

## بررسی روند رویدادهای اقلیمی حدی در استان خراسان جنوبی

الهام عابدینی<sup>۱</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۲\*</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup>، یحیی سلاح ورزی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶

### چکیده

در سال‌های اخیر توجه به رویدادهای حدی (خشک‌سالی‌ها، سیل‌ها و امواج شدید گرمایی)، نه تنها به علت پیامدهای آن در بخش کشاورزی بلکه به منزله نشانگرهای تغییر اقلیم، اهمیت زیادی پیدا کرده است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای منجر به گرمایش جهانی و در نتیجه، تغییر در الگوی وقوع رویدادهای حدی اقلیمی شده است. در این پژوهش، ۲۸ نمایه معرف وقایع حدی پیشنهادی پروژه مشترک مابین سازمان جهانی هواشناسی، کمیسیون اقلیم‌شناسی، گروه تغییرپذیری و پیش‌بینی پذیری اقلیم و برنامه تحقیقات جهانی در زمینه پیش و آشکارسازی تغییر اقلیم از سری‌های زمانی روزانه دما و بارش ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان خراسان جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ محاسبه شدند. سپس، آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی وجود و یا عدم وجود روند نمایه‌های حدی به کار رفت. نتایج نشان دادند که روند افزایش نمایه‌های حدی گرم و کاهش نمایه‌های حدی سرد در اکثر ایستگاه‌ها مشهود است به طوری که نمایه تعداد روزهای تابستانی که دمای حداکثر هوا بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس است (SU25)، در کلیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و نمایه شب‌های سرد (TN10P) در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است. همچنین به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه‌ای مشخصی قابل ارائه نیست ولی در کلیه ایستگاه‌ها روند کاهش بارش وجود دارد، به طوری که بارش‌های بالاتر از یک میلی‌متر در شمال و مرکز استان دارای روند کاهشی معناداری می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دما، بارش، خراسان جنوبی

### مقدمه

(AR4)<sup>۶</sup> افزایش جهانی تواتر طوفان‌های حدی را به علت گرم شدن کره زمین مورد تأکید قرار داده است. علاوه بر این، بر اساس شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیمی با سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، ادامه این روند در قرن بیست و یکم بسیار محتمل و بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است (Alizadeh Pahlavan and Zahrai, 2014). در سال‌های اخیر، مطالعه تغییرات اقلیمی به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط در صدد آشکارسازی نوسان در متوسط طولانی‌مدت نشانه‌های اقلیمی است، اما مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی اقلیمی نیز مهم است (Abaurrea, 2001). مشخصه اصلی تغییرات اقلیمی جابجایی میانگین پارامترهای اقلیمی و افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های

تغییرات طبیعی که در جو زمین اتفاق می‌افتند یکی از مشخصه‌های تغییرات اقلیمی جهانی هستند که در مقیاس کوتاه‌مدت و بلندمدت به وقوع می‌پیوندند. اکثر اقلیم‌شناسان بر این باورند که نوسانات اقلیمی کوتاه‌مدت و بلندمدت حوادثی تصادفی نیستند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۵</sup> در گزارش ارزیابی چهارم خود

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
<sup>۲</sup> آستاد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
(\*) نویسنده مسئول: [mousavib@um.ac.ir](mailto:mousavib@um.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2020.161913.1051

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

<sup>۴</sup> استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

<sup>۶</sup> Fourth Assessment Report

<sup>۵</sup> United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change

حالی که روزهای یخبندان، روزها و شب‌های سرد کاهش یافته‌اند. اغلب روندها در سطح ۹۵ درصد معنادار بودند و روند بارندگی سالانه در مناطق شمالی افزایشی و در مناطقی از جنوب کاهش یافته است. Sohrabi et al., (2012) در مطالعه‌ای به بررسی نمایه‌های حدی اقلیمی و ارتباط آن‌ها با خشک‌سالی منطقه آیداهو در آمریکا، پرداخته و 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. Mondal et al., (2012) روند بارش را با آزمون من-کندال در منطقه اوريسا در شرق کشور هندوستان طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان‌گر روند افزایش بارش در این منطقه بود. Toros et al., (2019) تغییرات منطقه‌ای دماهای حدی را در ۱۵ ایستگاه هواشناسی واقع در مناطق دریایی کشور ترکیه طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۶۱ بررسی کردند که نتایج نشان داد در کلیه ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در مناطق ساحلی روند افزایش بیش‌تری در طول مدت بازه گرم برای عرض جغرافیایی پایین‌تر و همچنین کاهش بیش‌تر در طول مدت بازه سرد برای عرض جغرافیایی بالاتر وجود دارد. به دلیل این رفتار این ایستگاه‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند به طوری که در منطقه ساحلی جنوبی با آب و هوای گرم دامنه دمای روزانه به اندازه کافی برای فرایند تولید کشاورزی کافی نیست و در نتیجه، طول فصل رشد در منطقه ساحلی جنوبی در مقایسه با منطقه ساحلی شمالی طی دهه‌های گذشته ۱ روز افزایش یافته است. Najafi et al., (2018) اثرات تغییر اقلیم بر هشت نمایه Climdex و با استفاده از داده‌های مشاهداتی شبکه‌بندی شده کنسرسیوم اقیانوس اطلس و مدل CanESM2-LE و سناریوی RCP8.5 بر تغییرات دما و بارش چهار حوضه در غرب کانادا از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۸۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که شدت و فراوانی رویدادهای حدی در غرب کانادا افزایش می‌یابد. البته عدم اطمینان در تغییرات اقلیمی نیز در یافته‌های حاصل در حال افزایش بود. Guo et al., (2019) نیز تغییرات طولانی‌مدت نمایه‌های حدی در ۷۰ ایستگاه هواشناسی در شمال شرقی چین را در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که روزها و شب‌های گرم روند رو به افزایشی دارند و

حدی اقلیمی است (WMO, 1998<sup>۱</sup>). مشخصاً بروز و تشدید پدیده‌های حدی مثل طوفان‌های سهمگین، خشک‌سالی‌های شدید، یخبندان‌ها و سرمازدگی‌های نابهنگام و رویدادهای دیگر، نتیجه چنین تغییراتی است که ما را در مواجهه با تهدیدی جهانی به یقین رسانده است. رویدادهای حدی اقلیمی پدیده‌هایی هستند که فراوانی و شدت آن‌ها کم است ولی از آنجایی که زیست‌بوم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی نرمال تنظیم شده‌اند، در زمان بر هم خوردن این شرایط، باعث بروز آشفتگی وضعیت نرمال می‌شوند که بیش‌ترین آثار آن بر محیط‌های طبیعی و به خصوص گیاهان که دارای قدرت و سرعت کم سازگاری هستند، می‌باشد (Esmaili et al., 2011). پروژه مشترکی در چهارچوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی، بین گروه اقلیم‌شناسی (CCL)<sup>۲</sup>، تغییرپذیری و پیش‌بینی‌پذیری اقلیم (CILVAR)<sup>۳</sup> و برنامه تحقیقات جهانی (WCRP)<sup>۴</sup> 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 نرم‌افزار مانند Climdex و RCLimdex است (Zhang, 2007). لذا تحقیقات زیادی به وسیله این نرم‌افزارها در سراسر جهان صورت گرفته است. از جمله Christidis et al., (2005) 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. Im et al., (2011) به بررسی ساختار فضایی و زمانی روندهای حال و آینده نمایه‌های حدی اقلیمی در کشور کره جنوبی طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و داده‌های بارش پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نمایه‌ها بر اساس دمای حداقل تغییر فراوانی به سمت گرم‌تر شدن دارند. هم‌چنین نمایه‌های مربوط به فراوانی و شدت بارش‌های سنگین افزایش معنی‌داری داشت. Sensoy et al., (2013) به بررسی روند نمایه‌های 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

