





Investigating the climatic changes Trend in Neishabur Plain based on Extreme temperature and precipitation indices (1992-2021)

Ghoochanian, M.¹  | Ansari, H.²   | Mosaedi, A.² 

1. PhD Student of water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor of water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Corresponding Author E-mail: ansary@um.ac.ir

(Received: 03 Mar 2024, Revised: 12 Jun 2024, Accepted: 16 Jun 2024, Published online: 16 Jun 2024)

Abstract

In recent years, due to the decrease in precipitation, attention to the climate change and the economic, social consequences and financial damages related to extreme atmospheric events have become very important. Therefore, it seems necessary to investigate the continuation of atmospheric and rainfall extreme indices in the long-term statistical period and to determine the climate of different regions of Iran. In this paper, 28 extreme atmospheric and precipitation indices were calculated based on IPCC documents. The results show that SU, TR, TXx, TNx, ID, TXn, ETR and DTR indices are in 99%, SDII and R10mm indices are in 95%, TN90p, WSDI, FD, R95p and PRCPTOT are in 90% confidence level. According to the trend of hot, cold and precipitation extreme indices in this research, the precipitations have generally become shorter and more intense. In such a situation, part of the water resulting from the precipitation turns into runoff and quickly becomes unavailable. The increase in hot and cold extreme indices has changed the type of precipitation from snow to rain, which reduces the opportunity to store water from precipitation, as well as increasing evapotranspiration and faster loss of renewable water resources. De Martonne and Emberger climate classification was used to investigate the changes in the region. Finally, the relationship between the trend of these indices and climate classifications using the De Martonne method and the Emberger climate map for Neyshabour Plain was investigated and analyzed, and the results showed that these two classification methods do not match with the trend of extreme atmospheric indices.

Keywords: trend of extreme atmospheric index, Dumarton method, Amberjeh climate profile, IPCC

Cite this article: Ghoochanian, M., Ansari, H., & Mosaedi, A. (2024). Assessment the Trend of climatic changes in Neishabur Plain based on temperature and precipitation Extreme weather Index. *Journal of the Nivar*, 48(124-125), 163-186. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.446447.1284>

E-mail: (1) ghoochanian.ma@mail.um.ac.ir (2) mosaedi@um.ac.ir



بررسی روند تغییرات اقلیمی در دشت نیشابور بر اساس نمایه‌های فرین دمایی و بارشی (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

مرجان قوچانیان^۱ | حسین انصاری^۲ | ابوالفضل مساعدی^۲

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲. استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: ansary@um.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷)

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش میزان بارندگی، توجه به تغییرات اقلیمی و به دنبال آن پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی مربوط به رویدادهای فرین جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است. بنابراین بررسی روند تداوم نمایه‌های فرین جوی و بارندگی در دوره آماری بلند مدت و تعیین اقلیم یک منطقه در مناطق مختلف کشور ضروری است. در این پژوهش ۲۸ نمایه فرین هواشناسی و بارندگی بر اساس اسناد IPCC محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که نمایه‌های SU، TR، TXx، TNx، ID، TXn، ETR و DTR در سطح اطمینان ۹۹٪، نمایه‌های SDII و R10mm در سطح اطمینان ۹۵٪ و نمایه‌های TN90p، WSDI، FD، R95p و PRCPTOT در سطح اطمینان ۹۰٪ معنی دار هستند. در این پژوهش دیده شد که بارش‌ها با توجه به روند نمایه‌های فرین گرم، سرد و بارش عموماً کوتاه‌تر و شدیدتر شده‌اند. در چنین شرایطی بخش بیشتری از بارندگی تبدیل به رواناب شده و به سرعت از دسترس گیاه خارج می‌شود. افزایش نمایه‌های فرین گرم و سرد موجب تغییر جنس بارش‌ها از برف به باران شده که موجب کاهش فرصت ذخیره‌سازی آب حاصل از بارش و همچنین افزایش تبخیر، تفرق و از دست رفتن سریع‌تر منابع آب تجدیدپذیر می‌شود. در نهایت ارتباط روند این نمایه‌ها با طبقه‌بندی‌های اقلیمی به روش دومارتن و اقلیم‌نمای آمبرژه برای دشت نیشابور بررسی و تحلیل شد و نتایج نشان داد که این دو روش طبقه‌بندی با روند نمایه‌های فرین منطبق نیستند و نیاز است استفاده از آن‌ها بومی‌سازی شود.

کلیدواژه‌ها: روند نمایه‌های فرین جوی، روش دومارتن، اقلیم‌نمای آمبرژه، IPCC

۱. مقدمه

اقلیم کره زمین شده است که از آن تحت عنوان تغییر اقلیم نام برده می‌شود. گسترش چشمگیر ریزگردها، خشک شدن تالاب‌ها، شوری و کم باروری اراضی کشاورزی از جمله عوامل موثر در بروز این عدم تعادل در طی سالیان اخیر است. در بیشتر پژوهش‌هایی که در گذشته در رابطه با تغییر اقلیم

دمای جهان طی قرن‌های گذشته در حدود ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است (IPCC، ۲۰۰۷). طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نیز میانگین دمای جهانی ± 0.1 درجه افزایش پیدا کرده است (WMO، ۲۰۲۰). افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه گذشته موجب برهم خوردن تعادل

استناد: قوچانیان، مرجان؛ انصاری، حسین و مساعدی، ابوالفضل. (۱۴۰۳). بررسی روند تغییرات اقلیمی در دشت نیشابور بر اساس نمایه‌های فرین دمایی و بارشی (۱۹۹۲-۲۰۲۱).

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.446447.1284>

رایانامه: (۱) ghoochanian.ma@mail.um.ac.ir (۲) mosaedi@um.ac.ir

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.



DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.446447.1284>

خشکی در مناطق خشک و آسیب پذیر کاربرد دارد. با توجه به شدت وقوع خشکسالی سال‌های اخیر در مناطق مختلف کشور، بررسی روند و میزان تداوم نمایه‌های فرین هواشناسی و بارندگی در دوره آماری بلند مدت ضروری است، زیرا بر بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و کشاورزی در هر کشور و اقلیم تاثیرگذار است. امروزه ثابت شده است که تغییر و شدت فراوانی این رخدادها به مراتب اثر مخرب‌تری نسبت به تغییر متوسط شرایط اقلیمی بر روی سلامت انسان‌ها، واحدهای اجتماعی و سیستم‌های طبیعی دارد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۶).

بررسی شرایط اقلیمی و همچنین شناخت ویژگی‌های آن در مطالعات آب‌شناسی مانند مدیریت کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر بوم‌سازگان گیاهی و جانوری اهمیت به‌سزایی دارد. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه بررسی روند متغیرهای هواشناسی و رابطه آن با تغییر اقلیم صورت گرفته است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) وقوع تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز ارمند را تحلیل کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که میانگین دمای کمینه ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد و فصل بهار روند کاهشی و میانگین دمای بیشینه ماه‌های مهر، اسفند و فصل پاییز روند افزایشی معنی‌داری داشته است. همچنین روند تغییرات متوسط دما در اسفند ماه افزایش معنی‌داری را نشان داد. انصاری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی در حوزه آبخیز رودخانه کاجو در استان سیستان و بلوچستان، نشان دادند که در این منطقه بارش روند کاهشی، دما روند افزایشی و دبی رودخانه روند کاهشی دارد. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از ۴۷ ایستگاه همدید در سطح کشور بیان کردند که مقدار بارش سالانه کاهش و تعداد روزهای خشک افزایش یافته است. همچنین آنها نشان دادند که تنها در ایستگاه‌های نزدیک به دامنه‌های زاگرس تعداد روزهای خشک روند کاهشی داشته است و در مورد بارش‌های سنگین و نیمه سنگین و همچنین روزهای مرطوب،

انجام شده، توجه پژوهشگران به بررسی میانگین دما و بارش دوره معطوف بوده است؛ اما در سال‌های اخیر توجه محققان بیشتر به سمت بررسی رویدادهای فرین جلب شده است. این رویدادها می‌توانند برای صدور هشدارهای امنیت غذایی، خطرات و بلاهای طبیعی و سلامتی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین از آن‌ها برای مدیریت آب می‌توان استفاده کرد به گونه‌ای که به‌عنوان مثال، احتمال کاهش محصول به‌طور چشمگیری با افزایش دما از آستانه‌های خاصی افزایش می‌یابد (Grotjahn, ۲۰۲۱; Hatfield و Prueger, ۲۰۱۵). لازم به ذکر است وضعیت رویدادهای فرین، بر پایه داده‌های بلند مدت و همگن بیان می‌شود (Vose و Peterson, ۱۹۹۷). دلیل دیگر استفاده از آن نیز مربوط به خسارت‌های زیاد اقتصادی و اجتماعی این پدیده‌ها می‌باشد (Yang و همکاران، ۲۰۱۲; Kattenberg و Filippo, ۲۰۰۱). به همین دلیل در بررسی تغییرات اقلیمی علاوه بر بررسی مقادیر میانگین، باید مقادیر فرین و تغییرپذیری متغیرهای مهم آن‌ها مثل بارش و دما مورد توجه قرار گیرد. طبق تعریف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، به رویدادهایی که احتمال وقوع آنها در یک مکان و زمان مشخصی بسیار نادر باشد، فرین گفته می‌شود (IPCC, ۲۰۲۱; IPCC, ۲۰۰۷b). طبقه‌بندی اقلیمی توصیفی از وضعیت آب‌وهوای یک منطقه است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۷). طبقه‌بندی اقلیمی یک سرزمین، مرزبندی آن به محدوده‌هایی است که دارای ویژگی‌های بلندمدت و همسان عوامل هواشناسی است. فرایند جمع‌بندی ویژگی‌های بیان شده که الگوریتم یا پایه طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهد، روش طبقه‌بندی نامیده می‌شود (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۱). شناخت وضعیت اقلیمی بر پایه نمایه‌ها و عناصر اقلیمی مورد توجه دانشمندان این حوزه بوده و منجر شده است تا روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی مثل کوپن، دومارتن، آمبرژه، هانسن و ... توسعه یابد. طبقه‌بندی اقلیمی برای ارزیابی وضعیت منابع آب در شرایط کم‌آبی (در مقیاس‌های کوچک و بزرگ) برای پیش‌بینی و به کار بردن اقداماتی برای کنترل

سهم تغییرات در ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال و جنوب کشور بیشتر است. نساجی زواره و قرمز چشمه (۱۳۹۸) با استفاده از ۱۳ نمایه بارندگی، روند تغییرات بارش در ناحیه شمال کشور را بررسی کردند و نشان دادند در ایستگاه‌های مورد بررسی تعداد روزهای بارانی روند کاهشی، نمایه روزهای خشک متوالی روند افزایشی و نمایه شدت بارش روند افزایشی داشته است. جوکار و همکاران (۱۴۰۰) روند تغییر پذیری نمایه‌های فرین بارش در حوزه بختگان را بررسی کردند. نتایج کار آنها نشان داد که نمایه روزهای خشک متوالی با کاهش بارش روند افزایشی، نمایه‌های حداکثر یک روز بارش، حداکثر پنج روز بارش، تعداد روزهای بارش سنگین، تعداد روزهای بارش بسیار سنگین و مجموع بارش سالیانه روند کاهشی داشته است. علوی نیا و زارعی (۱۴۰۰) روند تغییر اقلیم را با استفاده از نمایه‌های فرین در جنوب شرق ایران بررسی کردند و نشان دادند نمایه‌های اقلیمی مربوط به دما افزایشی و نمایه‌های مربوط به بارش کاهشی است.

