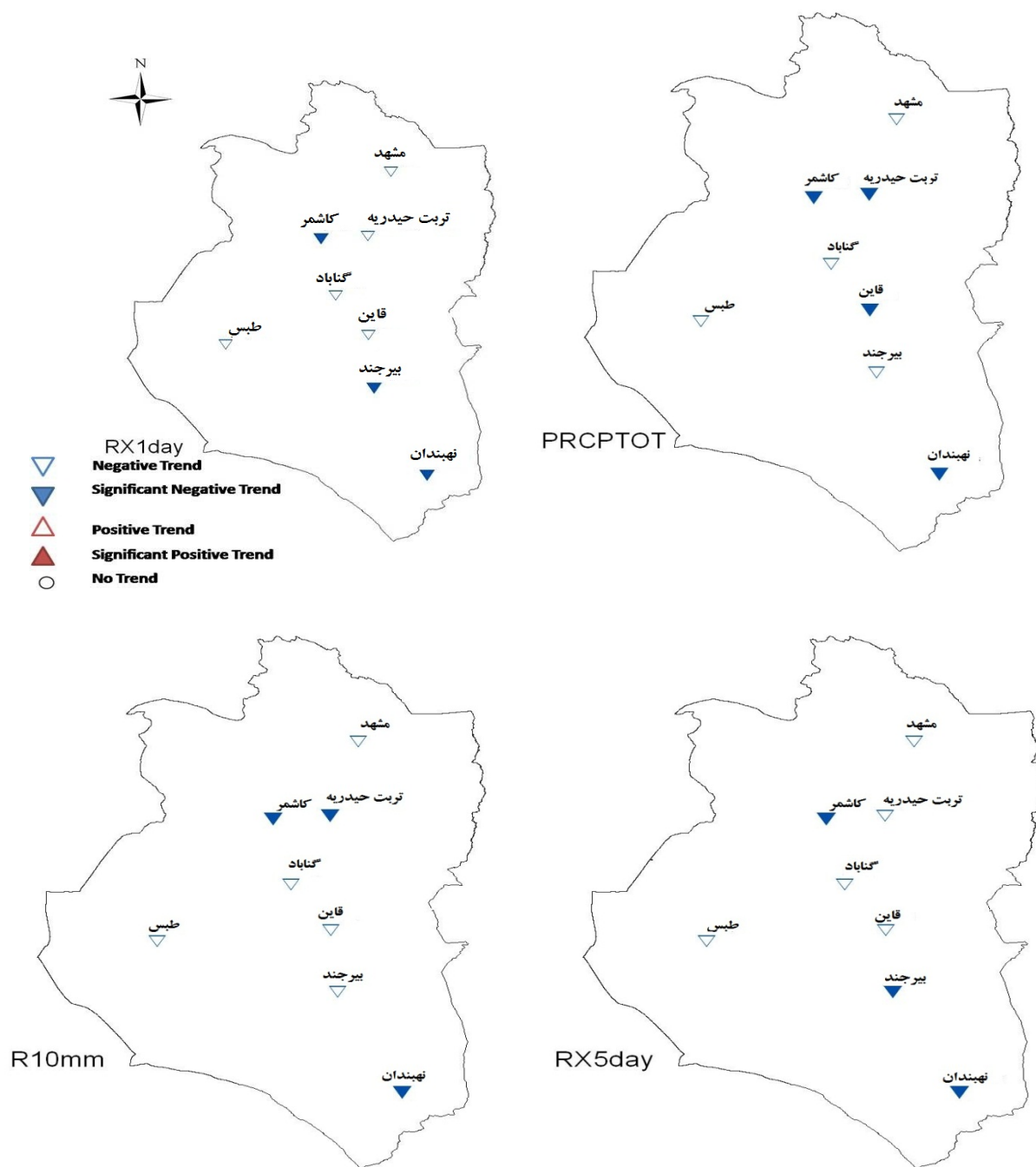
شاخص‌های بارش طراحی شده، الگوهای متفاوتی از شدت، مدت و فراوانی بارش را ارائه می‌دهند. شاخص PRCPTOT مقدار سالانه بارش در روزهای تر، می باشد. این شاخص نشان می دهد که مقدار آن دارای نوسان بوده و از سالی به سال دیگر متفاوت می باشد اما در تمام ایستگاه‌ها این شاخص روند منفی داشته و میزان کاهش بارش در منطقه محسوس است، ایستگاه‌های نهبندان، قاین، تربت حیدریه و کاشمر این روند کاهش معنادار می‌باشد. در بررسی همه شاخص‌های بارش در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهش و منفی بارش مشاهده می‌شود. در بررسی شاخص حداکثر بارش ۱ روزه (Rx1day)، ایستگاه‌های بیرجند، نهبندان و کاشمر روند کاهش معناداری دارند و در سایر ایستگاه‌ها هم این روند کاهش یافته است. حداکثر بارش ۵ روزه، میزان بارش ماهانه ۵ روز متوالی (Rx5day)، در کلیه ایستگاه‌ها روند کاهش داشته که در ایستگاه‌های بیرجند، نهبندان و کاشمر این روند معنادار شده است. روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm)، در ایستگاه‌های نهبندان، کاشمر و تربت حیدریه از روند معنادار منفی پیروی می‌کنند، فراوانی این شاخص در اغلب ایستگاه‌ها پایین بوده و روند آن منفی و کاهش می‌باشد. شاخص ساده شدت روزانه، شاخص بارندگی کل سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب در سال (SDII)، در تمام ایستگاه‌ها روند کاهش داشته و ایستگاه‌های کاشمر و تربت حیدریه دارای روند کاهش معنادار می‌باشد. شاخص‌های روزهای خشک متوالی، بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی‌متر باشد (CDD) که در اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی و روزهای تر، بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر مساوی ۱ میلی‌متر باشد (CWD)، در اغلب ایستگاه‌ها روند کاهش داشته که هماهنگ با کاهش بارش در منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد، هیچ‌کدام از روند معناداری تبعیت نمی‌کنند. در بررسی شاخص روزهای خیلی تر، هنگامی که بارندگی کل سالانه بیشتر از صدک ۹۵ باشد (R95p)، ایستگاه کاشمر روند کاهش معنادار مشاهده شد. شاخص روزهای بیش از اندازه تر، بارندگی کل سالانه هنگامی که بیشتر از صدک ۹۹ باشد (R99p) و شاخص‌های تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر (R20mm) و مساوی یا بیشتر از ۲۵ میلی‌متر (R25mm)، فراوانی شاخص‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه پایین می‌باشد و در اغلب سال‌ها صفر بوده است. مقایسه پرباران‌ترین و کم باران‌ترین سال‌ها نشان می‌دهد که دامنه نوسانات بارش از سالی به سال دیگر بسیار زیاد می‌باشد. در مجموع به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه‌ای