<sup>1</sup> World Meteorological Organization

<sup>2</sup> Commission for Climatology

<sup>3</sup> Climate Variability and Predictability

<sup>4</sup> World Climate Research Programme

۱۵۱۱۹۳ کیلومترمربع دارد و در محدوده  $30^{\circ}$  و  $31^{\circ}$  تا  $33^{\circ}$  و  $53^{\circ}$  عرض شمالی و  $57^{\circ}$  و  $3^{\circ}$  تا  $61^{\circ}$  و  $00^{\circ}$  طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاعات خراسان جنوبی امتداد شمالی - جنوبی دارند و بلندترین نقطه استان قله باقران با ارتفاع ۳۶۱۵ متری و پست‌ترین منطقه در دشت کویر با ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. استان خراسان جنوبی از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب‌وهوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. تفاوت ارتفاع بین مناطق کوهستانی و پست استان باعث به وجود آوردن شرایط آب‌وهوایی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب‌وهوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی شده است (Abedini et al., 2011).

### روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های روزانه دما و بارش ۱۲ ایستگاه هواشناسی واقع در خراسان جنوبی در دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۶ استفاده شد که دارای شرایط اقلیمی متفاوتی هستند (جدول ۱). برای محاسبه ۲۷ نمایه حدی که توسط گروه کارشناسی  $ETCCDM^2$  تعریف شده از نرم‌افزار RCLimindex در محیط زبان برنامه‌نویسی R که دارای محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری و تحلیل داده است، استفاده شد و قبل از محاسبه نمایه‌ها، داده‌ها توسط نرم‌افزار RCLimindex کنترل کیفی و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و یا بزرگ‌تر یا مساوی بودن دمای حداقل از حداکثر بررسی و اصلاح شدند. ده نمایه بارندگی و ۱۷ نمایه دما توسط این نرم‌افزار در مقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه می‌شود که این نمایه‌های حدی در ۵ دسته شامل نمایه‌های حدی مبتنی بر صدک‌ها، نمایه‌های حدی مطلق، نمایه‌های حدی آستانه‌ای، نمایه‌های حدی دوره‌ای و سایر نمایه‌ها مانند دامنه تغییرات می‌باشند. جدول ۲ نمایه‌های حدی دما و بارش معرفی شده توسط گروه CCL/CLIVAR را نشان می‌دهد. جهت بررسی وجود روند و تعیین نوع آن، شناسایی روندهای مقطعی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند از روش من-کندال استفاده شد. از این روش به طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به کاربردی بودن آن برای سری‌های زمانی که از توابع آماری

در بارش‌های شدید تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای دیده نشد. Taghavi (2010) ارتباط بین رویدادهای حدی و تغییرات اقلیمی ۱۶ ایستگاه سینوپیک کشور که هرکدام نماینده اقلیم منطقه اطرافش بود را با استفاده از بسته نرم‌افزاری ECIS<sup>1</sup> بررسی کرد. نتایج مبین افزایش قابل‌توجهی در تعداد روزها و شب‌های خیلی گرم و کاهش در دامنه دمایی حدهای سالانه بود. این نتایج فراوانی رویدادهای حدی اقلیمی مانند خشکسالی و طولانی شدن امواج گرم را در اکثر نواحی اقلیمی ایران تأیید می‌کند. به طور کلی بر اساس نتایج، تغییر در روند نمایه‌های حدی در ایران بارز است و نشانه‌های روشنی از تغییر اقلیم وجود دارد. Mohamadi and Taghavi (2005) به بررسی روند نمایه‌های حدی بارش و دمای تهران در دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ با استفاده از سری‌های زمانی روزانه دمای حداکثر، حداقل و متوسط روند افزایشی داشته است. Kouzegaran and Mousavi Baygi (2015) رویدادهای حدی اقلیمی را در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که نمایه‌های حدی گرم روند افزایشی دارند که این روند برای نمایه‌هایی مانند روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای، روزها و شب‌های گرم معنادار بود. نمایه‌های حدی سرد در دوره مورد مطالعه روند کاهشی داشتند که نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادها و روزها و شب‌های سرد است. با توجه به افزایش سرمازدگی‌ها، گرم‌زدگی‌ها و بارش‌های سیل‌آسا در استان خراسان جنوبی در این پژوهش علاوه بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک از داده‌های ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی نیز جهت بررسی وضعیت روند نمایه‌های حدی دما و بارش مطابق با استاندارد تعریف شده CCL/CLIVAR استفاده شده است تا با دقت بیشتری به ارزیابی مناطق پرخطر در استان پرداخته شود و در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی این مناطق پرخطر در اولویت قرار بگیرند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان خراسان جنوبی واقع در شرق کشور است که مساحتی در حدود

<sup>2</sup> Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

<sup>1</sup> Extreme Climate Index Software

خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. از نقاط قوت این روش می‌توان به کاربردی بودن آن برای سری‌های زمانی خاص پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. از توابع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود.

**Table 1- The geographical characteristics of the weather stations located in the study area**

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه

Station type	Station	Longitude (degree)	Latitude (degree)	Elevation (m)
Synoptic	Birjand	59.3	32.9	1494
Synoptic	Ghaen	59.3	33.7	1432
Synoptic	Nehbandan	60.1	31.9	1188
Synoptic	Ferdows	58.3	34.1	1293
Synoptic	Tabas	56.9	33.6	711
Synoptic	Boshrooye	57.4	33.9	879
Synoptic	Khoor	58.8	33.5	1080
Climatology	Ariyan Shahr	59.4	33.6	1600
Climatology	Fathabad	58.6	34.2	1840
Climatology	Eresk	57.6	34.2	1240
Climatology	Asadie	60.0	33.5	1500
Climatology	Mohammad Shahr	59.0	32.9	1410

**Table 2- Temperature and Precipitation indices recommended by expert group CCL / CLIVAR**

جدول ۲- نمایه‌های حدی دما و بارش توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL / CLIVAR