Senent-Aparicio و همکاران (۲۰۲۳)، با بررسی روند بارش‌های اخیر در شبه جزیره اسپانیا، نشان دادند که بارندگی سالانه در بیشتر قلمرو اسپانیا کاهشی بوده و این کاهش به‌ویژه در ماه‌های مارس و ژوئن قابل توجه است. Castillo-Mateo و همکاران (۲۰۲۳) اثرات تغییر آب‌وهوا را در رویدادهای شدید دما و رکوردشکنی با استفاده از ۳۶ سری بیشینه دمای روزانه در شبه جزیره اسپانیا مقایسه کردند و شواهد قابل توجهی از تاثیر روند افزایشی در وقوع دماهای بالا در بیشتر مناطق اسپانیا به‌دست آوردند. آن‌ها اثرات ناهمگنی از این تغییرات را در طول سال دریافت کردند که در فصل پاییز تاثیر این روند ضعیف‌تر و در تابستان قوی‌تر است. Xu و همکاران (۲۰۲۰) واکنش پوشش گیاهی به نمایه‌های فرین آب‌وهوایی در ساحل چین را بررسی کردند. آنها برای شناسایی اینکه چگونه نمایه‌های فرین بر عملکرد بوم‌سازگان تاثیر می‌گذارند، یازده نمایه فرین اقلیمی و چهار

نمایه میانگین برای شش منطقه ساحلی چین محاسبه کردند و دریافتند در سراسر مناطق ساحلی چین، افزایش حداقل دمای حداکثر روزانه برای رشد گیاه مفید بوده درحالی‌که اثر افزایش دمای حداقل شبانه بر اساس نوع پوشش گیاهی متفاوت است. del Río و همکاران (۲۰۱۱) توزیع فضایی روند میانگین دما در اسپانیا در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه را مورد بررسی قرار دادند. برای تعیین معناداری آماری روندها از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد درجه حرارت در تمام ماه‌ها و فصول سال در طول چهار دهه گذشته افزایش یافته است. پارامتر درجه حرارت در بیش از ۶۰ درصد از کل اسپانیا روند مثبت قابل توجهی را در ماه‌های مارس، ژوئن، آگوست، بهار و تابستان نشان داده است و در ماه‌های آوریل، می و دسامبر حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. طبق چهارمین گزارش ارزیابی IPCC 1، دمای سالانه به‌طور قابل توجهی در تمامی مناطق اسپانیا افزایش یافته است و روند آن حدود ۰/۱-۰/۲ درجه سلسیوس بر دهه است.

درحالی‌که که افزایش یا کاهش متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش و ... نمی‌تواند الگوهای رفتار اقلیمی را بیان کند اما نمایه‌های فرین حدود مرز بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی را مانند بازه زمانی کاشت، برداشت، تاریخ گلدهی و ... را تعیین می‌کند و با استفاده از آنها می‌توان برنامه‌ریزی‌های زراعی، آبیاری و منابع آبی را مدیریت کرد. در این راستا در پژوهش حاضر، ابتدا روند تغییر شرایط آب‌وهوایی دشت نیشابور با محاسبه ۲۸ نمایه فرین هواشناسی منطقه مورد مطالعه بررسی می‌شود. سپس برای بررسی وضعیت تغییرات اقلیمی منطقه، ارتباط و انطباق روند نمایه‌های فرین با طبقه‌بندی اقلیمی به روش‌های اقلیم‌نمای آمبرژه و دومارتن برای دشت نیشابور ارائه و تحلیل می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

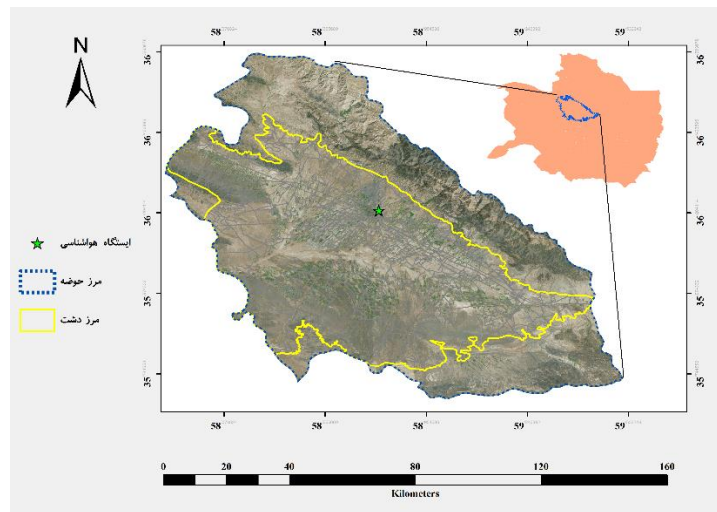
۱-۲. منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در کمربند خشک جهانی واقع شده است. استان خراسان رضوی نیز از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. به‌طور کلی شرایط اقلیمی در مناطق مختلف این استان متفاوت بوده و میانگین دمای سالانه در این استان از طرف شمال به جنوب افزایش می‌یابد (ربانی، ۱۳۸۴).

استان خراسان رضوی به دلیل جمعیت زیاد از نظر منابع آبی، کشاورزی، صنعت و بهداشت اهمیت زیادی دارد. با توجه به شرایط بحرانی آب‌های زیرزمینی در استان خراسان رضوی، زیرحوضه نیشابور از حوضه آبریز کالشور، به دلیل بحرانی بودن دشت و داشتن رتبه بالا در زمینه فرونشست‌هایی که در سال‌های اخیر در کشور اتفاق افتاده است، به‌عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شد.

دشت نیشابور از جمله دشت‌های وسیع حوضه آبریز کالشور می‌باشد که بیشترین کشت‌های آبی را در خود جای داده است. کل مساحت واحد هیدرولوژیک نیشابور ۶۹۶۲ کیلومتر مربع است که از این مقدار ۴۴۲۰ کیلومتر مربع دشت و بقیه آن ارتفاعات می‌باشد. کسری مخزن و کاهش سطح آب زیرزمینی (سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون متر مکعب معادل حدود ۸۲ سانتیمتر متوسط کاهش سطح آب زیرزمینی) از چالش‌های اساسی این دشت است (حقایقی و فرزاد نیا، ۱۳۹۱).

شکل (۱) موقعیت دشت نیشابور در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید شهرستان نیشابور (جدول ۱) که در داخل این دشت واقع است، به‌منظور تعیین نمایه‌های فرین دمایی و بارندگی این دشت استفاده شده‌اند.



شکل ۱. موقعیت مکانی دشت نیشابور در استان خراسان رضوی

قرار گیرد. همچنین از آنجایی که متغیرهای بارش، دما و رطوبت نسبی به یکدیگر وابسته هستند و تغییرات آنها تأثیر به‌سزایی بر نوع اقلیم یک منطقه دارد، می‌توان با بررسی نمایه‌های فرینی که متغیرهای اصلی آن‌ها یکی از این سه باشد، تغییرات شرایط اقلیمی را در منطقه مورد نظر بررسی کرد.

۲-۲. جمع‌آوری آمار و اطلاعات

برای انجام این پژوهش، ابتدا شناسنامه اطلاعات آب‌وهوایی ایستگاه هواشناسی همدید نیشابور از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. از میان این آمار و اطلاعات هواشناسی ثبت شده، متغیرهای جدول (۲) برای دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۹۲-۲۰۲۱) انتخاب شد تا با استفاده از آن‌ها نمایه‌های فرین دمایی و بارش محاسبه و روند تغییرات آن‌ها مورد بررسی و تحلیل

لازم به ذکر است، استفاده از ایستگاه‌هایی که کمترین داده گمشده و پرت را دارند ضروری است. در این پژوهش از داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه و بارش روزانه ایستگاه

همدید نیشابور در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۲۱ (۳۰ سال) استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه همدید نیشابور

نام ایستگاه (Station)	کد ایستگاه (ID)	طول جغرافیایی Longitude(degree)	عرض جغرافیایی Latitude(degree)	ارتفاع Elevation(m)	طول دوره آماری
نیشابور	۴۰۷۴۶- KHMR	۳۶/۲۶	۵۸/۸	۱۲۱۳	۲۰۲۱-۱۹۹۲

جدول ۲- متغیرهای هواشناسی مورد نیاز نمایه‌های فرین هواشناسی

نام داده ایستگاه	دمای بیشینه	دمای کمینه	دمای میانگین	رطوبت نسبی	سرعت باد	بارندگی ۲۴ ساعته	ساعت آفتابی
نماد داده	T _{max}	T _{min}	T _m	ff _m	U _m	۲۲۲ ₂₄	Sshn
واحد	درجه سلسیوس	درجه سلسیوس	درجه سلسیوس	درصد	کیلومتر بر ساعت	میلی‌متر	ساعت

۲-۳- نمایه‌های فرین

پیشبرد سازگاری با تغییرات اقلیمی تغییر می‌دهد، استفاده می‌شود (IPCC, ۲۰۱۲).

به این ترتیب در جدول (۳) تعداد ۲۸ نمایه فرین دمایی و بارشی مورد تایید هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) ارائه شده است

در علم آب و هواشناسی به دلیل تغییرات طولانی مدتی که در سامانه آب و هوایی رخ می‌دهد، از تعدادی نمایه استفاده می‌شود. از این نمایه‌ها برای توصیف تغییرات اقلیمی شدید که چگونه مدیریت خطرات رویدادهای شدید و بلایا را برای

جدول ۳. نمایه‌های دمایی و بارشی معرفی شده توسط هیئت بین‌الدول (IPCC, ۲۰۲۱)

ردیف	دسته‌بندی نمایه	نماد	نام نمایه	واحد	متغیر
۱	دمایی	FD	تعداد روزهای یخبندان: فراوانی سالانه روزهایی که TN (کمینه دمای روزانه) کمتر از ۰ درجه است	روز	دمای کمینه
۲		SU	تعداد روزهای تابستان: فراوانی سالانه روزهایی که TX (بیشینه دمای روزانه) < ۲۵ درجه سلسیوس است	روز	دمای بیشینه
۳		ID	تعداد روزهای یخ زدن: فراوانی سالانه روزهایی که TX (بیشینه دمای روزانه) کمتر از ۰ درجه سلسیوس است	روز	دمای بیشینه
۴		TR	تعداد شب‌های گرمسیری: فراوانی سالانه روزهایی که TN (کمینه دمای روزانه) < ۲۰ درجه سلسیوس است	روز	دمای کمینه
۵		GSL	طول فصل رشد: تعداد سالانه (۱ ژانویه تا ۳۱ دسامبر در نیمکره شمالی (NH)، ۱ ژوئیه تا ۳۰ ژوئن در نیمکره جنوبی (SH)) بین اولین بازه حداقل شش روزه با میانگین دمای روزانه > ۵ درجه سلسیوس و اول پس از ۱ ژوئیه (۱ ژانویه در SH) شش روزه با میانگین دمای روزانه > ۵ درجه سلسیوس	روز	دمای کمینه
۶		TXx	بیشترین مقدار ماهانه دمای بیشینه	درجه سلسیوس	دمای بیشینه
۷		TNx	بیشترین مقدار ماهانه دمای کمینه	درجه سلسیوس	دمای کمینه
۸		TXn	کمترین مقدار ماهانه دمای بیشینه	درجه سلسیوس	دمای بیشینه