مشخص و کاملی قابل تشخیص نیست.

حداکثر رطوبت نسبی روزانه، حداکثر سرعت باد و همچنین ساعت آفتابی توسط آزمون من کندال بررسی شد که تغییرات قابل توجهی در ایستگاه‌ها را نشان داده که در بسیاری از ایستگاه‌ها این تغییرات از روند معناداری تبعیت کرد. سری زمانی حداکثر رطوبت نسبی دارای روند کاهش معنادار در ایستگاه‌های مشهد، تربت حیدریه و طبس و روند افزایشی در کاشمر می‌باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است. ایستگاه‌های مشهد و بیرجند، قاین، نهبندان دارای روند معنادار به ترتیب افزایشی و کاهش در سری زمانی ساعات آفتابی دارند (شکل ۶). عنصر باد از جمله متغیرهای پیچیده اقلیمی است و تغییرات آن در مقیاس‌های کوتاه و بلندمدت بر خصوصیات اقلیمی اثر می‌گذارد و از جمله عوامل موثر بر نوسانات اقلیم محسوب می‌شود. حداکثر سرعت باد دارای روند افزایشی معنادار در ایستگاه‌های نهبندان، طبس، کاشمر و گناباد می‌باشد (شکل ۷).

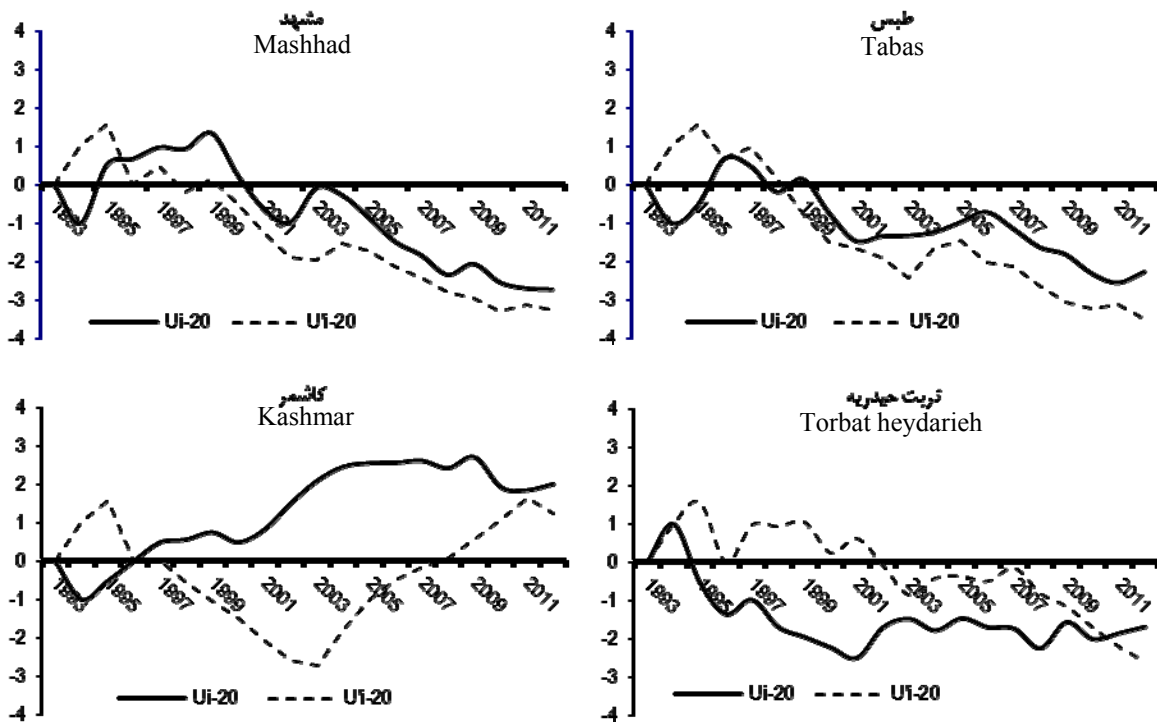
نتیجه‌گیری کلی

تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد، هم‌چنین انسان و محیط زیست اغلب به تغییرات حداکثرها و حداقل‌ها بیش از تغییرات شرایط میانگین واکنش نشان می‌دهند. بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر حدی، حداکثرها و حداقل‌ها، مهم‌تر از شرایط متوسط اقلیمی می‌باشد. در این مطالعه به بررسی این روندها در شمال شرق کشور پرداخته شده است. که روند شاخص‌های حدی اقلیمی توسط نرم افزار RCLIMDEX محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل دمایی مطابقت با گرم شدن منطقه دارد و نشان داد که شاخص‌های حدی گرم مانند شاخص روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای، روزها و شب‌های گرم در منطقه مورد مطالعه روند افزایشی دارند و شاخص‌های حدی سرد روند کاهش دارند. درصد روزهایی که دمای حداکثر و حداقل کمتر از صدک دهم باشد تغییر یافته است که نشان‌دهنده کاهش روزها و شب‌های سرد می‌باشد. روند معناداری منفی برای تمام ایستگاه‌ها در مورد شاخص روزهای سرد (TX10P) و شاخص شب‌های سرد (TN10P) ایجاد شد. تعداد روزهای یخبندان هم روند کاهش را نشان داد. به طور کلی نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد بوده در حالی که، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند، که این نتایج دارای روندی همسو با نتایج هیات بین‌المللی تغییر اقلیم (۱۴ و ۱۵) و مطالعات جهانی (۱۰، ۱۲، ۱۸ و...) و منطقه‌ای (۵ و ۶) است.