No.	Index	Definition	Units
1	FD	Annual count of days when TN (daily minimum) temperature) < 0°C	days
2	SU25	Annual count of days when TX (daily maximum) temperature) > 25°C	days
3	ID	Annual count of days when TX (daily maximum temperature) < 0 °C	days
4	TR20	Annual count of days when TN (daily minimum temperature) > 20 °C	days
5	TXx	Monthly maximum value of daily maximum temperature	° C
6	TNx	Monthly maximum value of daily minimum temperature	° C
7	TXn	Monthly minimum value of daily maximum temperature	° C
8	TNn	Monthly minimum value of daily minimum temperature	° C
9	GSL	The length of the growing season	days
10	TX90 P	Percentage of days when TX > 90th percentile	days
11	TN90 P	Percentage of days when TN > 90th percentile	days
12	TX10 P	Percentage of days when TX < 10th percentile	days
13	TN10 P	Percentage of days when TN < 10th percentile	days
14	DTR	Daily temperature range	° C
15	CSDI	Cold spell duration index: annual count of days with at least 6 consecutive days when TN < 10th percentile	days
16	WSDI	Warm spell duration index: annual count of days with at least 6 consecutive days when TX > 90th percentile	days
17	Rx1 day	Monthly maximum 1-day precipitation	mm
18	Rx5day	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	mm
19	SDII	Simple daily intensity index RRij >= 1mm	mm/day
20	R10mm	Number of heavy precipitation days RRij >= 10mm	days
21	R20mm	Number of very heavy precipitation days RRij >= 20mm	days
22	Rnn mm	Annual count of days when PRCP ≥ nn mm, where nn is a user-defined threshold	days
23	CDD	Maximum length of dry spell: maximum number of consecutive days with RR < 1mm	days
24	CWD	Maximum length of wet spell: maximum number of consecutive days with RR ≥ 1mm	days
25	R95p	Annual total PRCP when RR > 95th percentile Extremely wet days	mm
26	R99p	Annual total PRCP when RR > 99th percentile	mm
27	PRCPTOT	Annual total precipitation on wet days	mm

معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است. جهت شناسایی روندهای موجود، نقاط جهش و نقاط شروع، از نمودار سری زمانی نمایه‌های محاسبه شده استفاده می‌شود. به این ترتیب که سری‌های آماری به صورت صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. برای محاسبه  $U(t)$  و  $U'(t)$  ابتدا هر ۲۷ متغیر رتبه‌بندی می‌شوند. سپس تعداد اعداد بزرگ‌تر از هر رتبه به طرف ردیف‌های بالاتر از ردیف خود محاسبه می‌شود که این مرحله  $t_i$  نامیده می‌شود.

از نقاط قوت این روش می‌توان به کاربردی بودن آن برای سری‌های زمانی که از توابع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود نیز از دیگر مزایای این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها دارد (Kendall et al., 1983). این آزمون توسط WMO (1988) پیشنهاد شد و در بررسی

که به عنوان گرم‌ترین ایستگاه در بین ایستگاه‌ها شناخته شده است. تعداد شب‌های حاره‌ای که دمای حداقل روزانه بالاتر از ۲۰ درجه سلسیوس بوده است (TR20) فقط در آرین شهر، فردوس و ارسک دارای روندی افزایشی و در دو شهر کوهستانی بیرجند و قائن با متوسط ۳۳ و ۱۱ روز، دارای روند معنادار کاهشی می‌باشد (شکل ۲).

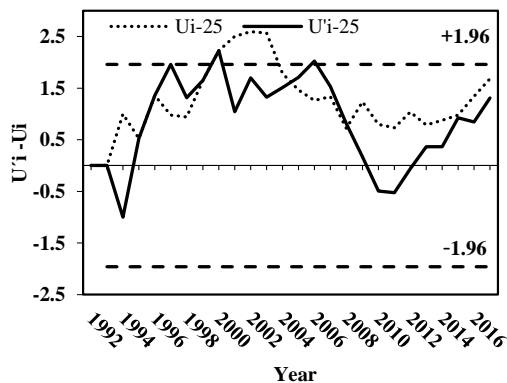


Figure 1- U, U' SU25 diagrams for the Fathabad station  
شکل ۱- نمودارهای U(t) و U'(t) SU25 برای ایستگاه فتح‌آباد

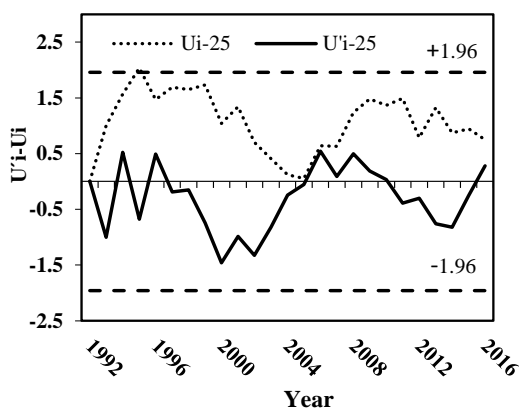


Figure 2- U, U' TR20 diagrams for the Birjand station  
شکل ۲- نمودارهای U(t) و U'(t) TR20 برای ایستگاه بیرجند

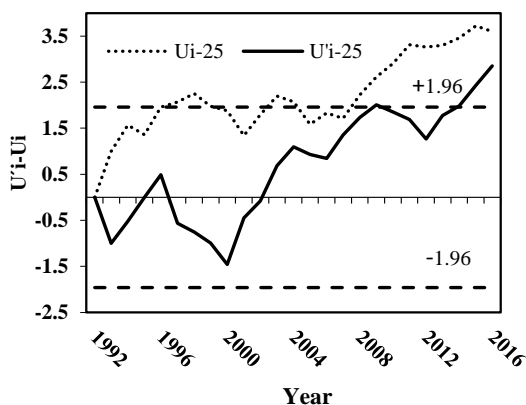


Figure 2- U, U' TR20 diagrams for the Ghaen station  
شکل ۳- نمودارهای U(t) و U'(t) TR20 برای ایستگاه قائن

$$t_i = \sum_{i=1}^n n_i \quad (1)$$

که تابع توزیع آن در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است. سپس تابع توزیع  $E_i$  از معادله ۲ محاسبه می‌گردد.

$$E_i = \frac{n \times (n-1)}{4} \quad (2)$$

که در آن  $n$  شماره ردیف هر متغیر است. برای محاسبه واریانس از معادله ۳ استفاده می‌شود.

$$V_i = \frac{n \times (n-1) \times (2n+5)}{72} \quad (3)$$

در مرحله پنجم تراکم تجمعی  $t_i$  محاسبه می‌شود که  $Z_{t_i}$  نام دارد. مقادیر  $U(t)$  از معادله ۴ قابل محاسبه است.

$$U_t = \frac{Z_{t_i} - E_i}{V_i^{0.5}} \quad (4)$$

تا این شش مرحله فقط محاسبات  $U(t)$  است و کلیه این مراحل بایستی برای محاسبه  $U'(t)$  نیز تکرار شود. در این روش، مقادیر متوالی از مقدار  $U(t)$  و  $U'(t)$  حاصله از آزمون من-کندال به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند که اگر مقادیر  $U(t)$  و  $U'(t)$  از منحنی‌ها چندین بار روی همدیگر قرار بگیرند، روند یا تغییری وجود نخواهد داشت. ولی در جایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند، محل شروع روند یا تغییرات به صورت تقریبی به نمایش گذاشته می‌شود. اگر منحنی‌ها یکدیگر را در داخل محدوده بحرانی قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی یکدیگر را قطع کنند، بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (Sneyers, 1990).

## نتایج و بحث

پس از محاسبه کلیه نمایه‌ها و رسم نمودارهای  $U(t)$  و  $U'(t)$  مربوط به آن‌ها نتایج به شرح زیر به دست آمدند.