۹	TNn	کمترین مقدار ماهانه دمای کمینه	درجه سلسیوس	دمای کمینه
۱۰	TN10p	درصد روزهایی که حداقل دمای روزانه کمتر از صدک دهم است	درصد	دمای کمینه
۱۱	TN90p	درصد روزهایی که حداقل دمای روزانه بیشتر از صدک ۱۰ام است	درصد	دمای کمینه
۱۲	TX10p	درصد روزهایی که حداکثر دمای روزانه کمتر از صدک دهم است	درصد	دمای بیشینه
۱۳	TX90p	درصد روزهایی که حداکثر دمای روزانه بیشتر از صدک ۱۰ام است	درصد	دمای بیشینه
۱۴	WSDI	نمایه مدت دوره گرم: فراوانی سالانه روزهای با حداقل شش روز متوالی که TX بیش از صدک ۱۰ام باشد	روز	دمای بیشینه
۱۵	CSDI	نمایه مدت دوره سرد: فراوانی سالانه روزهای با حداقل شش روز متوالی که TN کمتر از صدک دهم	روز	دمای کمینه
۱۶	DTR	بازه دمای روزانه: تفاوت میانگین ماهانه بین TX و TN	درجه سلسیوس و کمینه	دمای بیشینه
۱۷	ETR	اختلاف حداکثر و حداقل مطلق دمای سالانه	درجه سلسیوس و کمینه	دمای بیشینه
۱۸	RX1day	حداکثر بارندگی یک روزه	میلی‌متر	بارندگی
۱۹	RX5day	حداکثر بارش پنج روزه	میلی‌متر	بارندگی
۲۰	SDII	نمایه شدت بارش ساده	میلی‌متر بر روز	بارندگی
۲۱	R10mm	فراوانی سالانه روزهایی که بارندگی بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر است	روز	بارندگی
۲۲	R20mm	فراوانی سالانه روزهایی که بارندگی بیشتر یا مساوی ۲۰ میلی‌متر است	روز	بارندگی
۲۳	R50mm	فراوانی سالانه روزهایی که بارندگی بیشتر یا مساوی ۵۰ میلی‌متر است	روز	بارندگی
۲۴	CDD	حداکثر تعداد روزهای متوالی با کمتر از ۱ میلی‌متر بارندگی در روز	روز	بارندگی
۲۵	CWD	حداکثر تعداد روزهای متوالی با بیشتر یا مساوی ۱ میلی‌متر بارندگی در روز	روز	بارندگی
۲۶	R95p	مجموع بارندگی سالانه زمانی که مقدار بارش روزانه از صدک ۹۵ بارش روز مرطوب (بیش از ۱ میلی‌متر) فراتر رود	میلی‌متر	بارندگی
۲۷	R99p	مقدار بارندگی سالانه زمانی که مقدار بارش روزانه از صدک ۹۹ بارش روز مرطوب تجاوز کند	میلی‌متر	بارندگی
۲۸	PRCPT OT	مجموع بارش سالانه	میلی‌متر	بارندگی

از آنجایی که تجزیه و تحلیل رویدادها اغلب شامل بررسی دنباله‌های توزیع‌های آماری است، می‌توان از یک رویکرد پارامتری یا ناپارامتریک برای تعریف رویدادها استفاده کرد (IPCC, ۲۰۲۱).

۲-۴- بررسی معنی‌داری روند داده‌ها

آزمون‌های آماری روند

آزمون من-کندال

یکی از ابزارهای رایج برای تشخیص تغییرات سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی، تحلیل روند است. تعدادی از

آزمون‌های آماری برای ارزیابی اهمیت روندها در سری‌های زمانی وجود دارد. بررسی روند تغییرات در سری‌های زمانی مختلف معمولاً با آزمون غیرپارامتریک من-کندال (Mann, ۱۹۴۵؛ Kendall, ۱۹۷۵) انجام می‌شود. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک است و می‌تواند برای همه توابع توزیع، استفاده شده و نیازی به شرط نرمال بودن داده‌ها ندارد. بنابراین به‌طور گسترده‌ای در بررسی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Mianabadi, ۲۰۱۹). آزمون روند من-کندال (Mann, ۱۹۴۵؛ Kendall, ۱۹۵۵) یک آزمون همبستگی رتبه‌ای بین رتبه‌های مشاهدات و

جدول توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری $Z\alpha/2$ مقایسه می شود. اگر $|Z| \leq 1/64$ در سطح معنی داری ۱۰ درصد، اگر $|Z| \leq 1/96$ در سطح معنی داری ۵ درصد و اگر $|Z| \leq 2/58$ در سطح معنی داری ۱ درصد فرض صفر رد می شود و روند وجود ندارد (Kumar و همکاران، ۲۰۰۹).

آزمون شیب سن

علاوه بر استفاده از آزمون من-کنندال یکی دیگر از روش های مورد استفاده در بررسی روند داده ها استفاده از روش شیب سن است. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط sen (۱۹۶۸) با رابطه (۶) برآورد می شود:

$$\beta_i = \text{median}\left(\frac{x_j - x_k}{j - k}\right) \quad \text{و} \quad (k < j) \quad (6)$$

که β_i برآوردگر خط روند، x_j و x_k مقدار مشاهده شده شماره j و k ام می باشد و زمان j بعد از زمان k است ($k \leq j$)، میانه n مقدار از β_i برابر آزمون برآوردگر شیب سن است. مقادیر β_i مثبت نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان دهنده روند کاهشی می باشد. اگر n یک عدد زوج باشد برآوردگر شیب سن با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می شود:

$$\beta_{med} = \frac{1}{2} \left(\beta \left[\frac{n}{2} \right] + \beta \left[\frac{(n+2)}{2} \right] \right) \quad (7)$$

اگر n عددی فرد باشد، شیب تخمینی را با استفاده از روش sen می توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\beta_{med} = \beta \left[\frac{(n+1)}{2} \right] \quad (8)$$

در نهایت β_{med} توسط یک آزمون دو دنباله در سطح اطمینان $(\alpha-1)$ ۱۰۰ آزمایش می شود و شیب واقعی روند یکنواخت را می توان با استفاده از آزمون ناپارامتریک تخمین زد (Rawshan Othman و Shadan Rashid، ۲۰۱۹؛ Partal و Kahya، ۲۰۰۶).

برای استفاده از آزمون من کندال نیاز است که در داده ها خود همبستگی وجود نداشته باشد. در صورت وجود خودهمبستگی در داده ها از آزمون من کندال اصلاح شده استفاده می شود. به طور معمول داده های آب و هوایی دارای

ترتیب زمانی آنها است. برای سری زمانی آماره S از رابطه (۱) به دست می آید.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که:

$$\text{sgn} = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

تابع علامت است. در رابطه (۱) n تعداد داده های مشاهداتی X_k و X_j به ترتیب داده های متوالی j ام و k ام سری زمانی هستند. با فرض مستقل بودن و توزیع یکسان داده ها آماره S از توزیع نرمال پیروی می کند که میانگین و واریانس آن از روابط زیر به دست می آید:

$$E(S) = 0$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad n < 10 \quad (3)$$

$$(4)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad n > 10$$

در روابط فوق n تعداد داده های مشاهداتی، m تعداد سری هایی است که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t فراوانی داده هایی با ارزش یکسان می باشد.

معنی داری روند داده های موجود را می توان با مقایسه آماره Z ، در سطح معنی داری $1-\alpha$ که از رابطه زیر به دست می آید، بررسی کرد:

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

فرضیه صفر آزمون من کندال بیان می کند که داده ها مستقل و به صورت تصادفی مرتب شده و در سری داده ها روند وجود ندارد. فرض یک نیز وجود روند در سری داده ها را بیان می کند (معروفی و طبری، ۱۳۹۰). براین اساس، مقدار Z از

۲-۵- طبقه‌بندی اقلیمی

طبقه‌بندی اقلیمی برای درک الگوی شرایط آب‌وهوایی و پیامدهایش بر زندگی و فعالیت انسان‌ها ضرورت دارد. این طبقه‌بندی شباهت‌ها و تفاوت‌های اقلیمی بین مناطق جغرافیایی به منظور افزایش درک علمی مورد نیاز شناسایی، روشن و ساده‌سازی می‌کند (Jain و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی اقلیمی وجود دارد که هر کدام مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارد. مرسوم‌ترین روش‌های طبقه‌بندی دومارتن، آمبرژه، کوپن-گیگر، سلیمانوف و ترنت وایت است (Ahmadi و همکاران، ۲۰۱۹). در این پژوهش با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی جزء مناطق خشک و نیم‌خشک می‌باشد، از دو روش دومارتن و اقلیم‌نمای آمبرژه استفاده شد. روش دومارتن با استفاده از دو متغیر متوسط دما و بارش سالانه، ضریب خشکی را محاسبه می‌کند و اقلیم‌نمای آمبرژه جزء روش‌های نموداری اقلیمی است که اقلیم خشک را در گروه‌های متنوع تری دسته‌بندی کرده است.

روش دومارتن

دومارتن (De Martonne) بین دما و مقدار رطوبت، رابطه تجربی زیر را ارائه داده است (De Martonne، ۱۹۲۶؛ علیزاده، ۱۳۹۷):

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (9)$$

که I: ضریب خشکی، T: متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سلسیوس)، P: متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) بر این اساس، شش نوع اقلیم را می‌توان مشخص کرد که در جدول (۴) ارائه شده است.

خود همبستگی می‌باشند. به همین دلیل، در این پژوهش از رویکرد تصحیح واریانس Wang و Yue (۲۰۰۴) به منظور بررسی روند در داده‌ها استفاده شده است. آزمون من‌کنندال اصلاح شده با استفاده از آماره‌های Z ، Tua ، $Sen's$ ، $slop$ ، $variance$ و P -value قابل تحلیل است. که در آن مقادیر مثبت و منفی آماره استاندارد شده Z ، به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی است. در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ اگر P -value < ۰/۰۵ باشد، روند موجود از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود (Wang و Yue، ۲۰۰۴). به عبارت دیگر از آنجایی که در این آزمون فرض صفر مبنی بر تصادفی بودن داده‌ها و عدم وجود روند و فرض یک مخالف آن است، چنانچه P -value از مقدار سطح معنی‌داری آلفا کمتر باشد فرض صفر رد می‌شود و داده‌ها دارای روند خواهند بود. با استفاده از آماره Tua نیز می‌توان جهت روند را بررسی کرد. در صورتی که مقدار Tua منفی باشد روند کاهشی است. هر چه اختلاف آماره Tua با صفر بیشتر باشد روند شدیدتر است. آماره $Sens Slop$ نیز مقدار عددی شیب روند را نشان می‌دهد.