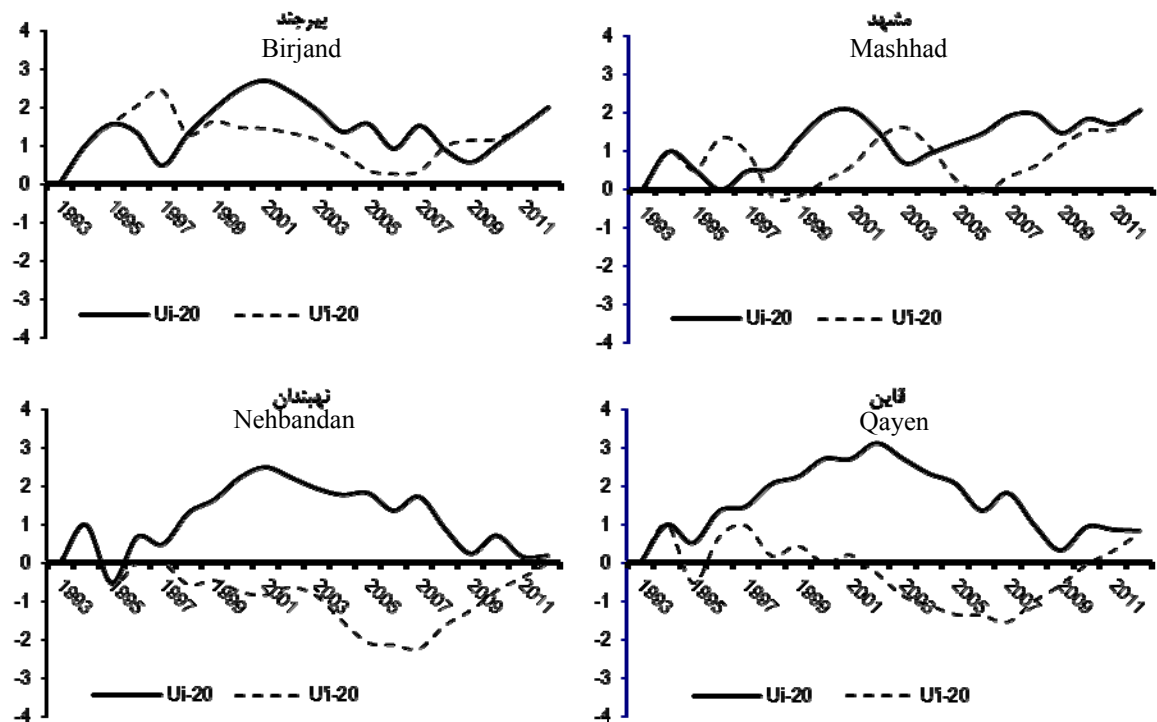


شکل ۳- شاخص های بارش، شاخص حداکثر بارش ۱ روزه (Rx1day)، حداکثر بارش ۵ روزه (Rx5day)، مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT)، روزهای با بارش سنگین، تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلیمتر (R10mm)