### نمایه‌های حدی گرم

نمایه‌های حدی گرم شامل SU25, TX90P, TR20, TX10P, TN90P, WSDI, TNx و TXx می‌باشد (جدول ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که نمایه تعداد روزهای تابستانی که دمای هوا بالای ۲۵ درجه سلسیوس است (SU25) در کلیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بوده و حتی این روند در ایستگاه فتح‌آباد دارای روند معنادار افزایشی با دو جهش در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ می‌باشد (شکل ۱). متوسط این نمایه در طبس ۲۲۷ روز بوده است

سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۸ دارای روند معنادار کاهش است. تعداد روزهای یخی دمای حداکثر روزانه (IDO) به غیر از سه ایستگاه آراین شهر، اسدیه و قائن در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است که البته این افزایش بسیار کم است. همچنین نمایه شب‌های سرد (TN10P) فتح‌آباد و خور در حال افزایش است. نمایه درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (TX10P) در ایستگاه‌های بیرجند و قائن دارای روند معنادار کاهش و در ایستگاه‌های فردوس و اسدیه نیز روندی مثبت دارد. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نمودار روند کاهش معنادار در ایستگاه‌های ارسک و محمدشهر را نشان می‌دهند. همچنین نمایه کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn) در آراین شهر، فردوس، قائن و نهبندان دارای روندی افزایشی و نمایه کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) در ارسک، فتح‌آباد، خور و نهبندان روندی کاهش دارند. شکل ۷ نتایج تغییرات روند در ایستگاه‌های مورد مطالعه را برای نمایه‌های حدی سرد نشان می‌دهد.

ایستگاه قائن همراه با یک جهش، دارای روند کاهش از سال ۱۹۹۷ است (شکل ۳). درصد شب‌های گرم (TX90P) در اسدیه با متوسط ۱۰/۲ درصد دارای روندی کاهش و نمایه طول مدت گرما (WSDI) در فتح‌آباد روند افزایشی معناداری دارد. نمایه بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx) در اسدیه و طبس نیز دارای روندی کاهش و بیشینه ماهانه حداقل روزانه (TNx) در فردوس با متوسط ۱۳/۲ روز دارای روند افزایشی معنی‌دار و در نهبندان و بیرجند با متوسط ۱۱/۷ و ۱۴/۳ روندی کاهش دارد. شکل ۴ نتایج تغییرات روند در ایستگاه‌های مطالعاتی در استان خراسان جنوبی را برای نمایه‌های حدی گرم نشان می‌دهد.

### نمایه‌های حدی سرد

نمایه‌های حدی سرد شامل FD, IDO, TN10P, TX10P, TXn, GSDL و TNn می‌باشند (جدول ۴). نمایه تعداد روزهای یخبندان دمای حداقل روزانه (FD) در بشرویه، خور و نهبندان روند افزایشی، در محمدشهر با دو جهش در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۱۳، و ارسک با دو جهش در

Table 3-Average of Warm Extreme indices in the period of 1992-2016

جدول ۳- متوسط نمایه‌های حدی گرم در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۶

Station	SU25	TR20	TX90P	TN90P	WSDI	TNx	TXx
Birjand	193.2	33.0	10.4	10.3	5.4	14.3	45.1
Ghaen	171.0	11.0	10.8	10.2	3.7	15.3	39.5
Nehbandan	217.4	106.3	10.6	10.0	6.3	11.7	43.1
Ferdows	188.6	65.4	10.0	10.3	4.9	13.2	41.6
Tabas	227.0	152.6	11.5	10.7	6.3	10.9	47.1
Boshrooye	212.0	87.7	10.5	10.4	4.0	12.5	45.6
Mohammad Shahr	199.4	49.0	10.2	9.9	6.9	27.3	41.9
Ariyan Shahr	178.0	61.0	10.4	10.4	7.5	27.3	39.5
Fathabad	146.6	51.0	10.2	9.3	8.2	13.8	37.4
Eresk	188.3	88.5	11.0	11.5	10.6	12.6	42.3
Khoor	212.4	106.2	10.1	9.1	5.1	12.0	43.8
Asadie	157.7	25.7	10.2	10.1	6.0	14.6	38.9

Table 4 -Average of cold extreme indices in the period of 1992-2016

جدول ۴- متوسط نمایه‌های حدی سرد در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۶

Station	FD	IDO	TX10P	TN10P	GSDL	TXn	TNn
Birjand	70.4	1.0	11.3	11.2	335.4	1.2	-13.7
Ghaen	83.6	2.6	11.3	11.3	316.1	-1.2	-15.0
Nehbandan	32.0	0.3	11.2	10.8	357.2	4.2	-6.9
Ferdows	46.8	1.4	11.2	11.7	337.8	0.8	-9.4
Tabas	8.9	0.0	11.4	11.4	360.2	6.0	-3.5
Boshrooye	48.8	1.2	11.1	10.6	346.7	3.0	-9.5
Mohammad Shahr	55.1	0.4	10.6	11.8	346.3	3.1	-10.5
Ariyan Shahr	58.3	2.2	10.6	11.0	328.6	-1.1	-12.3
Fathabad	47.5	2.9	10.0	11.0	313.1	-1.8	-9.7
Eresk	39.2	2.3	11.2	11.3	347.8	1.5	-7.5
Khoor	34.5	0.3	11.1	10.7	354.7	3.9	-8.2
Asadie	72.1	1.8	11.1	10.5	325.9	-1.1	-12.6