در این پژوهش ۲۸ نمایه فرین دما و بارش با استفاده از داده‌های دمایی و بارندگی دریافت شده از ایستگاه همدید نیشابور در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با استفاده از فرمول‌های مورد تایید هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC، ۲۰۲۱) بر اساس جدول (۳)، در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. روند این نمایه‌ها با استفاده از روش آماری آزمون من‌کنندال اصلاح شده و روش شیب سن با کد نویسی در زبان برنامه‌نویسی R و با استفاده از بسته $mmky$ در این محیط برنامه‌نویسی مورد آزمون قرار گرفت.

جدول ۴- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش دومارتن (De Martonne، ۱۹۲۶؛ علیزاده، ۱۳۹۷)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن
خشک	۰ تا ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹

۲۴ تا ۲۷/۹	نیمه مرطوب
۲۸ تا ۳۴/۹	مرطوب
بزرگتر از ۳۵	بسیار مرطوب

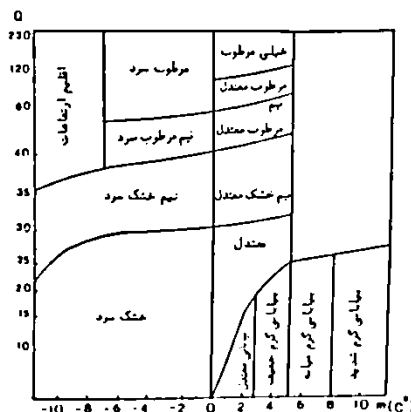
اقلیم نمای آمبرژه

در اقلیم نمای آمبرژه (Emberger) عوامل تعیین کننده اقلیم در هر منطقه عبارتند از: M میانگین حداکثرهای دما در گرمترین ماه سال (بر حسب کلوین)، m میانگین حداقلهای دما در سردترین ماه سال (بر حسب کلوین) و P میانگین بارش سالانه (بر حسب میلی متر) است. آمبرژه براساس تجربیات خود اقلیم نمایی را تهیه کرد که مطابق شکل (۲) از دو محور متعامد تشکیل شده است. محور

افقی m (بر حسب درجه سلسیوس) و محور عمودی مقدار Q است که طبق رابطه (۸) محاسبه می شود (Emberger و همکاران، ۱۹۶۳؛ علیزاده، ۱۳۹۷):

$$Q = \frac{200P}{M^2 - m^2} \quad (۸)$$

در این رابطه m و M بر حسب درجه کلوین و P بر حسب میلی متر است.



شکل ۲. اقلیم نمای آمبرژه (Emberger و همکاران، ۱۹۶۳؛ علیزاده، ۱۳۹۷)

۳. نتایج و بحث

نتایج بررسی روند نمایه های فرین با روش ناپارامتریک من کندال اصلاح شده که در نرم افزار R محاسبه شده است، در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- روند نمایه های فرین با روش ناپارامتریک من کندال اصلاح شده (هر رنگ بیانگر یک سطح معنی داری است)

نماد	Corrected Zc	P-value	Tau	Sen's slope
FD	1.68°	0.09	0.13	0.22
SU	3.05***	0.00	0.32	0.88
ID	-3.81***	0.00	-0.19	0.00
TR	5.69***	0.00	0.32	0.25
GSL	-0.88 ns	0.38	-0.05	-0.14
TXx	2.68***	0.01	0.10	0.02
TNx	4.17***	0.00	0.23	0.07
TXn	2.95***	0.00	0.15	0.01

TNn	-0.11 ^{ns}	0.91	-0.01	0.00
TN10p	0.60 ^{ns}	0.55	0.05	0.00
TN90p	-1.86 [*]	0.06	-0.15	-0.33
TX10p	0.08 ^{ns}	0.93	0.01	0.00
TX90p	1.53 ^{ns}	0.13	0.08	0.12
WSDI	1.75 [*]	0.07	0.13	0.04
CSDI	0.86 ^{ns}	0.39	0.03	0.00
DTR	6.40 ^{***}	0.00	0.31	0.03
ETR	3.18 ^{***}	0.00	0.16	0.08
RX1day	0.57 ^{ns}	0.57	0.04	0.02
RX5day	-1.62 ^{ns}	0.10	-0.08	-0.18
SDII	2.27 ^{**}	0.02	0.15	0.02
R10mm	2.00 ^{**}	0.05	0.08	0.05
R20mm	0.69 ^{ns}	0.49	0.04	0.00
R50mm	1.34 ^{ns}	0.18	0.03	0.00
CDD	-1.44 ^{ns}	0.15	-0.07	-0.57
CWD	-1.10 ^{ns}	0.27	-0.09	0.00
R95p TOT	1.87 [*]	0.06	0.07	0.12
R99p TOT	0.06 ^{ns}	0.95	0.00	0.00
PRCPTOT	1.78 [*]	0.08	0.09	1.09

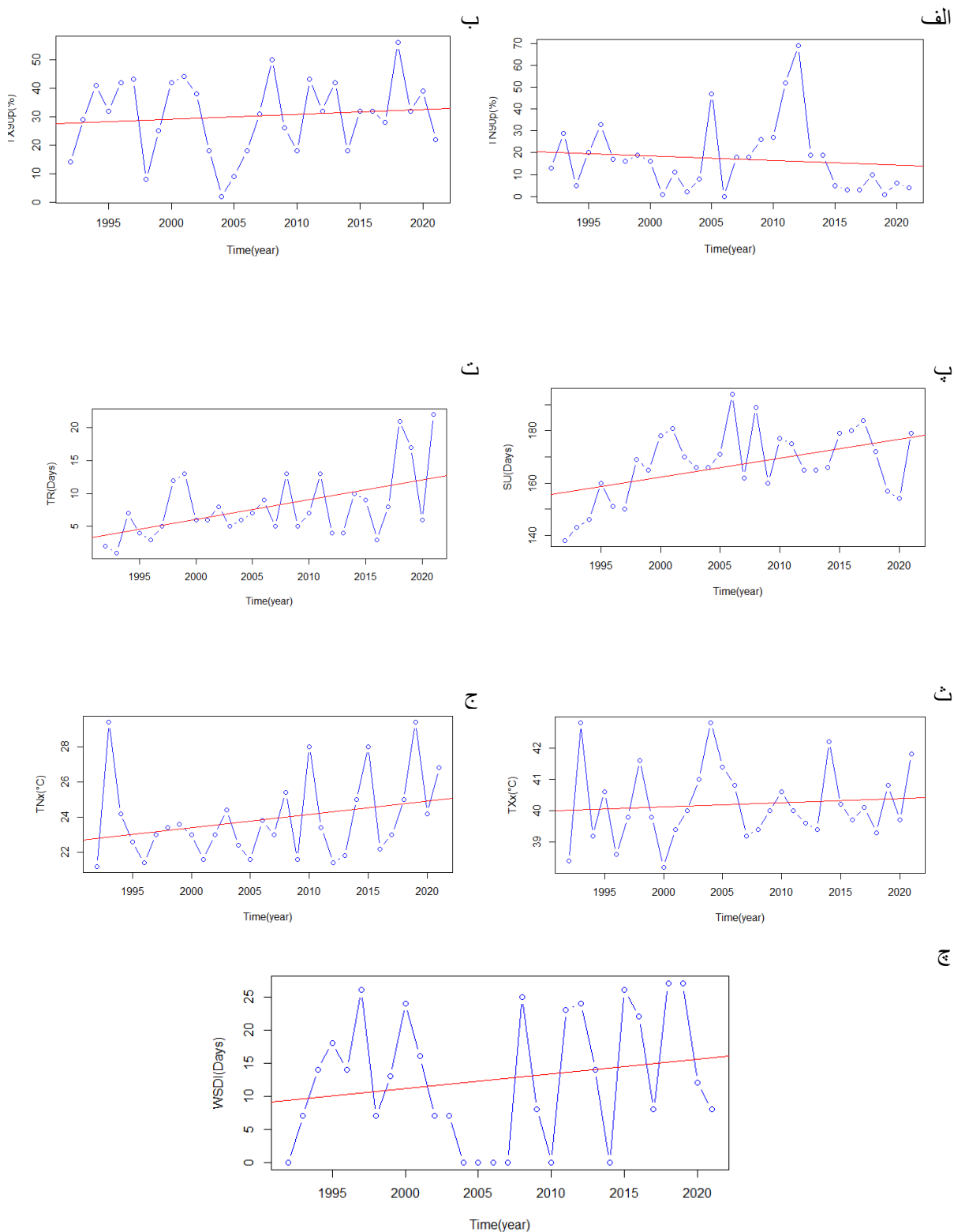
ns: بدون روند، ***: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، **: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و *: معنی‌داری در سطح ۹۰٪.

باتوجه به جدول (۵) و شکل (۳)، تعداد چهار نمایه روزهای تابستانی (SU)، شب‌های حاره‌ای (TR)، حداکثر دمای بیشینه (TXx)، حداکثر دمای کمینه (TNx) در سطح اطمینان ۹۹٪ و دو نمایه شب‌های گرم (TN90p) و نمایه طول دوره گرما (WSDI) در سطح ۹۰٪ معنی‌دار هستند. در تمام این نمایه‌ها، متغیرها دماهای بیشینه و کمینه است که روند آن‌ها به جز نمایه شب‌های گرم افزایشی است و این تایید کننده این هست که این ایستگاه به سمت گرم شدن پیش می‌رود.

تحلیل و بررسی روند نمایه‌های دما و بارش در دوره آماری ۳۰ ساله در ایستگاه نیشابور به تفکیک نمایه‌های فرین گرم، سرد و بارندگی در ادامه ارائه شده است.

۳-۱. نمایه‌های فرین گرم

نمایه‌های فرین گرم محاسبه شده در این پژوهش شامل روزهای تابستانی (SU)، شب‌های حاره‌ای (TR)، حداکثر دمای بیشینه (TXx)، حداکثر دمای کمینه (TNx)، شب‌های گرم (TN90p)، روزهای گرم (TX90p) و نمایه طول دوره گرما (WSDI) می‌باشد.