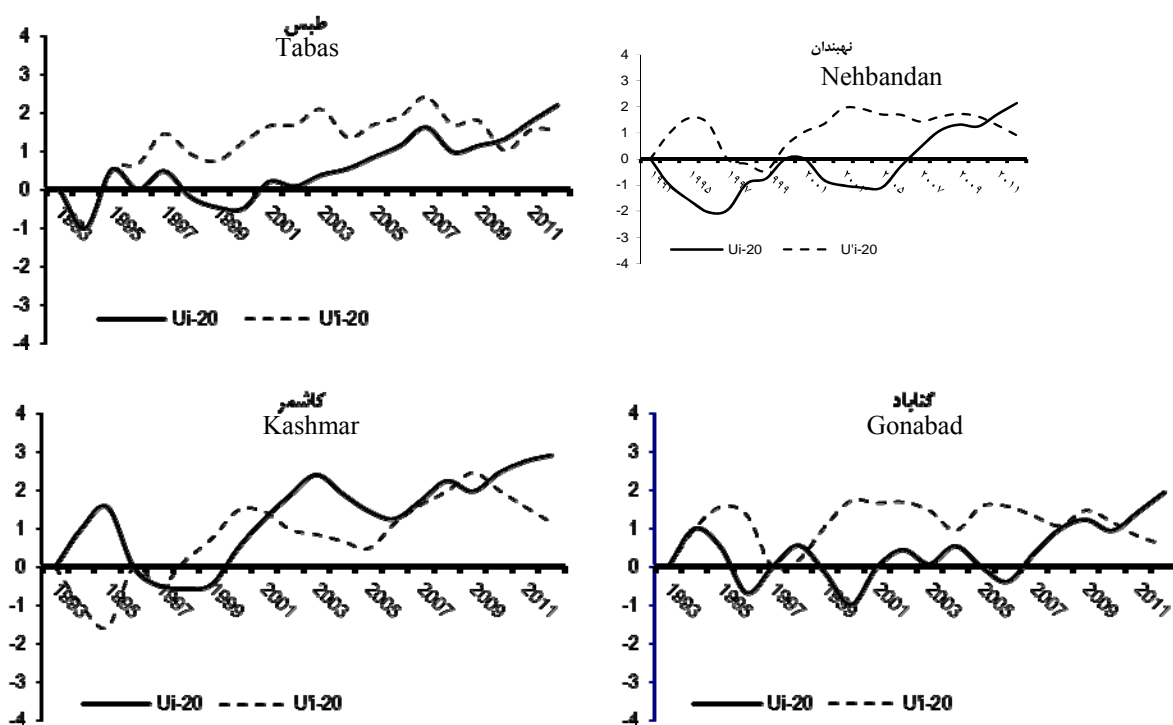
Figure 3- Precipitation indices, Max1day precipitation amount (Rx1day), Max5days precipitation amount (Rx5day), wet day precipitation (PRCOTOT), Number of heavy precipitation days $R \geq 10\text{mm}$ (R10mm)



شکل ۴- نمودارهای U' و U حداکثر رطوبت نسبی
Figure 4- U, U' Maximum relative humidity



شکل ۵- نمودارهای U' و U ساعت آفتابی
Figure 5- U, U' Sunshine hours



شکل ۶- نمودارهای U و U' حداکثر سرعت باد
Figure 6- U, U' Maximum wind speed

سال‌به‌سال دیگر بسیار زیاد می‌باشد و توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در مجموع به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و یکنواختی قابل‌ارائه نیست. با توجه به تاثیر مقدار و تغییرات نمایه‌های حدی دما و بارش در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بشر، مانند انرژی، کشاورزی، محیط زیست، مدیریت منابع آب، طراحی ساختمان ضرورت دارد که تاثیرات این رویدادهای حدی اقلیمی در برنامه ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد.

افزایش درجه حرارت در منطقه می‌تواند منجر به افزایش سرعت حداکثر باد در منطقه شود که در بررسی روند سرعت باد حداکثر، این روند در اغلب ایستگاه‌ها مشاهده شد و تغییرات افزایشی در روند این دو می‌تواند در ارتباط با کاهش حداکثر رطوبت نسبی که در نتایج مشاهده شد، باشند.

در بررسی همه شاخص‌های بارش در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی و منفی بارش وجود داشت. اگرچه تعداد کمی روند معنادار در طول دوره مورد مطالعه مشاهده شد. مقایسه پرباران‌ترین و کم‌بارترین سال‌ها نشان می‌دهد که دامنه نوسانات بارش از

منابع

- 1- Aguilar E., Peterson T.C., Obando P.R., Frutos R., Retana J.A., Solera M., Soley J., Gonzalez Garcia I., Araujo R.M., Rosa Santos A., Valle V.E., Brunet M., Auilar L., Alvarez L., Bautista M., Castaillon C., Herrera L., Ruano E., Sinay J.J., Sanchez E., Hernandez Oviedo G.I., Obed F., Salgado J.E., Vazquez J.L., Baca M., Gutierrez M., Centella C., Espinosa J., Martinez D., Olmedo B., Ojeda Espinoza C.E., Nunez R., Haylock M., Benavides H., Mayorga R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J Geophys Res.* 110, D23107. doi:10.1029/2005JD006119.
- 2- Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Ambenje P., Rupa Kumar K., Revadekar J.V., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez-Aguirre J.L. 2006. Global Observed Changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, DOI: 10.1029 / 2005JD006290.
- 3- Ardakani M R., Hadj Seyed Hadi M R., Notghi Taheri H. 2005. Introduction to agrometeorology. Ghalamestan Honar. Tehran.

- 4- Choi G., Kwon W.T., Boo K.O., Cha Y.M. 2008. Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 43: 681-700.
- 5- Choi G., Collins D., Ren G., Trewin B., Baldi M., Fukuda Y., Afzaal M., Pianmana T., Gomboluudev P., Huang P.T.T., Lias N., Kwon W.T., Boo K.O., Cha Y.M and Zhou Y. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007. *Int. J. Climatol.* 29: 1906-1925.
- 6- Christidis N., Stott P.A., Brown S., Hegerl G.C., Caesar J. 2005. Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophys Res Lett.* doi: 10.1029/2005GL023885.
- 7- Im E. S., Jung I. W., Bae D. H. 2011. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology*. Volume 31(1): 72-86.
- 8- IPCC.1995.ClimateChange1994,In: Houghten J.T., Meira Filho L G., Bruce J.P., Lee H.,Callender,B.T., Haites E.F., Harris.
- 9- IPCC. 2001. Climate Change 2001. Synthesis Report, A Contribution of Working Groups. I, II and III to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Watson and the Core Writing Team (eds)". Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- 10- IPCC. 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis, A Contribution of Working Groups. I, to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon and the Core Writing Team (eds)". Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- 11- Mondal A., Kundu S., Mukhopadhyay A.2012. Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test : a case study of north-eastern part of Cuttack District, Orissa. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2 (1): 70-78.
- 12- Maryanj. Z., Marufi s., Abbasi H. 2009. Detection the trends of the flow rate and its relationships with meteorological parameters in Yalfan Hamedan basin using Mann- Kendall test .*Third Water Resources Management*. (in Persian)
- 13- Mónica S., Santos F.2011. Trends in extreme daily precipitation indices in Northern of Portugal. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 13, EGU2011-11285.
- 14- Mohamadi H.,Taghavi F. 2005. The trend of extreme temperature and precipitation indices in Tehran. *Journal Of Geographical Research*. 53(2):151-172. (in Persian with English abstract)
- 15- Rezaei Banafshe M., Sarafruze F., Jalali T.2012. The Study of Daily Extreme Temperature and Precipitation in Urmia Lake Basin. *Journal of Geography and Planning*. 16(28):42-74. (in Persian with English abstract)
- 16- Raziie,T., Daneshkar Araste P., Saghafian B.2005. Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran. *Journal Of Water and Wastewater*. 16(2) :73-81. (in Persian with English abstract)
- 17- 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.
- 18- Shahid, S., 2011. Trends in extreme rainfall events of Bangladesh. *Theoretical Applied Climatology*, 104: 489-499.
- 19- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143, Geneva: 192 pp.
- 20- Sohrabi M.M., Jae H.R., Abatzoglou John., John Tracy.2012. Climate extreme and its linkage to regional droughtover Idaho, USA. *Natural Hazards*, 65(1):653-681.
- 21- Taghavi F., Mohamadi H.2007. Investigation of return period of extreme climate events to identify the environmental consequences. *Journal of Environmental Studies*. 33(43):11-20. (in Persian with English abstract)
- 22- Zhang X., Aguilar E.,Sensoy S., Melkonyan H., Tagiyeva U., Ahmed N., Kutaladze N., Rahimzadeh F., Taghipour A., Hantosh T. H., Albert P., Semawi M., Karam Ali M., Said Al-Shabibi M.H., Al-Oulan Z., Zatarı., Khelet I.A.D., Hamoud S., Sagir R., Demircan M., Eken M., Adiguzel M., Alexander L., Peterson T.C., Wallis . 2005, Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110. D22104, doi:10.1029/2005JD006181.
- 23- Zhang X. 2007. "ETCCDI/CRD climate change indices software", Jan 1, 2007, Climate Research Division of Environment Canada, [ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI /software.shtml](http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml).
- 24- Yilmaz A.G. 2014. The effects of climate change on historical and future extreme rainfall in Antalya, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*.doi:10.1080/02626667 .2014.945455.

Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran

S. Kouzegaran¹ - M. Mousavi Baygi^{2*}

Received: 01-11-2014

Accepted: 03-03-2015

Introduction: Over the past hundred years, human activity has significantly altered the atmosphere and increase of concentration of greenhouse gases lead to warm the earth's surface. This global warming leads to change of climatic extreme index and increases the intensity and frequency of occurrence of extreme climate events. Investigation of extreme values for planning and policy for the agricultural sector and water resource management is important. In this study, a comprehensive review of extreme indices of temperature and precipitation are discussed. This paper aims to investigate extreme temperature and precipitation indices defined in accordance with CCL, and the study of other climatic parameters in the North East of Iran.

Materials and Methods: In this research, statistics and data of some stations in the North East of Iran during the period 1992-2012 were used. To evaluate the extreme climate indices trend, 27 indices of rainfall and temperature, were defined by the *ETCCDMI*. They were calculated by RCLindex software. In this software, prior to the index calculation, data by quality control software became quantitative and incorrect data were controlled and outlier data were examined. The indices were calculated by daily data. 11 rainfall and 16 temperature indices were calculated by this software. The target of the *ETCCDMI* process is to delineate a standardized set of indices allowing for comparison across regions. These extreme indices were classified in five categories which included the percentile-based extreme indices, the absolute extreme indices, the threshold extreme indices, the periodic extreme indices, and the other indices. They were estimated at the 0.05 significant levels. The *Mann-Kendall* test was used to investigate the climatic parameters, maximum relative humidity, sunshine duration and maximum wind speed.

Results and Discussion: Thermal analysis results are consistent with warming patterns, and they have showed that hot extremes indices have increased. Hot days index (SU25), shows a significant positive trend in all studied stations. Number of tropical nights has a positive trend in all stations. Hot day frequency (TX90P) and hot night frequency (TN90P) in all stations show a positive trend, indicating an increase in the number of warm days and nights. Cold extreme indices show a decreasing trend. (TX10P) and (TN10P) show significant negative trends in all stations and indicate a decrease in cold days and nights. Number of frost day index shows a decreasing trend. Overall, the results revealed a decrease in the severity and frequency of cold events, while warm events during the study period were significantly increased. These results are consistent with the results of the Intergovernmental Panel on Climate Change and global and regional studies. Rising temperatures could lead to increase in the maximum wind speed in the area. In the study of the maximum wind speed process, this trend was observed in most stations, and incremental changes can be associated with a reduction in the maximum relative humidity (which was observed in the results). The sunshine hour parameter depicted a decreasing trend in the most station trend. In the study of all rainfall indices in all studied stations there were a decreasing and negative trend for rainfall, although few significant trends over time were observed. Comparison of years with the highest rainfall and those with the lowest, showed that the amplitude of fluctuations in precipitation in different years is very high and the distribution of rainfall at distinct stations is different. In general, due to the high dispersion and low rainfall in most stations, providing a clear and uniform regional rainfall pattern is not possible. Due to the effects of temperature and precipitation extreme indices in a wide range of human activities, such as agriculture, water management and building design, it is necessary to consider the effects of these extreme climatic events in the future planning and policies in different sectors.

1,2 - PhD Student and Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: mousavib@um.ac.ir)

Conclusion The results showed that hot extreme indices, such as summer day index, the number of tropical nights, warm days and nights have increased, while, in the period of study, cold extreme indices have decreasing trend, which shows a decrease in the severity and frequency of cold events. The trend of the maximum wind speed was increased in most stations. Rainfall indices show decreasing and negative trends, although over the studied period few significant trends were observed.

Keywords: Climatic parameters, Rainfall indices, Temperature indices, Trend