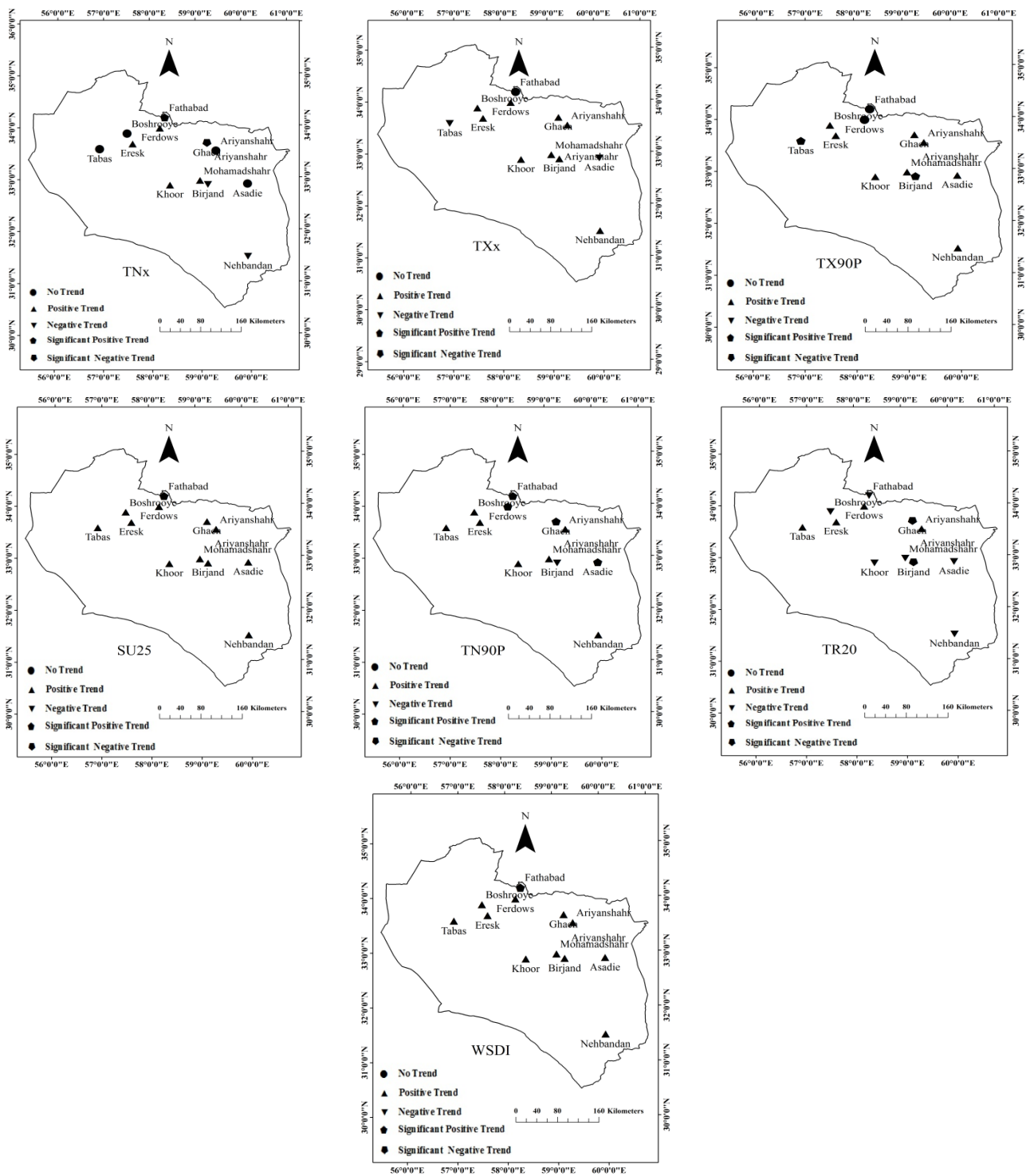


Figure 4- TNx, TXx, TX90P, SU25, TN90P, TR20, and WSDI indices  
 شکل ۴- نمایه‌های TNx, TXx, TX90P, SU25, TN90P, TR20, و WSDI

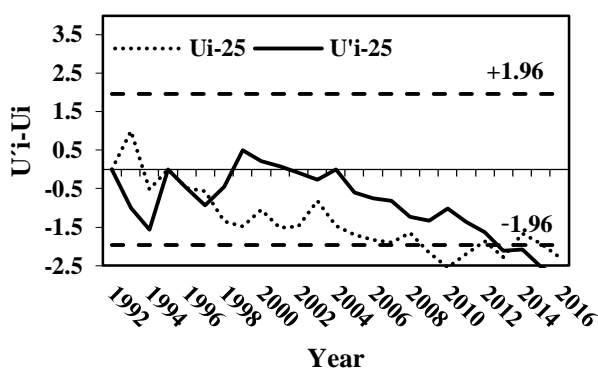


Figure 6-U, U' FDO diagrams for the Mohammadshahr station  
شکل ۶- نمودارهای U(t) و U'(t) برای ایستگاه محمد شهر

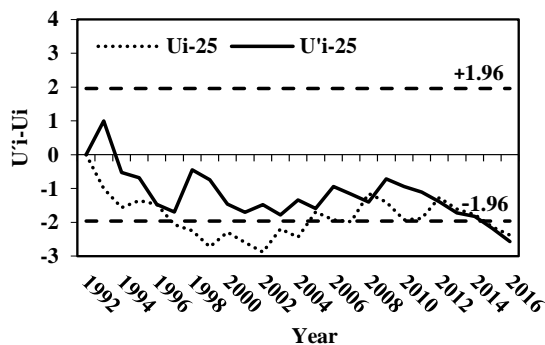


Figure 5-U, U' FDO diagrams for the Eresk station  
شکل ۵- نمودارهای U(t) و U'(t) برای ایستگاه ارسک

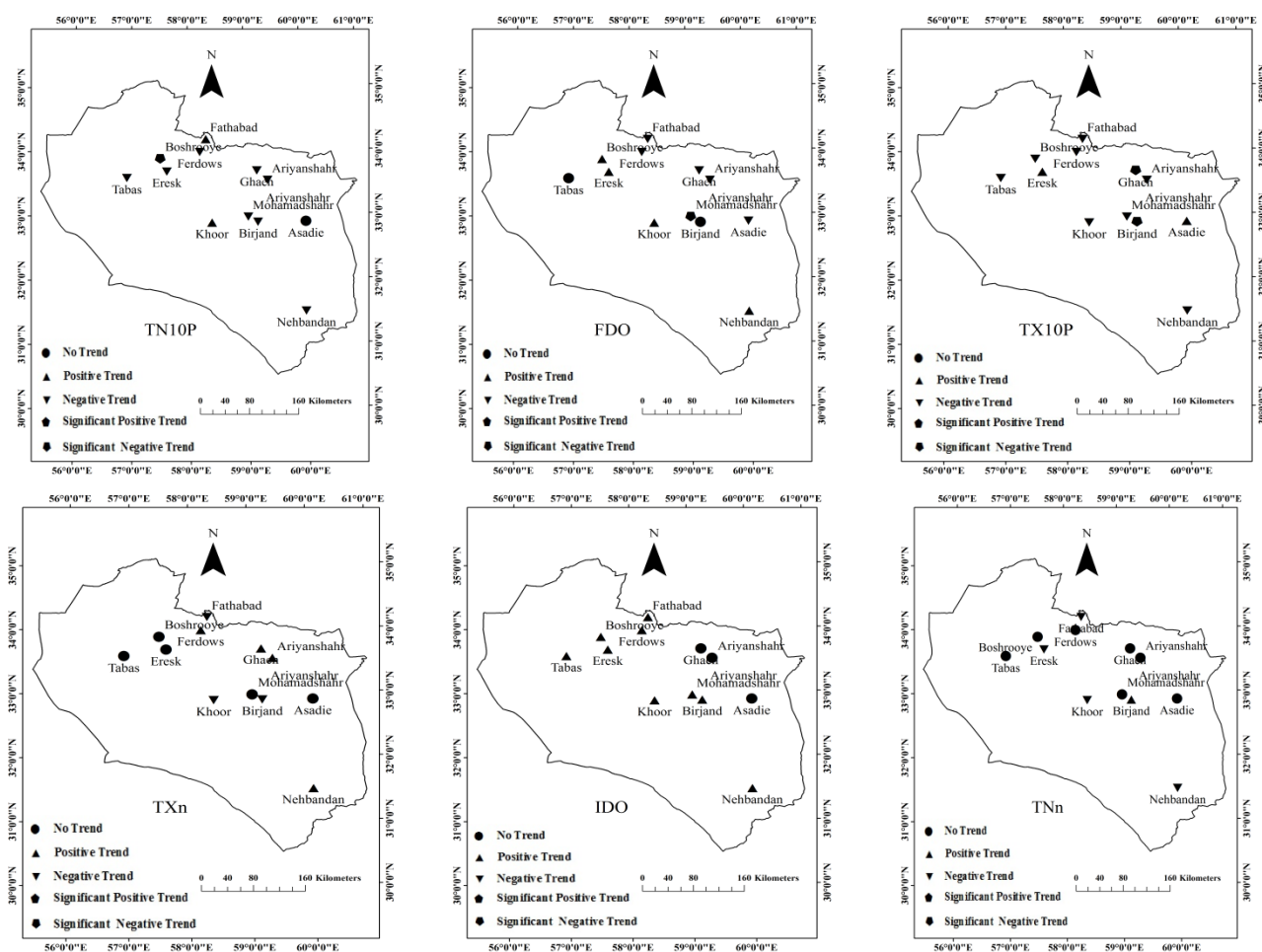


Figure 7- TN10P, FDO, TX10P, TXn, TNn and IDO indices  
شکل ۷- نمایه‌های TNn, TXn, TX10P, FDO, TN10P, IDO و TNn