شکل ۳. روند نمایه‌های فرین گرم. الف- شب‌های گرم ب- روزهای گرم پ- روزهای تابستانی ت- شب‌های حاره‌ای ث- حداکثر دمای بیشینه ج- حداکثر دمای کمینه و چ- طول دوره گرما در ایستگاه نیشابور در دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱

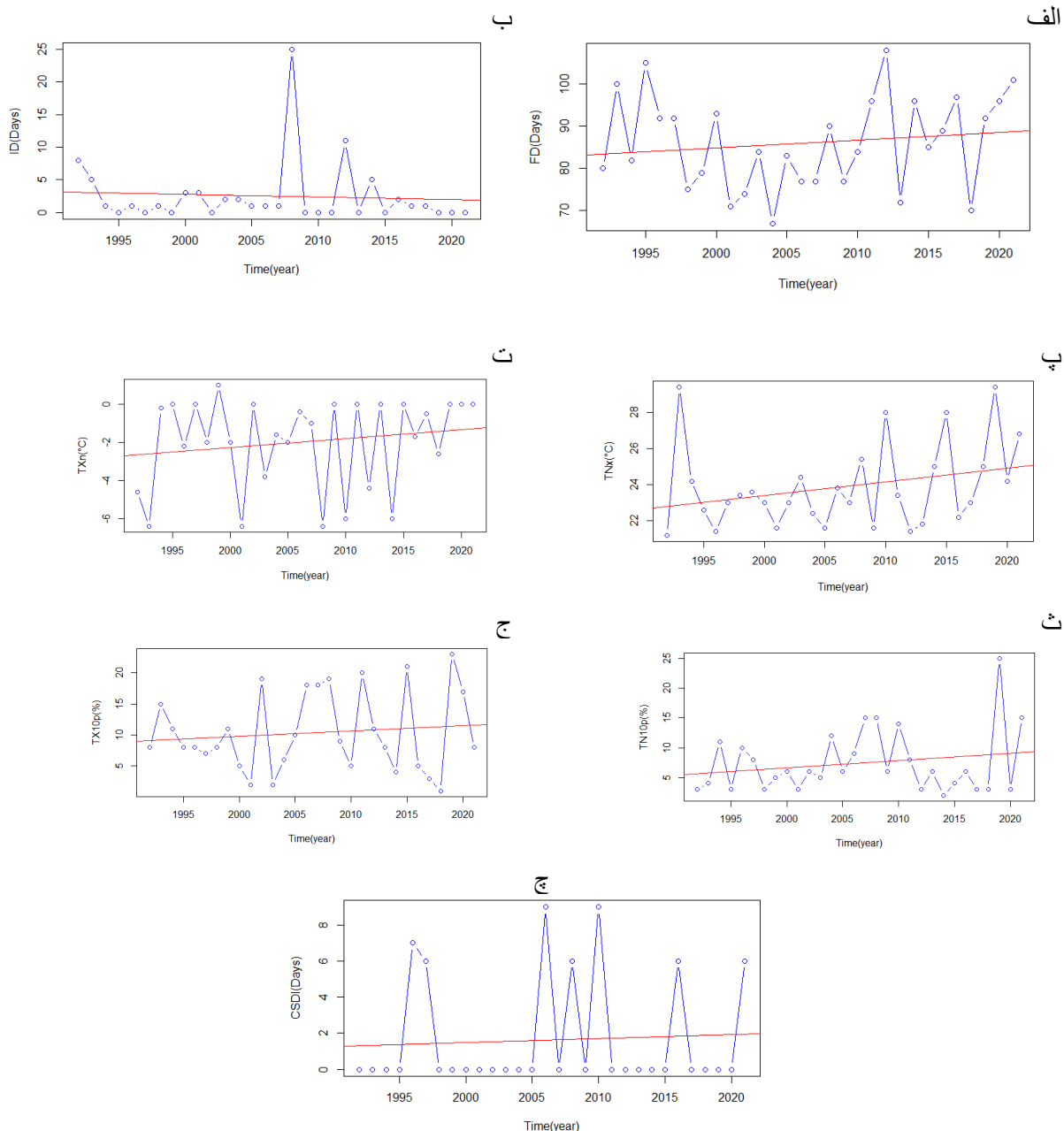
۲-۳. نمایه‌های فرین سرد

حداقل دمای بیشینه (TXn)، شب‌های سرد (TN10p)، روزهای سرد (TX10p) و طول دوره سرما (CSDI) می‌باشد. باتوجه به جدول (۵) و شکل (۴)، تعداد دو نمایه ID

نمایه‌های فرین سرد شامل تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی (ID)، حداقل دمای کمینه (TNn)،

شدن از شرایط نرمال و تمایل به سمت کرانه‌های بالا و پایین دمایی است. این خود به معنی وقوع تغییرات آب‌وهوایی در منطقه است. روند افزایشی این نمایه‌ها می‌تواند منجر به افزایش فراوانی بروز تنش آبی یا تنش دمایی در فصول گرم یا سرد سال برای محصولات زراعی شود.

و TXn در سطح اطمینان ۹۹٪ و یک نمایه FD در سطح ۹۰٪/ معنی‌دار هستند. لازم به ذکر است شیب نمایه ID کاهشی و شیب نمایه TXn افزایشی است به این معنی که اقلیم منطقه به سمت گرم‌تر شدن سوق پیدا کرده است. با توجه به اینکه نمایه TXx (در نمایه‌های فرین گرم) و FD افزایش پیدا کرده است، این به آن معنا است که آب‌وهوای منطقه در حال دور



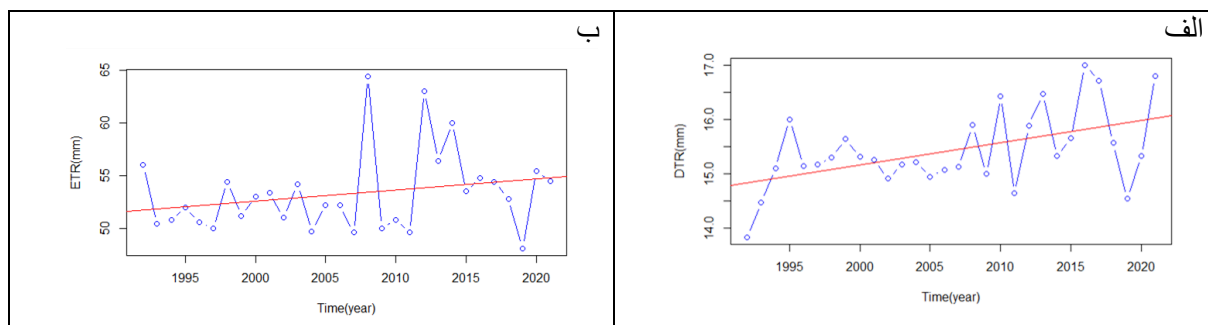
شکل ۴. روند نمایه‌های فرین سرد. الف- تعداد روزهای یخبندان ب- تعداد روزهای یخی پ- حداقل دمای کمینه ت- حداقل دمای بیشینه ث- شب‌های سرد ج- روزهای سرد و ج- طول دوره سرما در ایستگاه نیشابور در دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱.

۳-۳. نمایه‌های دامنه دمایی

نمایه‌های اختلاف حداکثر و حداقل مطلق دمای سالانه (ETR) و بازه دمایی روزانه یعنی تفاوت میانگین دمای ماهانه

معنی وقوع تابستان‌های گرمتر و زمستان‌های سردتر است و زمینه بروز پدیده‌های حادی را افزایش می‌دهد.

بین TX و TN (DTR) با توجه به جدول (۵) و شکل (۵) در سطح ۹۹٪ معنی‌داری و دارای روند افزایشی می‌باشد. این به



شکل ۵. روند نمایه‌های فرین دامنه دمایی. الف- دامنه دمای شبانه‌روز و ب- دامنه دمای سالانه

۳-۴. نمایه‌های فرین بارندگی

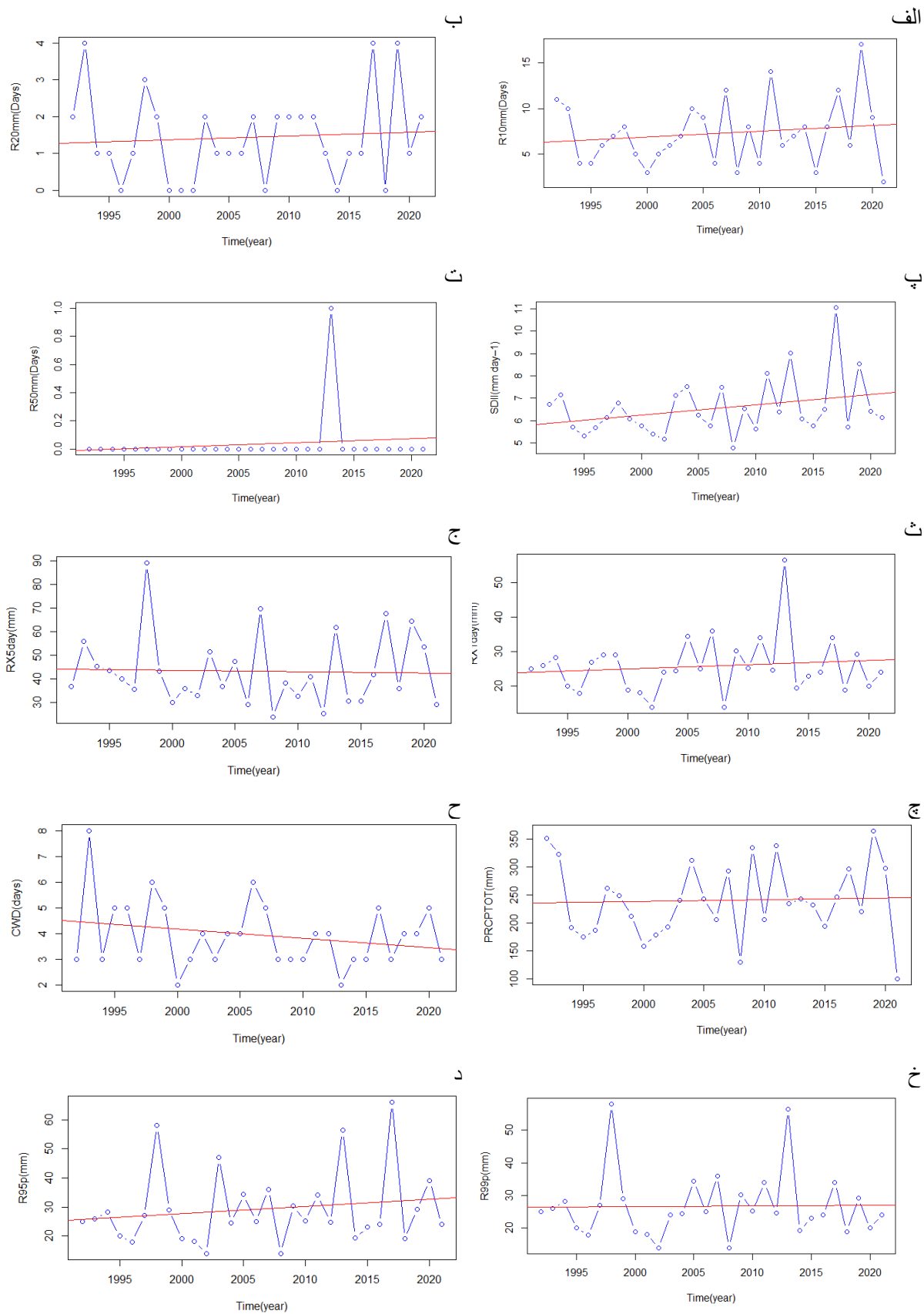
نمایه‌های بارش شامل نمایه حداکثر بارش یک روزه (day RX1)، مقدار بارش ماهانه پنج روز متوالی (RX5 day)، روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی متر (R10mm)، تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی متر (R20mm)، تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۵۰ میلی متر (R50mm)، نمایه شدت بارش ساده (SDII)، تعداد روزهای خشک متوالی که بارش کمتر از ۱ میلی متر باشد (CDD)، بیشترین تعداد روزهای متوالی که بارش بیشتر یا مساوی ۱ میلی متر باشد (CWD)، نمایه روزهای خیلی تر (R95p)، نمایه روزهای بیش از اندازه تر (R99p) و نمایه مجموع بارش سالانه (PRCPTOT) می‌باشد.