بود. نمایه طول دوره رویش (GSL) نیز فقط در قائن روندی افزایشی داشت و در آراین شهر، خور، نهبندان و طبس روند کاهشی داشت. این نمایه برای دیگر ایستگاه‌ها معنادار نیست، زیرا در بیشتر مناطق ایران طول دوره رویش بیشتر به بارش بستگی دارد و نمی‌توان تغییرات واقعی طول دوره رویش گیاهان همه مناطق را با این

نمایه‌های دامنه دمایی و طول دوره رویش دامنه تغییرات دمایی (DRT) در مناطق مختلف استان روندهای متفاوتی داشت. این نمایه برای بیرجند، قائن و نهبندان روندی افزایشی و برای خور نیز این افزایش معنادار بود. بالعکس برای آراین شهر، اسدیه، محمدشهر روندی کاهشی و در فردوس و ارسک این کاهش معنادار



متوالی (CDD) در بیرجند، نهبندان، خور، فردوس و فتح‌آباد در حال افزایش است. نمایه (PRCPTOT) مقدار سالانه بارش در روزهای تر می‌باشد. این نمایه نشان می‌دهد که مقدار آن دارای نوسان بوده و از سالی به سال دیگر متفاوت است اما در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معناداری بود که نشان‌دهنده کاهش بارندگی‌ها در سطح ایستگاه‌های استان است. بارندگی‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته و بر تعداد بارش‌ها با شدت زیاد و مدت کم افزوده شده است. روزهای خیلی تر (R95P) در بشرویه، فتح‌آباد، فردوس و محمد شهر کاهش یافته و نمایه حداکثر بارش یک‌روزه (RX1DAY) و نمایه حداکثر بارش پنج‌روزه (RX5DAY) در اکثر ایستگاه روندی کاهشی داشته است. RX1DAY و RX5DAY در ایستگاه‌های بیرجند و محمدیه دارای روند کاهشی معناداری می‌باشند. نمایه ساده شدت روزانه (SDII) در ایستگاه‌های اسدیه، ارسک و فتح‌آباد دارای روند کاهشی معناداری است. شکل ۹ روند تغییرات بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان را نشان می‌دهد.

نمایه بیان نمود. شکل ۸ روند نمایه‌های دامنه دمایی و طول دوره رویش در ایستگاه‌های هواشناسی استان را نشان می‌دهد.

Table 5- Average of diurnal temperature and growth period indices in the period of 1992-2016

جدول ۵- متوسط نمایه‌های حدی دامنه دمایی و طول دوره رویش در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۶

Station	GSL	DRT
Birjand	335.4	16.1
Ghaen	316.1	15.7
Nehbandan	357.2	14.2
Ferdows	337.8	13.6
Tabas	360.2	12.7
Boshrooye	346.7	15.6
Mohammad Shahr	346.3	15.7
Ariyan Shahr	328.6	13.2
Fathabad	313.1	9.9
Eresk	347.8	12.6
Khoor	354.7	14.2
Asadie	325.8	14.8

### نمایه‌های بارش

نمایه‌های طراحی شده بیانگر الگوهای متفاوتی از شدت، مدت و فراوانی بارش‌ها می‌باشند. نمایه روزهای خشک

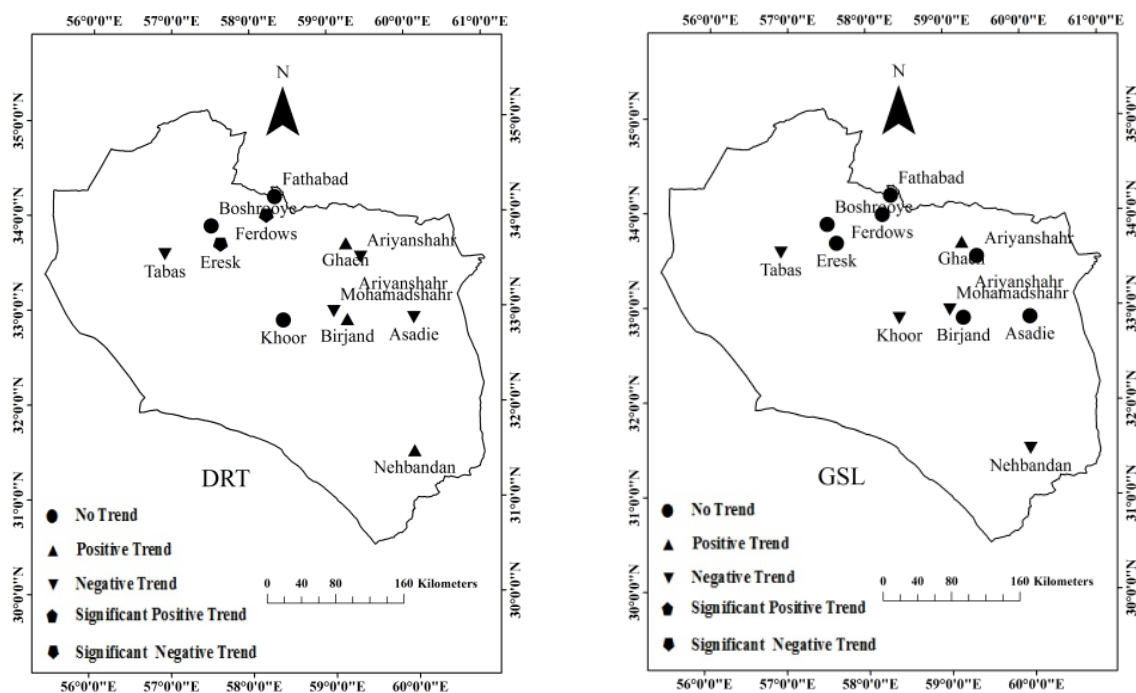


Figure 8- DRT and GSL indices

شکل ۸- نمایه‌های DRT و GSL

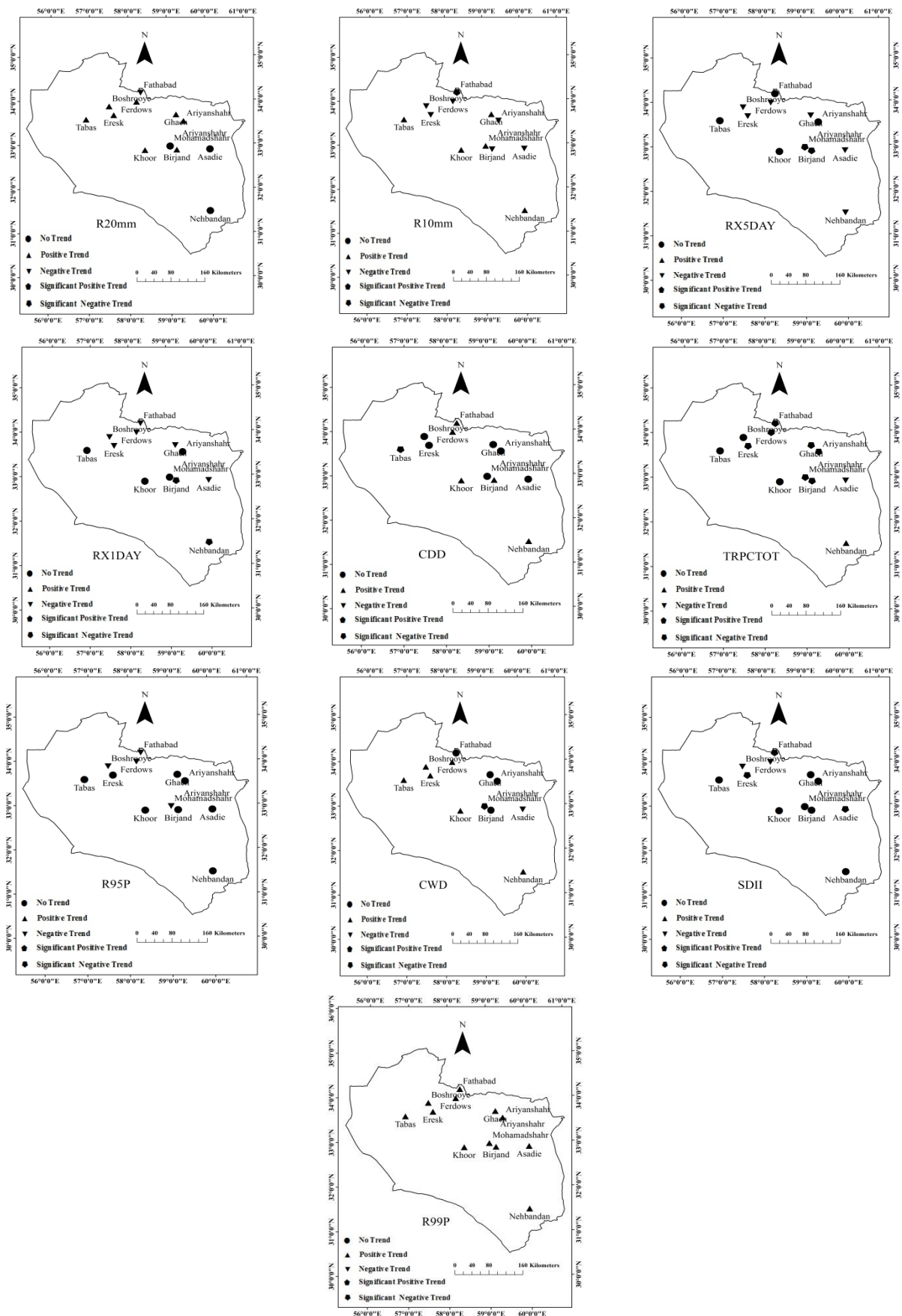


Figure 9- R10mm, R20mm, RX1DAY, RX5DAY, TRPCTOT, CDD, CWD, R95P, R99P and SDII indices  
 شکل ۹- نمایه‌های R20mm, R10mm, RX1DAY, RX5DAY, TRPCTOT, CDD, CWD, R95P, R99P, SDII و R99P

Table 6- Average of precipitation Extreme indices in the period of 1992-2016

جدول ۶- متوسط نمایه‌های حدی بارش در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۶

Station	PRCPTOT	RX1Day	RX5Day	R95P	R99P	CWD	CDD	R10mm	SDII
Birjand	139.4	21.2	33.5	28.2	8.7	3.6	167.3	4.2	5.6
Ghaen	153.8	22.6	32.4	32.8	8.2	3.2	172.7	4.8	5.6
Nehbandan	113.2	25.3	39.5	28.2	7.0	3.3	169.7	3.1	6.2
Ferdows	116.3	18.6	27.8	23.5	7.2	3.1	179.4	2.8	4.9
Tabas	70.5	13.3	17.8	12.0	2.4	2.5	194.0	1.5	4.4
Boshrooye	94.0	16.1	25.1	29.5	12.1	3.6	185.3	2.5	4.9
Mohammad Shahr	146.3	23.7	37.6	32.7	8.4	4.0	172.4	4.5	6.1
Ariyan Shahr	165.1	23.1	36.8	25.4	5.8	3.7	171.0	5.0	6.2
Fathabad	219.4	32.6	51.6	45.0	17.1	3.8	160.4	6.9	6.9
Eresk	88.3	15.0	21.6	17.5	5.4	2.6	169.4	2.1	4.6
Khoor	84.4	17.2	25.6	16.3	3.3	2.7	186.3	2.2	4.7
Asadie	141.9	20.1	34.4	31.3	9.8	4.0	154.4	4.0	4.5

## نتیجه‌گیری

بشرویه روندی افزایشی دارد ولیکن نمایه‌های حدی سرد و بارش آن در حال کاهش است. در ایستگاه فتح‌آباد فردوس که یکی از پرباران‌ترین نقاط استان خراسان جنوبی به شمار می‌آید نمایه حدی مقدار سالانه بارش در روزهای تر دارای روند معنادار کاهشی است و دیگر نمایه‌های بارشی آن نیز در حال کاهش هستند. در فردوس که قطب کشاورزی محصول انار است و باغداران از تغییرات دمایی شدید دچار خسارات زیادی در دهه‌های اخیر شدند تعداد روزهای یخی که دمای حداکثر زیر صفر درجه سلسیوس است و تعداد روزهای سرد آن دارای روندی افزایشی و نمایه حدی مقدار سالانه بارش در روزهای تر دارای روند معنادار کاهشی است. در قائن نمایه‌های حدی سرد و بارش در حال کاهش و نمایه‌های حدی گرم در حال افزایش است. در ایستگاه خور تعداد شب‌ها با دمای بالای ۲۰ درجه سلسیوس و تعداد روزهای سرد کاهش یافته است. ایستگاه‌های طبس و نهبندان نیز دارای شرایط مشابهی هستند که با افزایش نمایه‌های حدی گرم و افزایش نمایه‌های IDO و کاهش بارندگی‌ها مواجه هستند. در ایستگاه محمد شهر که در نزدیکی ایستگاه بیرجند قرار دارد نمایه حدی سرد تعداد روزهای یخبندان (FDO) دارای کاهش معناداری باشد. در مجموع بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند افزایش نمایه‌های حدی گرم و کاهش نمایه‌های حدی سرد در کلیه ایستگاه‌ها مشهود است و به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه‌ای مشخص و یکنواختی قابل‌ارائه نیست ولی آنچه مسلم است این است که در کلیه ایستگاه‌ها روند کاهش بارش وجود دارد. با توجه به تغییر در فراوانی و شدت رویدادهای حدی و آثار مخرب آن در درازمدت بر فعالیت‌های انسانی، محیط‌زیست