باتوجه به جدول (۵) و شکل (۶)، تعداد دو نمایه SDII و R10mm در سطح ۹۵٪ و دو نمایه R95p و PRCPTOT در سطح ۹۰٪ معنی‌دار است. شیب روند هر چهار نمایه افزایشی است درحالی‌که نمایه‌ها برای بارش‌های ۲۰ و ۵۰ میلی‌متر فاقد روند می‌باشند. در تاریخ ۲۰۱۳/۷/۳ بارش ۲۴ ساعته‌ای به ارتفاع ۵۶ میلی‌متر ثبت شده است اما در سال‌های قبل و بعد از آن، تعداد بارش‌های بیشتر از ۵۰ میلی‌متر صفر می‌باشد. بنابراین، برای نمایه فرین بارندگی سنگین بالای ۵۰ میلی‌متر، فقط یک عدد ثبت شده است و در نتیجه نمی‌توان برای این نمایه موضوع روند را مورد مقایسه قرار داد. به

عبارت دیگر، وقوع بارش‌های سنگین دارای دوره بازگشت طولانی می‌باشد و بررسی روند چنین داده‌هایی برای دوره‌های ۳۰ ساله یا امثال آن بی‌معنی است. تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر در سال ۲۰۱۹ (۱۳۹۸) بیشترین مقدار را داشته (شکل ۶-الف) اما قبل و بعد از آن مقدار این نمایه در سال‌های مختلف نوسان داشته است. مجموع بارندگی در سال ۲۰۱۹ (شکل ۶-ب) با مقدار ۳۶۴ میلی‌متر بیشترین تاثیر را بر افزایشی بودن شیب روند این نمایه داشته است.

اگرچه میانگین بارش تجمعی سالانه روند افزایشی دارد اما الگوی بارش نیز در طول دوره آماری دستخوش تغییرات شده است، به این صورت که هر سه نمایه که بیانگر شدت بارش است، دارای روند افزایشی هستند به این معنی که بارش قابل توجه در مدت کوتاه رخ می‌دهد. در چنین شرایطی بخشی از آب حاصل از بارندگی تبدیل به رواناب شده و به سرعت از دسترس گیاه خارج می‌شود.

روند افزایشی در نمایه‌های فرین گرم (SU، TR، TXx، TNx، TN90p و WSDI) و نمایه‌های فرین سرد (TXn و FD) موجب تغییر جنس بارش‌ها از برف به باران می‌شود که این موضوع، موجب کاهش فرصت ذخیره‌سازی آب حاصل از بارش و همچنین افزایش تبخیر، تعرق و از دست رفتن سریع‌تر منابع آب تجدیدپذیر منطقه می‌شود (Seneviratne و همکاران، ۲۰۲۱).



شکل ۶. روند نمایه‌های فرین بارندگی الف- تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر ب- تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر ب- نمایه ساده شدت روزانه ت- تعداد روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۵۰ میلی‌متر ث- حداکثر بارش یک روزه ج- مقدار بارش ماهانه پنج روز متوالی چ-

مجموع بارش سالانه ح- بیشترین تعداد روزهای متوالی با بارش بیشتر یا مساوی ۱ میلی متر خ- نمایه روزهای بیش از اندازه تر و د- روزهای خیلی تر در ایستگاه نیشابور در دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱.

۳-۵. طبقه‌بندی اقلیمی دشت نیشابور

اقلیمی برای هر یک از سال‌های مورد بررسی در جدول (۶) ارائه شده است. در هر طیف رنگی در جدول (۶)، یک طبقه اقلیمی قرار دارد.

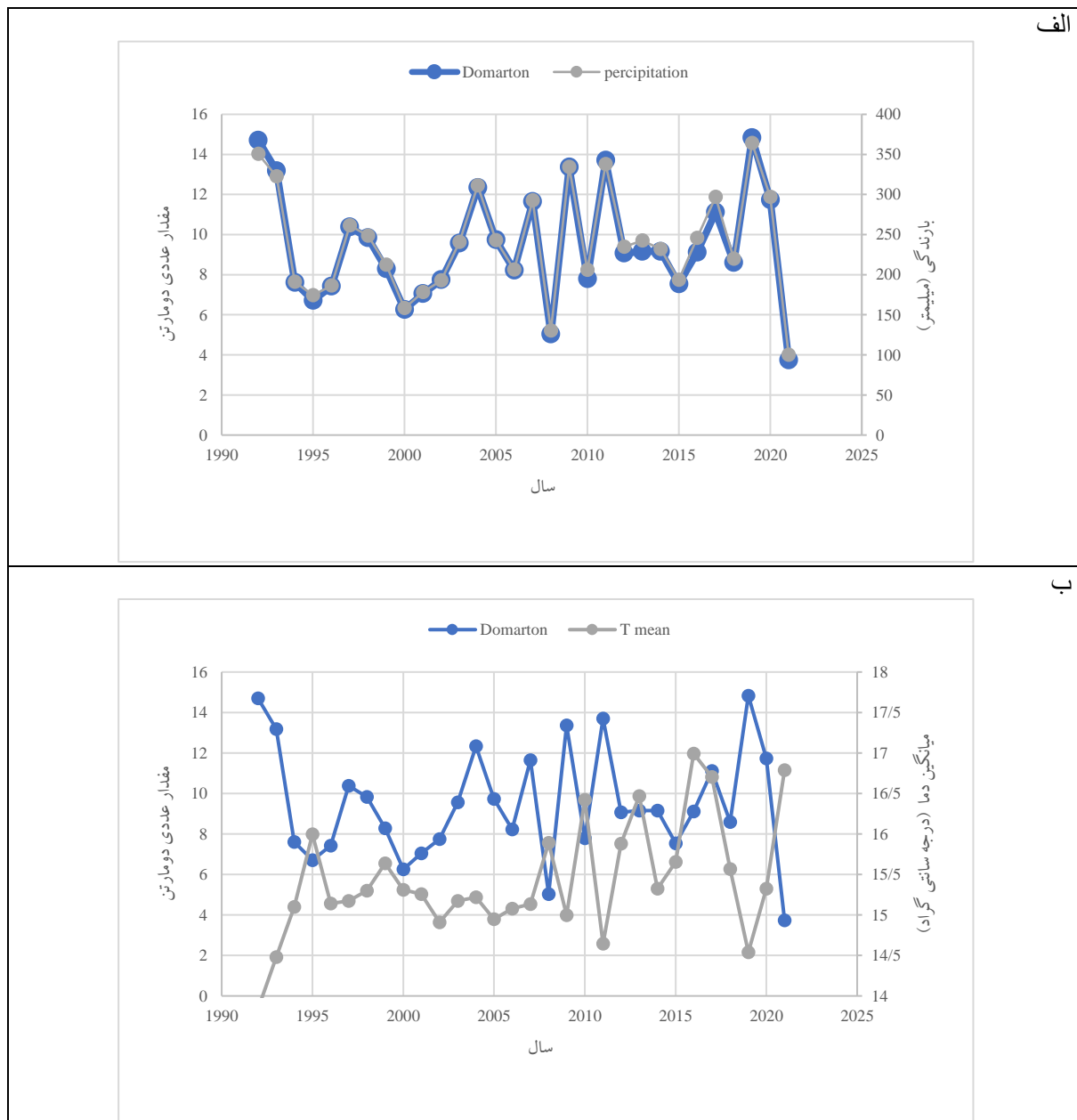
پس از بررسی روند نمایه‌های فرین، در این پژوهش با استفاده از دو روش طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه، نتایج طبقه‌بندی

جدول ۶. طبقه‌بندی اقلیمی در دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱ برای دشت نیشابور بر اساس روش‌های طبقه‌بندی آمبرژه و دومارتن

سال	دومارتن		آمبرژه		
	I	طبقه اقلیمی	Q	M(°C)	طبقه اقلیمی
1992	14.70	نیمه‌خشک	38.49	-1.03	نیمه‌خشک سرد
1993	13.18	نیمه‌خشک	33.88	-0.95	نیمه‌خشک سرد
1994	7.61	خشک	17.16	-3.45	خشک سرد
1995	6.71	خشک	16.20	-1.58	خشک سرد
1996	7.42	خشک	18.84	-1.26	خشک سرد
1997	10.38	نیمه‌خشک	23.09	-4.27	خشک سرد
1998	9.83	خشک	24.06	-2.11	خشک سرد
1999	8.28	خشک	22.05	1.51	معتدل
2000	6.26	خشک	15.02	-2.95	خشک سرد
2001	7.05	خشک	17.11	-2.17	خشک سرد
2002	7.75	خشک	18.70	-0.34	خشک سرد
2003	9.56	خشک	25.20	0.34	معتدل
2004	12.34	نیمه‌خشک	31.85	0.57	نیم‌خشک معتدل
2005	9.74	خشک	23.43	-3.45	خشک سرد
2006	8.22	خشک	21.45	1.60	معتدل
2007	11.64	نیمه‌خشک	30.78	0.32	نیمه‌خشک معتدل
2008	5.03	خشک	11.03	-7.33	خشک سرد
2009	13.37	نیمه‌خشک	33.21	0.35	نیمه‌خشک معتدل
2010	7.80	خشک	21.56	0.07	معتدل
2011	13.70	نیمه‌خشک	32.64	-1.25	نیمه‌خشک سرد
2012	9.07	خشک	21.66	-3.53	خشک سرد
2013	9.16	خشک	25.20	-0.02	خشک سرد
2014	9.16	خشک	19.29	-6.93	خشک سرد
2015	7.54	خشک	18.22	-2.68	خشک سرد
2016	9.11	خشک	24.38	-1.98	خشک سرد
2017	11.12	نیمه‌خشک	29.15	-2.25	خشک سرد
2018	8.60	خشک	21.95	-0.32	خشک سرد
2019	14.84	نیمه‌خشک	37.05	-1.36	نیمه‌خشک سرد
2020	11.73	نیمه‌خشک	30.39	-0.62	نیمه‌خشک سرد
2021	3.74	خشک	9.97	-2.13	خشک سرد

متغیرهای روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن براساس دما و بارش میانگین در شکل (۷)، ارائه شده است.

همانطور که در جدول (۶) مشخص است براساس روش دومارتن، اقلیم منطقه در دو طبقه‌بندی خشک و نیمه‌خشک نوسان کرده و براساس طبقه‌بندی آمبرژه اقلیم‌های متفاوتی از خشک سرد تا معتدل شناسایی شده است.

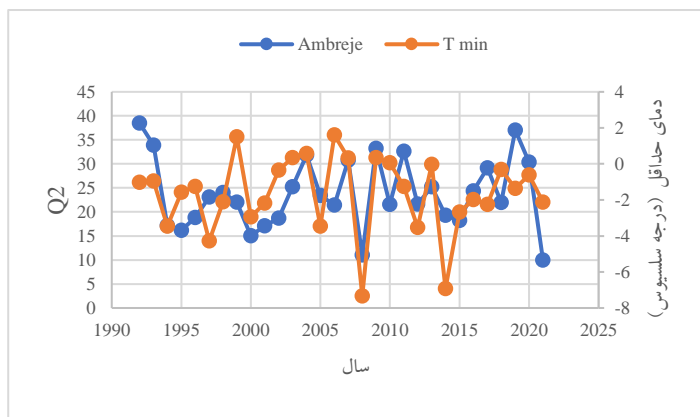


شکل ۷. مقایسه نوسان‌های متغیرهای الف- دمای میانگین و ب- بارندگی با مقادیر عددی روش دومارتن ایستگاه نیشابور در دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱.

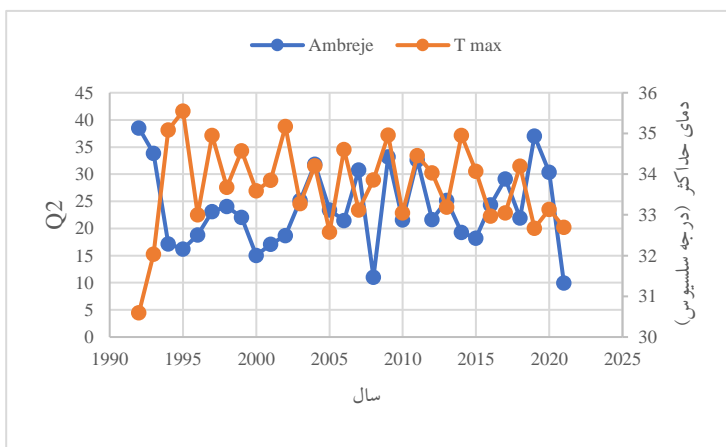
وضعیت مقایسه‌ای تغییرات مقدار دمای بیشینه، کمینه و میانگین بارندگی نسبت به مقدار عددی آمبرژه در شکل (۸)، ارائه شده است.

همانطور که در این شکل مشخص است، متغیر بارش تاثیر بیشتری نسبت به دما در این روش دارد. با افزایش یا کاهش مقدار بارندگی روش دومارتن حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد، اما افزایش یا کاهش پارامتر دمای میانگین تاثیر کمتری روی روش دومارتن دارد.

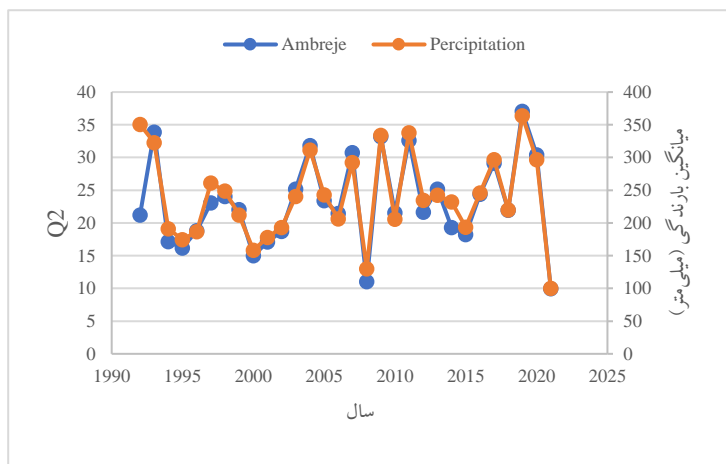
الف



ب.



ج



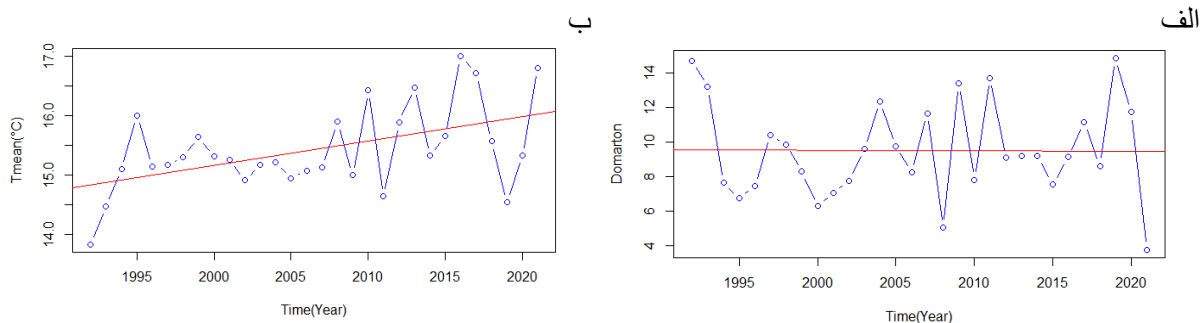
شکل ۸. بررسی اثر پارامترهای الف- دما کمینه ب- دمای بیشینه و ج- بارندگی بر مقدار عددی آمبرژه، ایستگاه نیشابور، دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱

تاریخ کاشت، داشت و برداشت و حتی برنامه ریزی شهری تاثیر گذار است. از شکل های (۷ و ۸) می توان نتیجه گرفت که روش های آمبرژه و دومارتن به نوسانات دما حساسیت کمتری دارند. بنابراین با توجه به موضوع گرمایش جهانی پیشنهاد می شود که باید از نمایه هایی برای طبقه بندی اقلیمی استفاده کرد که به نوسانات و یا تغییرات دمایی حساسیت

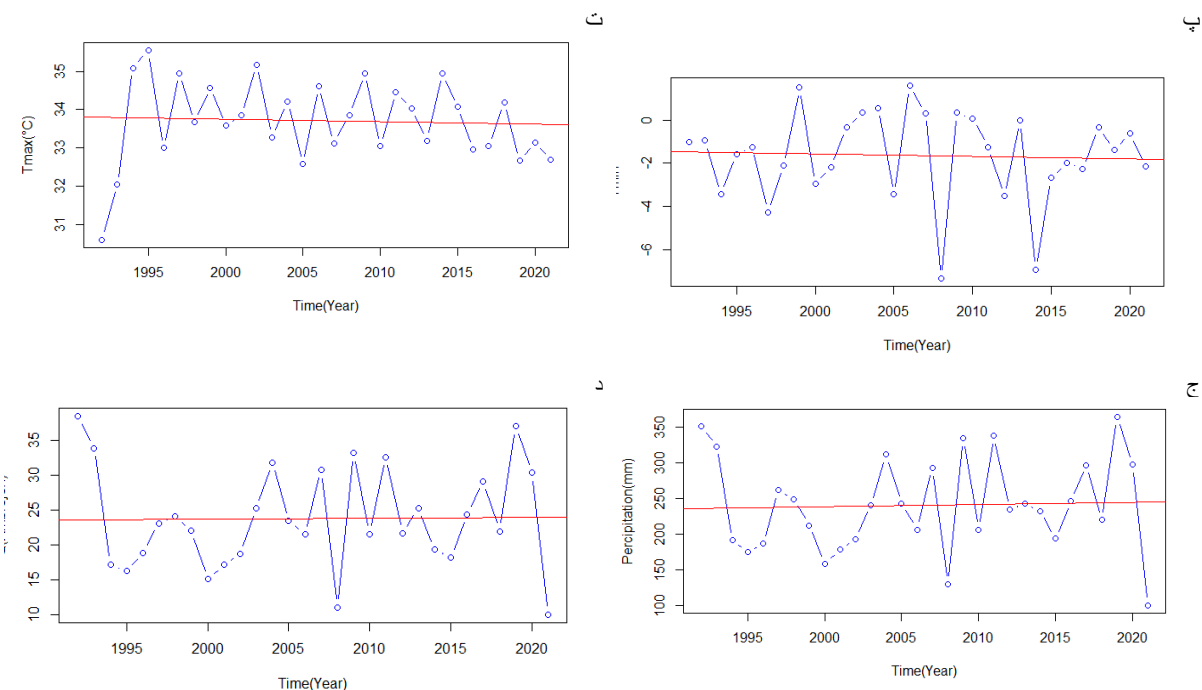
همانطور که در این شکل مشخص است، در بین پارامترهای دمای تفکیک شده بیشینه، کمینه و بارش در روش آمبرژه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییر بارندگی در مقایسه با دو متغیر دمای بیشینه و دمای کمینه دارد. در حالی که یک درجه افزایش یا کاهش دماهای بیشینه، کمینه و میانگین در مناطق خشکی مثل نیشابور بر روی برنامه ریزی آبیاری، زراعی،

(۱۰)، روند مقادیر عددی روش طبقه‌بندی آمبرژه و همچنین روند مقادیر متغیرهای مورد بررسی در این روش در دوه آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) با استفاده از آزمون من کندال اصلاح شده نشان داده شده است.

بیشتری داشته باشند. از طرف دیگر، نمایه‌های فرین هواشناسی که داده‌های خام هواشناسی را به اطلاعات کاربردی‌تر تبدیل می‌کند، در ارتباط با موضوع تغییر اقلیم و اثرات آن بر نیاز آبی گیاه می‌توانند مفیدتر واقع شوند. در شکل (۹)، روند مقادیر عددی روش دومارتن و روند مقادیر دما در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) و در شکل



شکل ۹. الف- سری زمانی مقادیر عددی روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن ب- سری زمانی دمای میانگین مورد استفاده در روش طبقه‌بندی دومارتن، ایستگاه نیشابور، دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱



شکل ۱۰. الف- سری زمانی کمترین دماهای روزانه سردترین ماه سال، ب- سری زمانی بیشترین دماهای روزانه گرمترین ماه سال، پ- سری زمانی دمای مینیمم، ت- سری زمانی دمای ماکزیمم، ج- سری زمانی مقادیر بارندگی سالانه د- سری زمانی مقادیر روش طبقه‌بندی خشکسالی آمبرژه ایستگاه نیشابور، دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۱.

جدول ۷- روند ارامترهای موثر و مقادیر عددی روش دومارتن و آمبرژه با روش ناپارامتریک من کندال اصلاح شده (هر طیف رنگی در جدول نشان‌دهنده یک سطح معنی‌داری)

نماد	روش مورد استفاده	Corrected Zc	P-value	Tau	Sen's slope
Percipitation(mm)	آمبرژه، دومارتن	1.777 *	0.076	0.085	1.085
Tmean(°C)	دومارتن	6.401 ***	0.000	0.315	0.034

Climate classification	دومارتن	1.157 ^{ns}	0.247	0.057	0.031
Tmax(°C)	آمبرژه	-1.639 ^{ns}	0.101	-0.136	-0.032
Tmin(°C)	آمبرژه	-0.750 ^{ns}	0.453	-0.032	-0.011
Q(Ambrejech)	آمبرژه	1.320 ^{ns}	0.187	0.062	0.079

ns: بدون روند، ***: سطح معنی داری در سطح ۹۹ درصد، **: سطح معنی داری در سطح ۹۵ درصد، *: سطح معنی داری در سطح ۹۰ درصد

دستگاه‌های اجرایی نظیر سازمان هواشناسی کشور، وزارت نیرو، وزارت کشور و ... برای بیان طبقه‌بندی اقلیمی به روش‌های طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه استناد می‌شود، در این پژوهش استفاده از این دو روش طبقه‌بندی بررسی شد. با بررسی‌های انجام شده و براساس روابط موجود برای این روش‌های طبقه‌بندی که از مقادیر متوسط دو پارامتر (دمای بیشینه و کمینه) موثر بر تغییر اقلیم استفاده می‌شود، مشاهده شد این دو پارامتر تاثیر چندانی روی نتیجه‌گیری‌های طبقه‌بندی دو روش نداشتند. با این هدف نیاز است روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی با این دو روش و سایر روش‌های طبقه‌بندی براساس شرایط جدید آب‌وهوایی (تغییرات دمایی و بارش) منطقه بومی‌سازی کرد. لازم به ذکر است استفاده از این طبقه‌بندی برای هر منطقه‌ای کارآمد نمی‌باشد و در بعضی از مناطق مانند نیشابور اقلیم منطقه تا معتدل هم شناسایی شد که این اقلیم برای این منطقه غیرواقعی می‌باشد. چون برای یک ماه از سال (سردترین ماه سال) به دمای کمینه و یک ماه از سال (گرمترین ماه سال) به دمای بیشینه استناد می‌کند، درحالی‌که اقلیم کشور و منطقه نیشابور چهار فصل است. بنابراین در این اقلیم و بخش‌های وسیعی از کشور که دارای شرایط اقلیمی مشابه است، این طبقه‌بندی اقلیمی نمی‌تواند جوابگو باشد. برای اقلیم منطقه نیشابور که از ۲۵- تا ۴۳+ اختلاف دما دارد، در طول یک سال بررسی دو ماه صحیح نمی‌باشد. بنابراین نیاز است طبقه‌بندی بومی‌سازی شود.

برای بومی‌سازی نمایه‌ها در هر منطقه می‌توان علاوه بر در نظر گرفتن آستانه‌هایی برای نمایه‌های فرین، برای دامنه دمایی و بارش در هر فصل وزنی مربوط به آن فصل تعیین شود که باتوجه به تنوع آب‌وهوایی و چهار فصل بودن اقلیم ایران را برگیرد.

۴. نتیجه‌گیری

در شکل‌های (۹ و ۱۰) و جدول (۷) طبقه‌بندی اقلیمی براساس دو روش دومارتن و آمبرژه و روند متغیرهای این دو روش با استفاده از آزمون من- کندال آزمون شد. در شکل‌ها مشاهده می‌شود طبقه‌بندی به هر دو روش آمبرژه و دومارتن در سطح ۹۰٪ معنی دار نمی‌باشد. درحالی‌که برای متغیر دمای میانگین مورد استفاده در روش دومارتن در جدول (۷)، مشاهده می‌شود در سطح ۹۹٪ معنی دار و روند آن افزایشی است و گرم شدن هوای منطقه را بیان می‌کند و برای نمایه‌های فرین گرم، سرد و بارش در سطح ۹۹٪ و ۹۵٪ روند معنی داری وجود دارد و نشان‌دهنده افزایش دمای منطقه می‌باشد.

بر اساس مطالعات این پژوهش، پیشنهاد می‌شود:

برای نمایه‌های فرین، آستانه‌ای تعریف شود که آن آستانه براساس کاربرد برنامه‌ریزی‌های هیدرولوژی، زراعی و شهری تاثیرگذار باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد نمایه‌های فرین یک معیاری است که با استفاده از آن بررسی شود در طول زمان در اثر تغییرات اقلیمی وضعیت منطقه چه تغییری کرده و چه برنامه‌ریزی برای مواجهه با شرایط اقلیمی جدید باید در نظر گرفته شود. بنابراین با کمک آستانه‌ای که برای این نمایه‌ها در نظر گرفته می‌شود با اطمینان بیشتری می‌توان طبقه‌بندی اقلیمی منطقه را بر اساس روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی (دومارتن و آمبرژه) تصحیح و توصیف کرد و میزان انطباق این طبقه‌بندی با روند تغییرات نمایه‌های فرین را نزدیک کرد.

براساس گزارش‌های IPCC که در آن گرمایش جهانی اتفاق افتاده است، در ایران نیز تغییر در الگوهای بارشی، موجودی منابع آب سطحی و الگوی کشت محصولات کشاورزی مشاهده شده است. همانطور که در این پژوهش مشاهده شد بر اساس تحلیل روند نمایه‌های فرین گرم، سرد و بارش در سطح معنی داری ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد تغییر اقلیم در نیشابور اتفاق افتاده است. از آنجایی‌که در اسناد مطالعاتی خروجی

پژوهشگران نام برده شده می‌توان بیان کرد تغییر اقلیم در جهان در حال رویدادن می‌باشد. برای بررسی روند تغییرات در منطقه دشت نیشابور از طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن استفاده شد. در نهایت نتایج تحلیل‌ها نشان داد که در نمایه‌های فرین دمایی و بارندگی با متغیر دمایی کمینه و بیشینه روند قابل توجهی وجود دارد در حالی که در هر دو روش طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه متغیر موثر بر طبقه‌بندی اقلیمی، بارندگی می‌باشد و متغیرهای دمایی کمینه، بیشینه و میانگین تاثیر چندانی ندارد. از آنجایی که ارزیابی روند تغییرات اقلیمی در برنامه‌ریزی‌های شهری، برنامه‌ریزی آبیاری، زراعی، تاریخ کاشت، داشت، برداشت و ... تاثیر گذار است پیشنهاد می‌شود تنها به طبقه‌بندی‌های اقلیمی بسنده نشود و نمایه‌های فرین دما و بارش منطقه نیز بررسی شود. چون این دو شیوه طبقه‌بندی برای یک ماه از سال (سردترین ماه سال) به دمای کمینه و یک ماه از سال (گرمترین ماه سال) به دمای بیشینه استناد می‌کند، درحالی‌که اقلیم کشور و منطقه نیشابور چهارفصل است. بنابراین در اقلیم این منطقه که از ۲۵- تا ۴۳+ اختلاف دما دارد در طول یک سال بررسی دو ماه صحیح نمی‌باشد. بنابراین ضروری است طبقه‌بندی بومی انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود دقت روش‌های دیگر طبقه‌بندی اقلیمی نیز نسبت به نمایه‌های فرین دما و بارندگی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۵. فهرست منابع

۱. احمدی، ف.، زمانی، ر.، محمودی، ا.، رادمنش، ف. و امیر رضائیه، ف. ر.، ۱۳۹۴، بررسی وقوع تغییرات اقلیمی در حوضه‌های آبریز با استفاده از تحلیل ایستایی و روند (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز ارمند)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۵، صفحات ۴۵-۶۲.
۲. انصاری، م.، نوری، غ. ر. و فتوحی، ص.، ۱۳۹۵، بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز

در این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه همدید نیشابور، ۲۸ نمایه فرین دما و بارندگی مورد تایید هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در دشت نیشابور و در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) محاسبه شد. سپس روند این نمایه‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتریک اصلاح شده من کندال با رویکرد Yue و Wang و همچنین آزمون شیب سن، محاسبه شده و مورد تحلیل قرار گرفت.

برای نمایه‌های سری زمانی بارندگی، نمایه R10 و SDII که مربوط به شدت بارندگی است در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است (مطابق پژوهش نساجی زواره و قرمز چشمه، ۱۳۹۸). اما نمایه‌های R95p و PRCPTOT که مربوط به مقدار بارش هستند و در سطح ۹۰٪ معنی‌دار هستند، در این سطح از معنی‌داری (که پایین‌ترین سطح مورد بررسی در این پژوهش است) قابل اعتماد نمی‌باشد. این به آن معنا است که تغییرات سالانه بارندگی موجب کاهش یا افزایش قابل توجه در میانگین بارندگی نشده اما الگوی بارش در طول دوره آماری دستخوش تغییرات شده است. به این صورت که دو نمایه که بیانگر شدت بارش است هر دو دارای روند افزایشی است و نشان می‌دهد که بارش قابل توجه در مدت زمان کوتاه رخ می‌دهد. در چنین شرایطی بخشی از آب حاصل از بارندگی تبدیل به رواناب شده و به سرعت از دسترس گیاه خارج می‌شود. روند افزایشی در نمایه‌های فرین گرم (SU، TR، TXx، TNx، TN90p و WSDI)، افزایش و کاهش نمایه‌های فرین سرد (FD و TXn) و افزایش نمایه‌های فرین دامنه‌های دمایی (ETR و DTR) که مطابق پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۴)؛ Castillo-Mateo و همکاران (۲۰۲۳)، انصاری و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و همکاران (۱۳۹۶) و جوکار و همکاران (۱۴۰۰) می‌باشد، موجب تغییر جنس بارش‌ها از برف به باران شده که این موجب کاهش فرصت ذخیره‌سازی آب حاصل از بارش و همچنین افزایش تبخیر، تعرق و از دست رفتن سریع‌تر منابع آب تجدیدپذیر می‌شود. وجود روند در نمایه‌های فرین دما و بارندگی می‌تواند ناشی از اثر فعالیت‌های بشری، تغییر اقلیم و یا تغییرات تدریجی باشد که براساس تطبیق پژوهش‌های انجام شده توسط

- <https://doi.org/10.1007/s40009-022-01109-7>.
25. Kattenberg, A. Filippo G. 2001, The scientific of climate change, The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, pp.156-159.
 26. Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London, UK.
 27. Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374: 171-183.
 29. Mann, H. B. 1945. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.
 30. Mateo, J.C, Cebrian, A.C, Asín, J, 2023. Statistical analysis of extreme and record-breaking daily maximum temperatures in peninsular Spain during 1960–2021. 293(2023)106934.
 31. Mianabadi, A., Shirazi, P., Ghahraman, B., Coenders-Gerrits, A. M. J., Alizadeh, A., and Davary, K. 2019. Assessment of short- and long-term memory in trends of major climatic variables over Iran: 1966–2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1–2), 677–691.
 32. Partal, T. and Kahya, E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrology. Process.* 20, 2011–2026. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5993>.
 33. Peterson, T.C. and Vose, R. S. 1997. An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 78. pp. 2837-2850. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2837:AOOTGH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2837:AOOTGH>2.0.CO;2)
 34. Rawshan Othman, Ali. and Shadan Rashid, Abubaker. 2019. Trend analysis using mann-kendall, sen's slope estimator test and innovative trend analysis method in Yangtze river basin, china: review. *International Journal of Engineering & Technology*, 8 (2) (2019) 110-119. Website: www.sciencepubco.com/index.php/IJET
 19. Hatfield, J. L., and Prueger, J. H. 2015: Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10, doi:10.1016/j.wace.2015.08.001.
 20. IPCC. 2007.a: Assessment Report 4, Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC.
 21. IPCC. 2007b. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change (2007), The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/ New York, USA.
 22. IPCC. 2012: Summary for Policymakers. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–22, doi:10.1017/cbo9781139177245.003.
 23. IPCC, 2021: Annex VI: Climatic Impact-driver and Extreme Indices [Gutiérrez J.M., R. Ranasinghe, A.C. Ruane, R. Vautard (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2205–2214, doi:10.1017/9781009157896.020.
 24. Jain, K., Gupta, G., Verma, K. K, and Agarwa, A. 2022. Climatic Classification of India for Building Design Using Data Analytics. *National Academy Science Letters*, 45(3): 235-239.

- Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi:10.1017/9781009157896.013.
38. Xu, X., Jiang, H., Guan, M., Wang, L., Huang, Y., Jiang, Y., and Wang, A. 2020. Vegetation responses to extreme climatic indices in coastal China from 1986 to 2015. *Science of the Total Environment*
39. Yang, T., Hao, X., Shao, Q., Xu, C., Zhao, C., Chen, X. and Wang, W. 2012. Multi-model ensemble projection in temperature and precipitation extremes of the Tibetan Plateau in the 21st century, *Global and Planetary Change*, 80-81, pp.1-13.
40. Yue, S. and Wang, C. Y. 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18(3): 201–218. <doi:10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>
35. Sen, P. K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American statistical Association*, 63(324): 1379. doi:10.2307/2285891.
36. Senent-Aparicio, J., Lopez-Ballesteros, K., Jimeno-Saez, P., and Sanchez, J. P. 2023. Recent precipitation trends in Peninsular Spain and implications for water infrastructure design, 2023. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 45 (2023) 101308
37. Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I.