روند تغییرات کوچک در شرایط متوسط می‌تواند منجر به تغییرات بزرگ در فراوانی رویدادهای حدی شود و تغییرات در تغییرپذیری فراوانی رویدادهای حدی می‌تواند آثار و آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد (IPCC, 1995; 2013). بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر حدی، حداکثرها و حداقلها، مهم‌تر از شرایط متوسط اقلیمی است. در این مطالعه به بررسی روند رویدادهای حدی در استان خراسان جنوبی پرداخته شده است. در ایستگاه آراین شهر که در منطقه‌ای کوهستانی و سرد قرار گرفته نمایه‌های حدی گرم رو به افزایش و نمایه‌های حدی سرد رو به کاهش است. این در حالی است که نمایه حدی مقدار سالانه بارش در روزهای تر (PRCPTOT) دارای کاهش معنادار و تعداد بارش‌های بالاتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm) نیز کاهش پیدا کرده است. در ایستگاه اسدیه با اقلیم سرد و بیابانی که در شرقی‌ترین نقطه استان و هم‌مرز کشور افغانستان می‌باشد، نمایه‌های شب‌های گرم و روزهای سرد و بارش آن در حال کاهش هستند. در ایستگاه بیرجند که در مرکز استان خراسان جنوبی قرار گرفته است کاهش شدید مقادیر بارش‌ها و نمایه‌های حداکثر بارش یک‌روزه و پنج‌روزه مشاهده می‌شود. همچنین تعداد روزهای گرم آن به‌طور معناداری در حال افزایش و شب‌های سرد آن در حال کاهش هستند. در ایستگاه بشرویه کلیه نمایه‌های حدی گرم و نمایه‌های حدی سرد تعداد روزهای یخبندان (FDO) و تعداد روزهای یخی (IDO) در حال افزایش است. در ایستگاه ارسک نیز که در نزدیکی ایستگاه بشرویه قرار دارد نمایه‌های حدی گرم مشابه ایستگاه

مناسب برای پیشگیری از خسارات توسط مسئولین بررسی شود.

و بخش کشاورزی نیاز به تهیه سناریوهای حدی به منظور کمک به حل مسائل ضروری است و بایستی راهکارهای

### منابع

- Aburreaa, J., Cebrián, C. 2001. Trend and Variability Analysis of Rainfall Series and their Extreme Events. Detecting and Modeling Regional Climate Change, 191-201.
- Abedini, E., Tahhan, M.R., Borhani, R., Kouzegaran, S., Zarei, F., Lotfi, S. 2011. Comparison of Precipitation and Evapotranspiration Indexes in Southern Khorasan Province. The first National Conference on Sustainable Agriculture and the Sustainable Environment. Hamadan, Iran. [In Farsi]
- Alizadeh pahlavan, H., Zahrai, B. 2014. Statistical Downscaling of precipitation with the aim of assessing the effects of climate change on extreme events in urban areas the first climate change conference. Tehran. [In Farsi]
- 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. *Geophysical Research Letters*, 32(20): 1-5.
- Esmaili, R., Gandomkar, A., Ghayoor, H.A. 2011. Zoning of climate changes rate base on agriculture approach in future climatic period (case study Khorasan Razavi province). *Geography and Environmental Planning Journal*, 41(1):35-52. [In Farsi]
- Guo, E., Zhang, J., Wang, Y., Quan, L., Zhang, R., Zhang, F., Zhou, M. 2019. Spatiotemporal variations of extreme climate events in Northeast China During 1960–2014. *Ecological Indicators*, 96: 669–683.
- 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*, 31(1):72–86.
- IPCC. 1995. Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Reports of Working Groups I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, forming part of the IPCC Special Report to the first session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report - Changes to the Underlying Scientific/Technical Assessment" (IPCC-XXVI)/Doc.
- Kendall, M. G., Stuart, A., Ord, J. K. 1983. *The Advanced Theory of Statistics. Vol. 3, Design and Analysis, and Time- Series.* 4th ed. Griffin, 780.
- Kouzegaran, S., Mousavi Baygi, M. 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Journal of Water and Soil*, 29 (3):750-764. [In Farsi]
- Mohamadi, H., Taghavi, F. 2005. The trend of extreme temperature and precipitation indices in Tehran. *Geographical Research*, 53(2):151-172. [In Farsi]
- Mondal, A., Kundu, S., Mukhopadhyay, A. 2012. Rainfall trend analysis by Mann-Kendal test: a case study of north-eastern part of Cuttack District, Orassia. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2 (1):70-78.
- Najafi, M.R., Mahmoudi, M. H., Schoeneberg, A. T., Schnorbus, M. 2018. Changes in Extreme Temperature and Precipitation Events in the Pacific Northwest: Effects of Climate Change and Natural Variability. American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #GC33J-1508.
- 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 (ITU). İstanbul, Turkey.
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note, 143 Geneva: 192.
- Sohrabi, M.M., Jae, H.R., Abatzoglou, J., Tracy, J. 2012. Climate extreme and its linkage to regional drought over Idaho, USA. *Natural Hazards*, 65(1): 653-681.
- Taghavi, F. 2010. Linkage between Climate Change and Extreme Events in Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 36(2):33-43.
- Toros, H., Mokari, M., Abbasnia, M. 2019. Regional variability of temperature extremes in the maritime climate of Turkey: a case study to develop agricultural adaptation strategies under climate change. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3): 857–865.
- World Meteorological Organization (WMO). 1998. *The Global Climate System Review.* No. 856.
- Zhang, X., 2007. ETCCDI/CRD climate change indices software, Jan 1, 2007, Climate Research Division of Environment Canada, [cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI /software .shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml).



## Investigating the trend of extreme climatic events in South Khorasan province

E. Abedini<sup>1</sup>, M. Mousavi Baygi<sup>2\*</sup>, A. Khashei Siuki<sup>3</sup>, Y. Selahvarzi<sup>4</sup>

Received date: 13/01/2019

Accepted date: 16/01/2020

### Abstract

In recent years, extreme events (droughts, floods, and extreme heat waves), as indicators of climate change, have received heightened attention. Increased concentration of greenhouse gases has led to global warming and significant changes in climatic extreme events pattern. In this study, 28 extreme indices proposed by a joint project between the World Meteorological Organization, the Climatic Group, the Climate Variability and Predictability Group, and the Global Research Program for Climate Change Monitoring and Detection, have been calculated from daily temperature and precipitation series of 12 meteorological stations in South Khorasan province during the period of 1992-2016. The non-parametric Mann-Kendall (MK) statistical test has been used to assess the significance of trend in extreme indices time series. The results showed a significant increasing trend in warm extreme indices and the decreasing trend for cold extreme events in most stations. Such that, the number of summer days with mean temperature above 25 degrees Celsius (SU 25) has an increasing trend in all stations. A decreasing trend was observed in cool nights (TN10P) series in most stations. There exists a high spatial variation for rainfall in the study region and no significant pattern could be observed, but in general, the trend in most stations is decreasing, for instance, the rainfall events greater than 1mm in north and central regions of the province has significantly decreased.

**Keywords:** Climate Change, Temperature, Precipitation, South Khorasan



<sup>1</sup> Ph.D. student of Agrometeorology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor of Agrometeorology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
(\*Corresponding authors email address: [mousavib@um.ac.ir](mailto:mousavib@um.ac.ir))

DOI: [10.22125/agmj.2020.161913.1051](https://doi.org/10.22125/agmj.2020.161913.1051)

<sup>3</sup> Associate Professor of Water Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran