

## بررسی ناهنجاری‌های دمایی دوره سرد سال. محدوده مورد مطالعه: استان مازندران

اسماعیل شاهکویی<sup>۱\*</sup>، عبدالعظیم قانقرمه<sup>۲</sup> و ربابه یوسفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان

<sup>۲</sup>استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان

<sup>۳</sup>کارشناس ارشد مخاطرات آب و هوایی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۰

### چکیده

دما یکی از مهمترین عناصر اقلیمی است که تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه‌ای را دگرگون سازد. بنابراین از جمله اهداف این تحقیق ارزیابی ناهنجاری‌های آن در استان مازندران می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به صورت روزانه است که شامل دو گروه داده‌های بیشینه و کمینه دما و فشار در سطح دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در این تحقیق انحرافات مثبت دمایی با تداوم‌های بالاتر از یازده روز به‌عنوان شاخص ناهنجاری‌های دمایی در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد فراوانی ناهنجاری‌های دمایی در ایستگاههای مختلف استان تفاوت قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهد این موضوع حاکی از آن است که ناهنجاری‌های دمایی در مقیاس کلان توسط عوامل آب‌وهوایی خارج از مقیاس محلی کنترل می‌شوند. با این وجود به صورت جزئی تکرار ناهنجاریها به ویژه در دماهای بیشینه در ایستگاه‌های کوهستانی بیشتر از ایستگاه‌های ساحلی و جلگه‌ای استان بوده است. بدین منظور رابطه ناهنجاری‌ها با شاخص مداری مورد ارزیابی قرار گرفت، به طوری که مشخص گردید شاخص مداری برآورد شده واقع در منطقه مورد مطالعه رابطه بالایی را با ناهنجاری‌های دمایی استان نشان می‌دهد. علاوه بر این ارزیابی تغییر ناهنجاری‌ها توسط آزمون من-کندال حاکی از وجود روند معنی‌دار افزایشی در فراوانی ناهنجاری‌های رخ داده در اکثر ایستگاهها می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دمای بیشینه و کمینه، ناهنجاری دما، رگرسیون درختی، آزمون من-کندال، مازندران

### مقدمه

محصولات کشاورزی تاثیر به‌سزایی داشته و تغییرات بارشود ما باعث بروز تغییراتی در برداشت محصول می‌شود و این تغییرات می‌تواند باعث فراوانی محصول یا خشکسالی و کاهش محصول و به دنبال آن باعث رکود اقتصادی شود (رحیمی بدر و یزدانی، ۱۳۸۶). در حال حاضر پدیده‌های حدی اقلیم در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند زیرا خطر افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی به‌وسیله افزایش گازهای گلخانه‌ای و آتروسول‌ها در جو افزایش یافته است (هوقتون<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۶). از انجایی که دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم یک منطقه است، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد، به همین دلیل بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بخش بزرگی از

در پارامترهای اقلیمی از جمله دما تغییرپذیری و نوسانات شدیدی وجود دارد که از سالی به سال دیگر متفاوت است. این تغییرپذیری تاثیرات معنی‌داری روی موجودات زنده و معیشت ساکنان آن دارد. اکوسیستم‌ها و بخشهای مختلف فعالیتهای انسانی به پدیده‌های حدی اقلیمی حساس‌اند که این پدیده‌ها شامل بارش‌های سنگین، سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و دماهای پایین و بالا هستند. در سال‌های اخیر با روند افزایشی دما به علت پدیده گلخانه‌ای رخداد و شدت ناهنجاری‌های دمایی در طول سال افزایش یافته است که تاثیر زیادی بر کشاورزی منابع آب، تقاضای انرژی و مرگ و میر انسان داشته است. اقلیم بر عملکرد

می‌کنند که سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱ بیش از ۵/۱ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بنابراین با تاکید بر گرمایش جهانی، دما یکی از مهم‌ترین مولفه‌های اقلیمی است که مطالعات بیشماری را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است.

ین<sup>۵</sup> (۱۹۹۹) در پروژه‌ی پژوهشی خود روی نوسان‌های دمای زمستانی در نواحی شمالی چین، به این نتیجه رسید که عامل اصلی بی‌نظمی‌های دما در این منطقه، مربوط به سامانه گردش جوی برون حاره است. یو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های صدساله<sup>۷</sup> مولفه‌ی سالانه و ماهانه دما، تغییرات این دو متغیر را برای سرتاسر ژاپن مورد واکاوی قرار دادند. آنها با به کارگیری روش من-کندال به این نتیجه رسیدند که تغییرات دمای سالانه از ۰٫۵ درجه در سال ۱۹۰۰ به ۲/۸ درجه سلسیوس در سال ۱۹۹۶ افزایش یافته است.

تورکش<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی تغییرات دمای (حداقل، متوسط و حداکثر) ترکیه در دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۲۹ پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داده که دمای متوسط بهار، زمستان و دمای سالانه افزایش پیدا کرده که این افزایش در نواحی جنوب ترکیه محسوس‌تر بوده است. دمای متوسط تابستان و پاییز، به خصوص در نواحی شمالی و داخلی روند کاهشی داشته است. همچنین نتایج نشان داد که اکثر مناطقی که با پدیده شهرنشینی مواجه بوده‌اند، گرمایش شبانه به خصوص در دوره‌های گرم و خشک سال را تجربه کرده‌اند. لوسیو<sup>۸</sup> و همکاران تغییرات رخداد دماهای فرین مناطق قارهای پرتغال را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که فراوانی رخداد دماهای فرین قابل ملاحظه است. آنها علت این امر را تغییر-پذیری طبیعی سیستم‌های اقلیمی و فعالیت‌های انسان می‌دانند که به افزایش گازهای گلخانه‌ای و تمرکز آن در جو منجر می‌شود (لوسیو و همکاران، ۲۰۱۰).

تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است (عساکره، ۱۳۸۵: ۳۹). ناهنجاری‌های دمایی به‌ویژه در دوره سرد سال می‌توانند باعث تخریب محصولات کشاورزی و از بین رفتن جوامع گیاهی، اکوسیستم‌ها، آسیب به تاسیسات و سازه‌ها، به خطر افتادن امنیت غذایی و در نهایت مرگ انسانها شوند. در برنامه‌ریزی کشاورزی و نیز بسیاری از برنامه‌هایی که به مسائل زیست محیطی، بهداشتی، شهرسازی و صنعتی مربوط می‌شود، مطالعه و بررسی دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی پژوهشگران نشان داده است که در اکثر نقاط جهان، دما در طی دو دهه گذشته رو به افزایش بوده است (مسعودیان، ۱۳۸۳) و دمای میانگین جهانی با افزایش ۰/۶ درجه سلسیوس مواجه است (سازمان هواشناسی جهانی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳) تحلیل و بررسی داده‌های آماری دمایی نیم کره شمالی نشان می‌دهد که روند افزایش دما در قرن بیستم، احتمالاً حداکثر دمایی است که در طی ۱۰۰۰ سال اخیر رخ داده است (کریستین کوپه<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). بر پایه پژوهش راگاساکی<sup>۳</sup> و ساندرول<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) روند آینده گرمایش در عرض‌های بالای نیم کره شمالی نسبت به استوا و طی زمستان نسبت به تابستان و نیز در نواحی درونی خشکی‌ها نسبت به نواحی کرانه‌ای بیشتر خواهد بود. بنابراین با توجه گرمایش جهانی و حساسیت تغییرات دمایی به خصوص بر روی محصولات کشاورزی که تامین‌کننده اولیه مواد غذایی در جهان می‌باشند و با توجه به اینکه استان مازندران یکی از قطب‌های تولید مرکبات در کشور است ضرورت می‌نماید که ناهنجاری‌های حادث شده در دوره سرد سال شناسایی و بررسی شود.

### مبانی نظری

طبق پنجمین گزارشی که IPCC در سال ۲۰۱۳ منتشر کرد، تردیدی در گرمایش سیستم‌های اقلیمی وجود ندارد و اغلب مدل‌های اقلیمی پیش بینی

5. Yin  
6. Yue  
7. Turkes  
8. Lucio

1. WHO  
2. Koppe  
3. Ragasakthi  
4. Sandarvel

قرار دادند و برای شناسایی روزهایی که فرین گرم رخ داده بود از شاخص فومیایکی استفاده کردند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴)، در بررسی تغییر اقلیم در دشت مشهد به مطالعه تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین و تغییرات درجه حرارت در طول دوره‌های آماری دراز مدت پرداختند. در پژوهش مذکور روند تغییرات درجه حرارت با روش‌های رگرسیون، بین دمایی هوا و زمان وقوع و روش من-کندالولتنمایر مورد بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات در اغلب ماه‌ها مثبت و افزایشی بوده و می‌توان از این تغییرات به عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم نامبرد.

یک روش کارآمد برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی مقادیر عددی روش رگرسیون درختی است که محققانی مانند باتاچاریا<sup>۲</sup> و سولوماتین<sup>۳</sup> (۲۰۰۳)، سولوماتین و دولال<sup>۴</sup> (۲۰۰۳)، سولوماتین و سیک<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، سولوماتین و همکاران (۲۰۰۴)، از مدل درختی در مطالعات کاربردی خود استفاده کرده‌اند و آن را هم‌تراز با شبکه عصبی دانسته‌اند. در ایران حبیبی و همکاران (۱۳۹۲) توانایی مدل درختی را جهت برآورد تابش رسیده به سطح زمین مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را با نتایج مدل انگستروم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هر دو مدل با همبستگی بالایی میزان تابش رسیده به سطح زمین را برآورد می‌کنند ولی دقت مدل درختی بالاتر بوده است. فلاح و همکاران (۱۳۹۳) نیز جهت بررسی رابطه بین خشکسالی با متغیرهای اقلیمی پیوند از دور از مدل رگرسیون درختی استفاده کردند که نتایج تحقیق حاکی از همبستگی بالایی بین شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای پیوند از دور بوده است.

### محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان مازندران است که در بین شهرهای این استان ۲۴ شهر که دارای ایستگاه سینوپتیک‌اند به‌عنوان نماینده استان انتخاب شده‌اند.

چوی<sup>۱</sup> و همکاران تغییرات رخدادهای فرین و میانگین دما و بارش را در مناطق آسیایی اقیانوس آرام طی دوره ۱۹۵۵-۲۰۰۷ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تغییرات بارش و دما نسبت به میانگین‌ها طی دوره مورد مطالعه بسیار زیاد است. روند معنی‌دار بارش‌های فرین در کمتر از ۳۰ درصد پیمونگاه‌ها مشاهده شد، در حالی که دماهای فرین در بیشتر از ۷۰ درصد پیمونگاه‌ها دارای روند معنی‌دار است (چوی و همکاران، ۲۰۰۹).

همچنین محققان داخلی نیز به بررسی دماهای فرین و روند تغییرات و فراوانی آنها پرداخته‌اند. براتی و موسوی (۱۳۸۴) با استفاده از داده‌های بالاترین دماهای ماهانه و محاسبه نمره Z آنها موج‌های گرمایی دوره سرد سال را برای ۲۱ ایستگاه هواشناسی ایران شناسایی کردند و به این نتیجه رسیدند که هسته‌های گرمایی و شدت روند افزایشی دما در ایستگاه‌های مناطق کوهستانی و برف‌گیر شمال غرب، شمال و تا حدودی غرب از مناطق جنوب ایران بیشتر است و ذخایر سالانه ی برف آنها در آینده با شتاب بیشتری ذوب می‌شود.

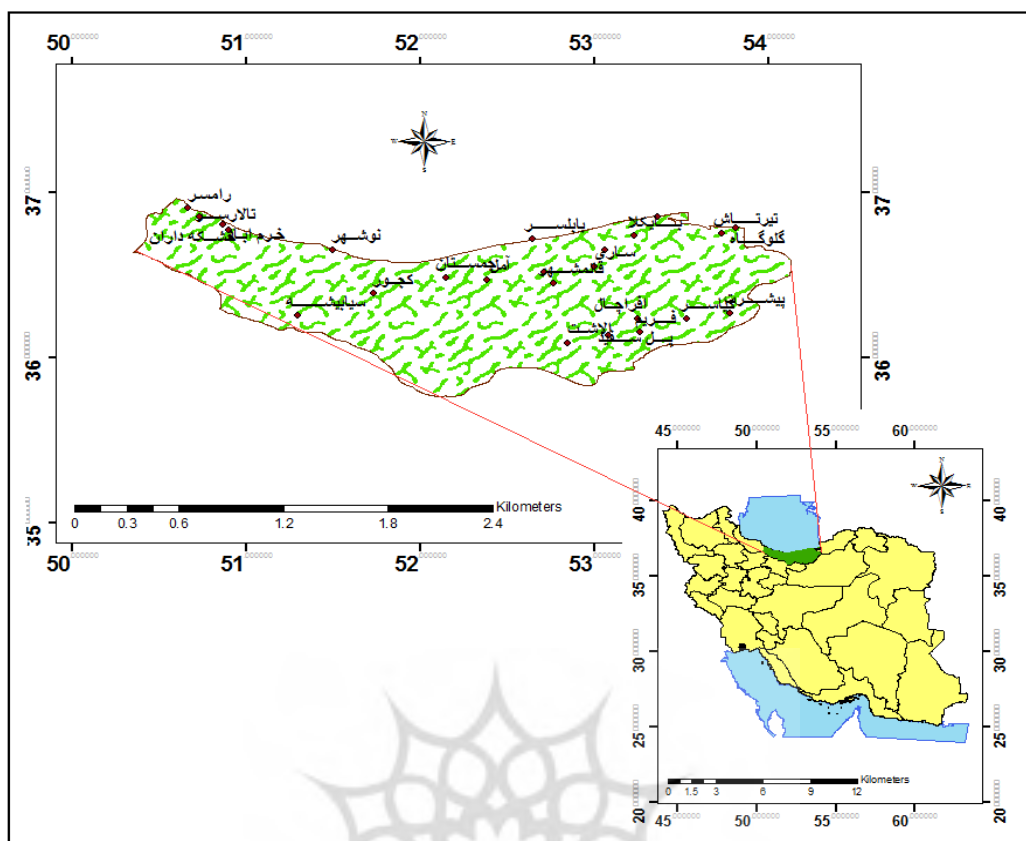
احمدی و میرحاجی (۱۳۹۰) زمان وقوع امواج گرمایی و پدیده‌های حدی اقلیمی استان قزوین طی یک دوره آماری ۲۵ ساله و تاثیر تنش گرمایی بر رشد گیاه ذرت را مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد وقتی امواج گرمایی افزایش یابد و از آستانه تحمل گیاه بالاتر رود، بر روی محصولات تاثیر منفی می‌گذارد و در نتیجه باعث کاهش میزان تولید و یا باعث از بین رفتن محصولات می‌شود.

یزدان پناه و همکاران (۱۳۹۱) روند تغییرات دماهای حداکثر سالانه کرمانشاه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ به منظور شناسایی و بررسی خصوصیات زمانی و مکانی روزهای داغ را با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری در آزمون من-کندال بود.

منتظری و مهدیه (۱۳۹۰) گرمای فرین سال ۸۲ در اصفهان را با استفاده از دمای بیشینه مورد بررسی

2. Bhattacharya  
3. Solomatine  
4. Dulal  
5. Siek

1. Choi



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه.

### روش تحقیق

با آزمون های ران تست و کلموگروف-اسمیرونوف انجام گرفت و نتایج حاکی از تصادفی و نرمال نبودن داده-های واقعی و بازسازی شده ی دمای استان می باشد. روش انجام این تحقیق بدین صورت بوده است که انحرافات مثبت دمایی با تداوم بیش از ۱۱ روز به عنوان مبنایی برای ناهنجاری در دوره ی سرد سال تعیین گردید. به منظور تعیین ناهنجاری های دمایی ابتدا میانگین روزانه ۳۶۵ روزه برای یک دوره چهل ساله با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$Tm = \frac{\sum_{i=1}^{365} xi}{n}$$

که در این رابطه  $Tm$  میانگین دراز مدت هر روز،  $xi$  دمای روزهای طول دوره ی آماری و  $n$  تعداد سالهای دوره آماری است.

سپس در مرحله بعد از طریق رابطه (۲) انحرافات دمایی مشخص گردید.

$$d = xi - Tm \quad \text{رابطه (۲)}$$

داده های مورد استفاده در این تحقیق به صورت روزانه برای دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ در نظر گرفته شدند که دو گروه داده های محیطی شامل دمای بیشینه و کمینه ۲۴ ایستگاه هواشناسی زمین و داده-های فشار در سطح دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال دریافت شده از سایت CRU در امتداد محور ۵۲/۵ درجه شرقی می باشد. در این تحقیق چهار ماه ژانویه، فوریه، مارس و سپتامبر به عنوان دوره سرد سال در نظر گرفته شد. به منظور همسان سازی در ایستگاه های مختلف با استفاده از روش همسایگی و همبستگی نزدیکترین ایستگاهها، کمبود داده ها تکمیل شدند. نحوه بازسازی داده ها بدین شکل بود که ابتدا ایستگاهی که دارای طولانی ترین آمار روزانه بود مشخص گردید و سپس از طریق همسایگی به تدریج کل ایستگاه های استان مورد بازسازی روزانه قرار گرفت. آزمون تصادفی و نرمال بودن داده ها به ترتیب

باشد. برای محاسبه‌ی کاهش انحراف استاندارد از رابطه (۴) استفاده می‌شود. پس از بررسی همه دسته‌بندی‌های ممکن، مدل درختی یکی را انتخاب می‌کند که دارای حداقل خطای مورد انتظار باشد. دومین گام در طراحی مدل شامل هرس درخت کاملاً رشد یافته و جایگزینی زیر شاخه‌ها با توابع رگرسیون گیری درختی است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲).  
رابطه (۴)

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{T_i}{T} sd(T_i)$$

T نشان‌دهنده مجموعه‌ای از نمونه‌ها است که به هر گره وارد شده‌اند،  $T_i$  زیرمجموعه نمونه‌های انتخاب شده از دسته‌ای که حداقل خطای انحراف را دارند و sd انحراف استاندارد داده‌های ورودی است. به منظور ارزیابی عملکرد مدل و اعتبارسنجی نتایج مدل درختی از آماره‌های میانگین مربع خطاها (RMSE)، میانگین خطای مدل (MAE)، آماره میانگین انحراف خطاها (MBE) استفاده شد.

رابطه (۵)

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)(Y_i - Y_m)]^2}{[\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2][\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2]}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه‌ها  $X_i$ ، مقادیر داده‌های واقعی و  $Y_i$  مقادیر داده‌های پیش‌بینی شده،  $X_i$  و  $Y_i$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در کل جامعه آماری می‌باشند و n معرف تعداد کل نمونه‌هاست.

همچنین برای بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمون آماری دوربین-واتسون<sup>۲</sup> استفاده گردید. یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، استقلال خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر

که  $X_i$  دمایی واقعی هر روز در دوره مورد مطالعه و  $T_m$  میانگین به دست آمده از رابطه (۱) می‌باشد و d نشان‌دهنده انحرافات از میانگین است که در این پژوهش انحرافات مثبت برای شناسایی ناهنجاری‌ها در نظر گرفته شد. در مرحله بعد فراوانی وقوع ناهنجاری‌ها با طبقات تداوم ۱۵-۱۱، ۲۰-۱۶، ۲۵-۲۱، ۳۰-۲۶، ۳۵-۳۱، ۴۰-۳۶ و بالاتر از ۴۰ روزه بررسی شد.

در گام بعدی پس از مشخص شدن فراوانی وقوع، علت همدیدی ناهنجاری‌ها در ارتباط با شاخص مداری ارزیابی شد. شاخص مداری عبارتست از تفاوت فشار سطح دریا بین مدارات ۳۵ درجه و ۵۵ درجه شمالی در امتداد یک نصف النهار یا اختلاف باد ژئوستروفیک مدارات مربوطه در سطوح بالای اتمسفر (علیجانی، ۱۳۸۱) که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Z = p35 - p55 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این تحقیق شاخص مداری در سطح SLP و در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در امتداد نصف النهار ۵۲/۵ درجه محاسبه شد. همچنین از بین ناهنجاری‌های بدست آمده به صورت تصادفی تقریباً ۸۰ درصد نمونه انتخاب شد و میزان وابستگی بین شاخص مداری در دو سطح SLP و ۵۰۰ هکتوپاسکال بر اساس نمونه‌های انتخاب شده با استفاده از مدل رگرسیون درختی در نرم افزار متلب مدلسازی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

مدل رگرسیون درختی، یک درخت تصمیم دو به دویی با تابع رگرسیون خطی در گره برگ‌ها است که می‌تواند توصیفات عددی پیوسته را شبیه‌سازی کند. این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط کوین لان ارائه شد (کوین لان<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲). اساس مدل‌های درختی مبتنی بر روش تصمیم و غلبه کردن هستند. مدل رگرسیون درختی دارای دو مرحله است. مرحله اول شامل استفاده از یک معیار دسته‌بندی برای ایجاد درخت تصمیم است. معیار دسته‌بندی برای الگوریتم مدل درختی بر اساس عملکرد انحراف استاندارد برای مقادیر هر کلاس است که در هر گره بدست آمده به طوریکه بیانگر میزان خطا در هر گره

بودن آماره  $t$  در این آزمون از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$t_0 = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در این فرمول  $t_0$  آماره استاندارد کندال،  $tg$  سطح معنی‌داری یا اطمینان آزمون است که با سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می‌باشد،  $N$  تعداد سال‌های دوره آماری است بنابراین در این پژوهش مقدار  $t_0$  برابر با  $\pm 0/21$  می‌باشد و با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده برای  $t_0$  سه حالت زیر برقرار خواهد شد:

اگر  $t > \pm 0/21$  باشد هیچگونه روند معنی‌داری در سری‌های زمانی مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. همچنین اگر  $t < -0/21$  باشد، نشان‌دهنده روند معنی‌داری منفی در سری‌ها و در صورتی که  $t > +0/21$  باشد روند معنی‌دار مثبت در سری‌ها غالب خواهد بود (میشل<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۶).

در مرحله ی بعد در صورت معنی‌داری روند، با استفاده از آماره گرافیکی من-کندال، زمان و نوع تغییرات تعیین می‌گردد. برای اینکار دو مولفه  $U_i$  و  $U'_i$  محاسبه می‌شود. در این آزمون آماره  $U_i$  نشان‌دهنده مقدار و جهت روند می‌باشد. در این روش داده‌ها رتبه‌بندی و آماره  $t_i$  (نسبت رتبه  $i$  به رتبه‌های ماقبل) محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد فراوانی تجمعی این آماره را به دست آورده و در نهایت پارامترهای امید ریاضی، واریانس و شاخص من-کندال با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$E_i = \frac{n_i(n_i-1)}{4} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5)}{72} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

در روابط (۱۲-۱) و (۱۳-۱)،  $n_i$  ترتیب زمانی شماره داده‌های سال است و تابع توزیع آماره  $t_i$  دارای مقادیر متوسط ( $E$ ) و واریانس ( $Var$ ) می‌باشد (اسنیرز<sup>۴</sup>، ۱۹۹۰؛ سلشی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴).

پیش بینی شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمون دوربین-واتسون استفاده می‌شود که اگر مقدار به دست آمده بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد موید استقلال خطاها خواهد بود.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (ut - ut-1)^2}{\sum_{t=1}^n ut^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن  $ut$  باقیمانده  $t$  ام در معادله رگرسیون و  $n$  تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

همچنین در این تحقیق جهت بررسی روندهای ناهنجاری‌های دمایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال بهره گرفته شد. این آزمون ابتدا توسط من<sup>۱</sup> (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال<sup>۲</sup> (۱۹۷۵) توسعه یافته است. با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی و نوع و زمان آن مشخص می‌شود. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. همچنین اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از دیگر مزایای استفاده از این روش است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). جهت خلاصه نمودن مطالب می‌توان به کار علیجانی و همکاران (۱۳۹۰)، سبزی پرور و همکاران (۱۳۹۲) رجوع کرد.

آزمون ناپارامتریک من-کندال با فرض صفر عدم وجود روند در سری‌های زمانی را بررسی می‌کند و در این راستا نقاط تغییر ناگهانی را هم شناسایی می‌کند. برای آزمون فرض صفر عدم وجود روند، آماره کندال بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{4 \sum H}{N(N-1)} - 1 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن،  $\sum H$  فراوانی تجمعی تعداد رتبه‌هایی که بالاتر از هر ردیف قرار می‌گیرند و  $N$  تعداد سالهای دوره آماری است و به منظور سنجش معنی‌دار

۳- بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی با هم برخورد کنند و از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ تلاقی صورت نگیرد، هیچ گونه تغییر و روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

#### یافته ها

#### ارزیابی فراوانی ناهنجاریهای حداکثر و حداقل دما

#### الف) تحلیل فراوانی ناهنجاریهای دماهای بیشینه

با توجه به جدول (۱) ملاحظه می‌گردد که تداوم های ۱۱-۱۵ روزه به‌طور یکنواخت در سطح استان حادث می‌شوند و کمترین فراوانی ناهنجاری مربوط به بخش ساحلی استان در ایستگاه نوشهر می‌باشد. بیشترین فراوانی متعلق به ایستگاه خشکه‌داران می‌باشد که در قسمت غربی استان قرار دارد.

برای بررسی تغییرات و معنی‌دار بودن آنها باید شاخص  $U_i'$  نیز تعیین شود. برای محاسبه آن کافی است داده‌های موردنظر را برعکس سری قبل مرتب کرد و تمام محاسبات قبلی بر روی آن اجرا گردد. پس از محاسبه، این دو مولفه به صورت نمودار رسم خواهند شد که این نمودارها می‌توانند سه نوع مختلف از تغییرات را نشان دهند:

۱- تغییرات ناگهانی: اگر محل برخورد دو منحنی  $u$  و  $u'$  در داخل محدوده بحرانی  $\pm 1/96$  باشد و منحنی  $u$  از محدوده بحرانی خارج شود و دوباره به داخل محدوده برگردد، تغییرات از نوع ناگهانی (جهش) خواهد بود.

۲- روند: اگر منحنی  $u$  پس از خروج از محدوده معنی‌داری دوباره به داخل محدوده برنگردد روند معنی‌دار خواهد بود. به طرف مقادیر مثبت روند مثبت و به طرف مقادیر منفی روند منفی خواهد بود.

جدول ۱: فراوانی تداوم ناهنجاری‌های دمایی بیشینه استان مازندران

ایستگاهها	ارتفاع	تداوم به روز						
		11 15	16 20	21 25	26 30	31 35	35 40	>40
بابلسر	-21	28	10	2	1	1	1	0
نوشهر	-20.9	8	2	3	2	1	0	1
بندرامیرآباد	-20	26	11	0	0	1	0	0
رامسر	-20	21	7	4	2	1	2	0
دانشکده ساری	-15	21	9	1	0	1	0	0
تیرتاش	-14	27	12	0	0	1	0	0
گلوگاه	-10	27	10	0	1	1	0	0
خشکه داران	-2	29	9	6	2	3	1	0
پایکلا	10	28	9	0	0	1	0	0
قائم‌شهر	14.7	27	9	1	0	1	0	0
ساری	23	24	9	1	0	1	0	0
آمل	23.7	24	7	4	0	1	0	0
خرم آباد	50	19	10	5	2	2	0	1
چمستان	73	18	11	2	3	1	1	0
تالارسر	79	20	10	0	0	3	1	1
بابلکنار	102	20	7	2	0	1	0	0
الاشت	190	27	10	1	0	1	0	0
پل سفید	610	24	11	1	1	0	0	0
فریم	720	24	11	2	1	2	0	0
کیاسر	1294.3	28	12	0	0	1	0	0
افراچال	1300	24	14	2	2	4	0	2
پیشرت	1520	24	13	4	0	1	0	0
کجور	1550	22	7	3	3	3	1	1
سیاه بیشه	1855.4	27	6	3	2	2	0	1

به ترتیب در ایستگاه‌های امیرآباد و تالارسر که تقریباً در بخش‌های انتهایی شرق و غرب استان قرار دارند دیده شده است. بیشترین تکرار این ناهنجاری‌ها مربوط به ایستگاه‌های رامسر و افراچال به ترتیب با فراوانی ۲۸ و ۲۹ می باشد که رامسر در بخش ساحلی استان در ارتفاع زیر سطح دریا و افراچال با ارتفاع ۱۳۰۰ در بخش کوهستانی استان قرار دارد. تداوم‌های ۱۶-۲۰ روزه در ایستگاه کیاسر که در قسمت جنوبی شرق استان و در ارتفاع متوسط قرار دارد تنها ۲ بار و در ایستگاه‌های بایکلا، پل سفید و دانشگاه ۴ بار تکرار شده است. این ناهنجاری‌ها در ایستگاه‌های پیشرت و چمستان ۱۰ بار، در ایستگاه کجور ۱۱ بار و در ایستگاه‌های تالارسر و بابلسر که بالاترین فراوانی را دارند ۱۳ بار تکرار شده است. بیشترین میزان ناهنجاری‌های ۲۱-۲۵ روزه در ایستگاه‌های خشکه‌داران و خرم‌آباد تنکابن که در بخش غربی استان قرار دارند و همچنین در ایستگاه افراچال به میزان ۸ بار حادث شده است. در ایستگاه‌های دانشکده ساری، گلوگاه و بابل کنار که مناطق پست و شرق استان قرار گرفته‌اند هیچ تکراری برای تداوم‌های ۲۱-۲۵ روزه مشاهده نگردید. میزان فراوانی ناهنجاری‌های ۲۶-۳۰ روزه در استان کمتر حادث شده و اغلب یک تا دو بار تکرار شده‌اند و بیشترین فراوانی متعلق به ایستگاه بابل کنار با فراوانی ۶ بوده است. تداوم‌های ۳۱-۳۵ روزه در بیشتر از نیمی از ایستگاه‌ها مشاهده نشد. بالاترین تکرار ناهنجاری مربوط به ایستگاه تالارسر با فراوانی ۴ است و مابقی ایستگاه‌ها دارای فراوانی یک و دو بوده‌اند. تنها در ایستگاه‌های چمستان، افراچال، خرم‌آباد تنکابن و تالارسر ناهنجاری‌های ۳۶-۴۰ روزه به ترتیب با ۱، ۱، ۲ و ۳ بار اتفاق افتاد و در مابقی ایستگاه‌ها این ناهنجاری دمایی دیده نشده است. همچنین تداوم‌های بالاتر از ۴۰ در ایستگاه ساحلی رامسر و ایستگاه چمستان نور یک بار و در ایستگاه کوهستانی افراچال دو بار روی داده است و بیشترین ناهنجاری‌های اتفاق افتاده با تداوم بالاتر از ۴۰ مربوط به بخش غربی استان در ایستگاه تالارسر با ۶ بار تکرار بوده است.

ناهنجاری‌های ۱۶-۲۰ روزه در نواحی کوهستانی با فراوانی بالاتری نسبت به سواحل مشاهده گردیده است. بیشترین فراوانی مربوط به ایستگاه افراچال و کمترین فراوانی مجدداً مربوط به ایستگاه نوشهر است که تنها ۲ بار در این ایستگاه حادث شده است. در بخش شرقی و ساحلی استان در ایستگاه‌های قائمشهر، ساری، بایکلا و دانشکده ساری و همچنین در غرب استان در یک ایستگاه خشکه‌داران تنکابن تداوم‌های ۱۶-۲۰ روزه ۹ بار تکرار شده است. تداوم‌های ۲۱-۲۵ روزه در ایستگاه‌های بایکلا، گلوگاه، تالارسر، بندر امیرآباد، تیرتاش و کیاسر اتفاق نیفتاده است که به جز ایستگاه تالارسر بقیه در قسمت شرقی استان قرار دارند. بیشترین ناهنجاری‌ها با فراوانی ۵ و ۶ در ایستگاه‌های خرم‌آباد و خشکه‌داران تنکابن بوده است. تقریباً در نیمی از ایستگاه‌های استان، ناهنجاری‌های ۲۶-۳۰ روزه به خصوص در بخش شرقی مشاهده نشد. بالاترین فراوانی حادث شده مربوط به بخش مرکزی استان در ایستگاه‌های چمستان نور و کجور است. اکثر ناهنجاری‌های ۳۱-۳۵ روزه فقط یک بار در طول دوره چهل ساله اتفاق افتادند. این تداوم‌ها در ایستگاه‌های فریم محمودآباد، سیاه‌بیشه و خرم‌آباد تنکابن ۲ بار و در ایستگاه‌های تالارسر، کجور و خشکه‌داران تنکابن ۳ بار تکرار شده‌اند که بیشتر ایستگاه‌ها در غرب استان قرار دارند و بیشترین تکرار این ناهنجاری متعلق به ایستگاه افراچال که در بخش کوهستانی استان قرار دارد بوده است. تداوم‌های ۳۶-۴۰ روزه فقط در ایستگاه‌های بابلسر، چمستان نور، تالارسر، خشکه‌داران تنکابن و کجور یک‌بار و در ایستگاه رامسر دو بار تجربه شده است که تنها ایستگاه کجور در بخش کوهستانی قرار دارد و مابقی ایستگاه‌ها در ارتفاع‌های پایین و سواحل پست استان جای دارند. فراوانی تداوم‌های بالاتر از ۴۰ روز بسیار اندک بوده و تنها یک بار در ایستگاه‌های نوشهر، سیاه‌بیشه، تالارسر و کجور و دو بار نیز در ایستگاه افراچال حادث شده است.

#### ب) تحلیل فراوانی ناهنجاری‌های دماهای کمینه

با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌گردد که کمترین میزان ناهنجاری‌های ۱۱-۱۵ روزه با فراوانی ۱۳ و ۱۴



جدول ۲: فراوانی ناهنجاری‌های دمایی کمینه استان مازندران

ایستگاهها	ارتفاع	تداوم به روز						
		11_15	16_20	21_25	26_30	31_35	35_40	>40
بابلسر	-21	23	13	2	5	1	0	0
نوشهر	-20.9	23	9	3	2	0	0	0
بندرامیرآباد	-20	13	6	2	1	0	0	0
رامسر	-20	28	9	3	4	2	0	1
دانشکده ساری	-15	20	4	0	2	0	0	0
تیرتاش	-14	19	5	1	2	0	0	0
گلوگاه	-10	18	6	0	1	0	0	0
خشکه داران	-2	26	9	7	1	1	0	0
بایکلا	10	17	4	1	0	0	0	0
قائم شهر	14.7	20	6	1	0	0	0	0
ساری	23	20	7	1	0	0	0	0
آمل	23.7	24	7	4	0	1	0	0
خرم آباد	50	24	8	7	5	1	2	0
چمستان	73	20	10	2	1	0	1	1
تالارسر	79	14	13	3	1	4	3	6
بابلکنار	102	26	7	0	6	1	0	0
الاشت	190	17	6	2	0	0	0	0
پل سفید	610	17	4	2	1	0	0	0
فریم	720	17	7	1	1	1	0	0
کیاسر	1294.3	20	2	3	0	0	0	0
افراچال	1300	29	7	8	4	2	1	2
پیشرت	1520	17	10	3	0	0	0	0
کچور	1550	19	11	4	1	1	0	0
سیاه بیشه	1855.4	20	9	2	2	0	0	0

۰/۷۴۹ قرار دارد. بالاترین ضریب تعیین مربوط به ایستگاه آمل است و مقدار آن بیانگر این حقیقت است که ۷۴/۹ درصد از تغییرات ناهنجاری‌های دمایی بیشینه این ایستگاه وابسته به شاخص مداری می‌باشد و ۲۵/۱ درصد از مابقی تغییرات آن به متغیرهایی مربوط است که در نظر گرفته نشده‌اند. همچنین کمترین ضریب تعیین در استان مربوط به ایستگاه رامسر است و مقدار آن نشان می‌دهد که تقریباً تنها نیمی از تغییرات دماهای ناهنجار ایستگاه به شاخص مداری مربوط می‌شود. مقادیر آماره ی میانگین مربع خطاها<sup>۱</sup> که بین ۰/۲۳ و ۰/۲۷ قرار گرفته است و

**ارزیابی رابطه ناهنجاری دمایی با شاخص مداری**  
 پس از مشخص شدن ناهنجاری‌های دمایی استان، رابطه بین شاخص مداری با ناهنجاری‌های دمایی از طریق مدل رگرسیون درختی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از عملکرد مدل در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که:

**الف) بررسی نتایج آماری مدل برای دماهای بیشینه**

با توجه به جدول ۳، مقدار ضریب تعیین، که درجه یکسان بودن و همبستگی مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد بین ۰/۵۶۸ و

1. RMSE

مطلوب بودن مدل رگرسیون درختی دارد. میانگین خطای اریب در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ی استان به صفر نزدیک می باشد و نشان‌دهنده آن است که این مدل تمایل به بیش برآوردی یا کم برآوردی ندارد. همچنین نتایج حاصل از آزمون دوربین واتسون که مقادیر آن در سطح استان بین ۱/۲۸۸ تا ۱/۹۰۷ قرار گرفته است، نشان‌دهنده ی استقلال مانده‌ها از یکدیگر می باشد و بدین معنی است که بین خطاها همبستگی وجود ندارد.

نشان می دهد که میزان خطای عملکرد مدل درختی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ی استان ناچیز می باشد که به معنی مناسب بودن مدل درختی می‌باشد. همچنین دامنه ی آماره ی میانگین خطای مدل بین ۰/۲۸ و ۰/۳۶ برای ایستگاه‌های استان بدست آمده است که کمترین خطای مدل مربوط به ایستگاه افراچال و بیشترین خطا در عملکرد مدل مربوط به ایستگاه‌های آلاشت و رامسر است و در مجموع پایین بودن میزان خطا در ایستگاه‌های استان حکایت از

جدول ۳: ارزیابی مدل برای دماهای بیشینه با استفاده از آماره‌های واسنجی

ایستگاهها	ضریب تعیین	انحراف از استاندارد	معنی داری از آزمون فیشر	خطای مدل	مربع خطاها	خطای اریب	دوربین واتسون
افراچال	.676	1.668	0.00	0.28	0.23	0.00	1.628
الاشت	.590	2.171	0.00	0.36	0.25	0.00	1.656
آمل	.749	1.580	0.00	0.29	0.24	0.00	1.781
بابکنار	.643	2.125	0.00	0.34	0.25	0.00	1.647
بابلسر	.683	1.492	0.00	0.31	0.26	0.00	1.791
بندرامیرآباد	.704	1.501	0.00	0.3	0.26	0.00	1.783
بایکلا	.691	1.704	0.00	0.31	0.25	0.00	1.825
چمستان	.617	1.938	0.00	0.34	0.25	0.00	1.776
دانشکده	.715	1.715	0.00	0.3	0.24	0.00	1.889
فریم	.611	2.080	0.00	0.33	0.24	0.00	1.600
قائم شهر	.645	2.000	0.00	0.33	0.24	0.00	1.875
گلوگاه	.636	1.971	0.00	0.35	0.26	0.00	1.772
خرم آباد	.662	1.861	0.00	0.34	0.26	0.00	1.572
خشکه داران	.671	1.519	0.00	0.3	0.27	0.00	1.502
کیاسر	.602	2.165	0.00	0.32	0.23	0.00	1.643
کجور	.630	1.957	0.00	0.33	0.25	0.00	1.499
نوشهر	.720	1.643	0.00	0.31	0.26	0.00	1.859
پیشرت	.665	1.795	0.00	0.3	0.23	0.00	1.907
پل سفید	.622	2.213	0.00	0.35	0.25	0.00	1.690
رامسر	.568	2.079	0.00	0.36	0.27	0.00	1.810
ساری	.651	2.023	0.00	0.33	0.24	0.00	1.648
سیاه بیشه	.662	1.977	0.00	0.31	0.23	0.00	1.578
تالارسر	.626	2.026	0.00	0.33	0.25	0.00	1.733
تیرتاش	.674	1.865	0.00	0.31	0.24	0.00	1.770

جدول ۴: ارزیابی مدل برای دماهای کمینه با استفاده از آماره‌های واسنجی

ایستگاهها	ضریب تعیین	انحراف از استاندارد	معنی داری از مون فیشر	خطای مدل	مربع خطاها	خطای اریب	دوربین واتسون
افراچال	.604	1.054	0.00	0.306	0.308	0.00	1.581
الاشت	.618	1.695	0.00	0.293	0.234	0.00	1.858
آمل	.573	1.353	0.00	0.317	0.280	0.00	1.790
بابکنار	.545	1.353	0.00	0.328	0.289	0.00	1.735
بابلسر	.590	1.125	0.00	0.284	0.277	0.00	1.730
بندرامیرآباد	.607	1.138	0.00	0.292	0.281	0.00	1.779
بایکلا	.650	1.151	0.00	0.275	0.261	0.00	1.807
چمستان	.601	1.231	0.00	0.275	0.254	0.00	1.784
دانشکده	.613	1.232	0.00	0.263	0.243	0.00	1.888
فریم	.510	1.328	0.00	0.345	0.310	0.00	1.778
قائم شهر	.655	1.214	0.00	0.275	0.255	0.00	1.827
گلوگاه	.559	1.300	0.00	0.302	0.276	0.00	1.779
خرم آباد	.575	1.281	0.00	0.292	0.270	0.00	1.760
خشکه داران	.596	1.226	0.00	0.306	0.286	0.00	1.734
کیاسر	.651	1.347	0.00	0.282	0.249	0.00	1.990
کجور	.549	1.706	0.00	0.334	0.270	0.00	1.605
نوشهر	.603	1.132	0.00	0.308	0.296	0.00	1.611
پیشرت	.609	1.572	0.00	0.304	0.253	0.00	1.806
پل سفید	.584	1.610	0.00	0.325	0.268	0.00	1.987
رامسر	.622	1.057	0.00	0.278	0.277	0.00	1.705
ساری	.624	1.304	0.00	0.284	0.259	0.00	1.754
سیاه بیشه	.580	1.938	0.00	0.337	0.250	0.00	1.554
تالارسر	.656	1.127	0.00	0.272	0.263	0.00	1.636
تیرتاش	.635	1.125	0.00	0.271	0.264	0.00	1.852

های دانشکده‌ی ساری و فریم محمودآباد است. میانگین خطای اریب در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه‌ی استان به سمت صفر میل دارد. با مشاهده‌ی نتایج حاصل از کاربرد آزمون دوربین-واتسون که مقادیر آن در سطح استان بین ۱/۵۵۴ تا ۱/۹۹۰ به دست آمده است، میتوان به مستقل بودن مانده‌ها از یکدیگر و عدم وجود وابستگی بین خطاها پی برد.

#### ارزیابی تغییرات در روند ناهنجاری‌های دما با استفاده از آزمون من-کندال

**الف) تحلیل روند ناهنجاری‌های دمای حداکثر**  
مقدار بحرانی و آماره‌ی استاندارد در سطح احتمال ۹۵ درصد برای دوره مورد مطالعه در این تحقیق ۰/۲۱ بدست آمده است، بنابراین همانطوری که در

**ب) بررسی نتایج آماری مدل برای دماهای کمینه**  
همانطوری که در جدول (۴) ملاحظه می‌گردد، مقادیر ضریب تعیین، بین ۰/۵۱۰ مربوط به ایستگاه فریم و ۰/۶۵۶ مربوط به ایستگاه تالارسر قرار دارد. در ایستگاه تالارسر ۶۵/۶ درصد از تغییرات حداقل دماهای ناهنجار آن متاثر از شاخص مداری است و بقیه تغییرات آن مربوط به عوامل دیگری می‌باشد. مقادیر آماره میانگین مربع خطاها بین ۰/۲۳ و ۰/۳۱ قرار دارد که کمترین خطای بدست آمده مربوط به ایستگاه آلاشت و بیشترین خطا در ایستگاه فریم مشاهده گردید. میانگین خطای مدل بین ۰/۲۶ و ۰/۳۴ برای ایستگاه‌های استان به دست آمده است که کمترین و بیشترین خطا به ترتیب مربوط به ایستگاه-

بایلسر در شکل (۲) آورده شده است که زمان آغاز تغییرات افزایشی آن مربوط به سال ۱۹۹۵ می‌باشد.

#### ب) تحلیل روند ناهنجاریهای دمای حداقل

تغییرات فراوانی ناهنجاریها در دماهای کمینه‌ی استان نیز توسط آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول (۶) نتایج حاصل از آماره‌ی من-کندال نشان می‌دهد که از بین ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه، ۲۲ ایستگاه از روند معنی‌داری برخوردار بوده‌اند و تنها دو ایستگاه افراچال و نوشهر با مقادیر آماره  $0/03$  و  $0/17$  فاقد هر گونه تغییر معنی‌داری بوده‌اند و نشان‌دهنده تصادفی بودن سری‌های فراوانی ناهنجاریها در دماهای حداقل استان می‌باشد و با توجه به نتایج آزمون گرافیکی در تمامی ۲۲ ایستگاهی که دارای تغییرات معنی‌دار بوده‌اند، تغییرات رخ داده از نوع روند و در جهت افزایشی بوده است. زمان تغییرات که حاصل برخورد دو منحنی  $U$  و  $U'$  می‌باشد، نشان می‌دهد که تنها دو ایستگاه خرم‌آباد و خشکه‌داران تنکابن به ترتیب در سالهای ۲۰۰۸ و ۱۹۹۱ از تغییر ناگهانی برخوردار بوده‌اند و مابقی ایستگاهها از ابتدای دوره مورد مطالعه به روند طبیعی افزایشی خود ادامه داده‌اند.

جدول (۵) می‌توان مشاهده نمود، نتایج حاصل از محاسبه‌ی آماره‌ی من-کندال برای تعداد ناهنجاری‌های حادث شده در دماهای بیشینه‌ی استان گویای این است که حدود ۹۲ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه‌ی استان یعنی ۲۲ ایستگاه دارای تغییرات معنی‌داری بوده‌اند و فقط در دو ایستگاه افراچال و بندر امیرآباد هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری مشاهده نگردید. در بین ایستگاه‌هایی که از روند معنی‌داری برخوردار بوده‌اند، بیشترین مقدار تغییرات در روند افزایشی متعلق به ایستگاه خرم‌آباد تنکابن با مقدار  $0/46$  و کمترین میزان آن متعلق به ایستگاه بایکلا با مقدار  $0/21$  بوده است. با استناد به جدول (۵) هیچ تغییرات معنی‌داری از نوع روند کاهشی در استان مشاهده نگردیده است. نتایج حاصل از آزمون گرافیکی من-کندال و رسم نمودارهای  $U$  و  $U'$  نیز نشان می‌دهد که ۲۲ ایستگاهی که تغییرات آنها معنی‌داری بود، ۱۱ ایستگاه تغییرات آن در دهه ۹۰، ۴ ایستگاه در دهه ۲۰۰۰ و تنها در ایستگاه کجور تغییر در روند ناهنجاریها در دهه ۷۰ رخ داده است. مابقی ایستگاهها نیز بدون جهش و تغییری از ابتدای دوره روند طبیعی افزایشی داشته‌اند و نوع روند در هر ۲۲ ایستگاه افزایشی بوده است. به عنوان نمونه نمودار گرافیکی فراوانی ناهنجاریهای دمای حداکثر ایستگاه

جدول ۵: نتایج آزمون من-کندال بر مبنای فراوانی ناهنجاریهای دماهای حداکثر در دوره ی سرد سال

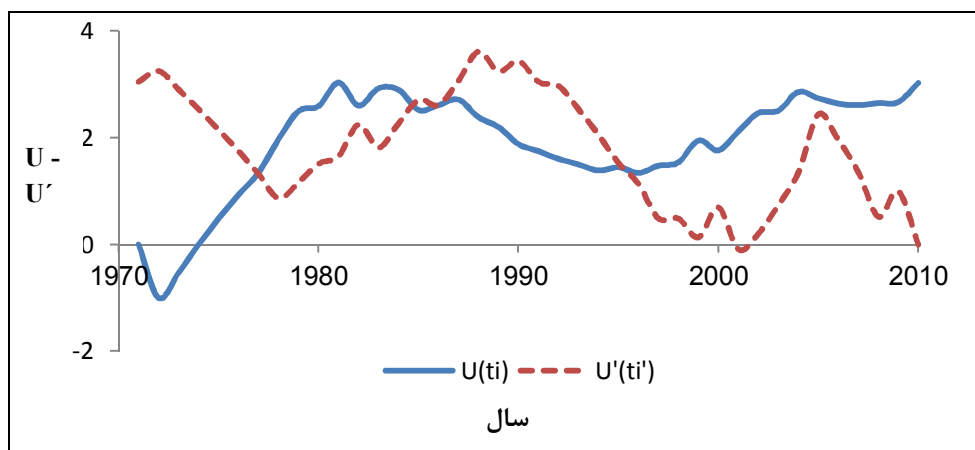
ردیف	ایستگاهها	آماره ی من کندال	نوع تغییرات	زمان تغییرات
۱	افراچال	-0.18	بدون روند	----
۲	آلاشت	0.35	روند	***
۳	آمل	0.26	روند	1995
۴	بابل کنار	0.32	روند	1996
۵	بایلسر	0.33	روند	1995
۶	بایکلا	0.21	روند	2000
۷	بندر امیر آباد	0.17	بدون روند	----
۸	پل سفید	0.29	روند	1998
۹	پیشرت	0.23	روند	1994
۱۰	تالارسر	0.39	روند	2005
۱۱	تیر تاش	0.24	روند	1998
۱۲	چمستان	0.27	روند	2001
۱۳	خرم آباد	0.46	روند	1994

۱۴	خشکه داران	0.25	روند	2000
۱۵	دانشکده ی ساری	0.33	روند	***
۱۶	رامسر	0.37	روند	1996
۱۷	ساری	0.36	روند	***
۱۸	سیاه بیشه	0.36	روند	***
۱۹	فریم	0.40	روند	***
۲۰	قائم شهر	0.37	روند	***
۲۱	کجور	0.35	روند	1978
۲۲	کیاسر	0.33	روند	1996
۲۳	گلوگاه	0.22	روند	1998
۲۴	نوشهر	0.38	روند	1994

علامت -- در جدول (۱) به معنی عدم وجود روند و تغییر ناگهانی و علامت \* به این معنی می باشد که در ایستگاه‌های مربوطه از ابتدای دوره روند طبیعی داشته‌اند.

جدول ۶: نتایج آزمون من-کندال بر مبنای فراوانی ناهنجاری‌های دماهای حداقل در دوره ی سرد سال

ردیف	ایستگاهها	آماره ی من کندال	نوع تغییرات	زمان تغییرات
۱	افراچال	0.038	بدون روند	----
۲	آلاشت	0.741	روند	***
۳	آمل	0.654	روند	***
۴	بابل کنار	0.649	روند	***
۵	بابلسر	0.764	روند	***
۶	بایکلا	0.621	روند	***
۷	بندر امیر آباد	0.649	روند	***
۸	پل سفید	0.779	روند	***
۹	پیشرت	0.749	روند	***
۱۰	تالارسر	0.677	روند	***
۱۱	تیرتاش	0.610	روند	***
۱۲	چمستان	0.649	روند	***
۱۳	خرم آباد تنکابن	0.226	روند	2008
۱۴	خشکه داران	0.321	روند	1991
۱۵	دانشکده ی ساری	0.667	روند	***
۱۶	رامسر	0.610	روند	***
۱۷	ساری	0.656	روند	***
۱۸	سیاه بیشه	0.623	روند	***
۱۹	فریم	0.644	روند	***
۲۰	قائم شهر	0.654	روند	***
۲۱	کجور	0.721	روند	***
۲۲	کیاسر	0.759	روند	***
۲۳	گلوگاه	0.595	روند	***
۲۴	نوشهر	0.177	بدون روند	----



شکل ۲: نمودار تغییرات مولفه‌های  $u$  و  $u'$  تعداد ناهنجاری‌های دمای حداکثر در ایستگاه بابلسر

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی فراوانی ناهنجاری‌های رخ داده در فصول سرد سال در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۱ و ارزیابی همبستگی بین شاخص مداری و ناهنجاری‌های دماهای حداقل و حداکثر با استفاده از مدل درختی و ارزیابی خطاهای مدل بوده است. همچنین تغییرات فراوانی ناهنجاری‌ها با استفاده از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مباحثی که در تحقیق بیان شد این نتیجه حاصل شده که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در رخداد ناهنجاری‌های دما در ایستگاه‌های استان وجود ندارد، این موضوع حاکی از آن است که ناهنجاری‌های دمایی در مقیاس کلان در استان مازندران با توجه به تیپ‌های مختلف اراضی شامل نواحی کوهستانی، جلگه‌ای و ساحلی توسط عوامل آب و هوایی خارج از مقیاس محلی کنترل می‌شوند، ولی میتوان گفت که تکرار این ناهنجاری‌ها به ویژه در دماهای بیشینه در ایستگاه‌های کوهستانی بیشتر از ایستگاه‌های ساحلی و جلگه‌ای استان بوده است. بیشترین تکرار ناهنجاری‌ها در دمای بیشینه متعلق به ایستگاه خشکه‌داران تنکابن و افراچال و کمترین تغییرات دمایی مربوط به ایستگاه ساحلی نوشهر است. همچنین ناهنجاری‌های روی داده در دماهای کمینه با دفعات بیشتری در ایستگاه‌های افراچال، خرم اباد تنکابن و رامسر مشاهده شد و پایینترین تکرار این ناهنجاری‌ها متعلق به ایستگاه‌های بایکلا و بندرامیرآباد بوده است. بیشترین

ناهنجاری‌های رخ داده مربوط به تداوم‌های ۱۵-۱۱ روزه است و با افزایش میزان تداوم از تکرار ناهنجاری‌ها کاسته می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص مداری با ناهنجاری‌های دمایی در منطقه ی مورد مطالعه و بررسی رابطه‌ی بین آنها با استفاده از مدل رگرسیون درختی نشان داد که ضریب همبستگی تقریباً بالایی بین شاخص مداری با ناهنجاری‌های دمای استان وجود داشته و میزان خطای عملکرد مدل پایین و قابل قبول بوده است که بیانگر مناسب بودن مدل رگرسیون درختی می‌باشد. روند افزایشی فراوانی ناهنجاری‌های دماهای حداکثر و حداقل و بررسی روند تغییرات این پارامترها با استفاده از آزمون من-کندال، نشان‌دهنده‌ی وقوع تغییر یا دگرگونی‌های اقلیمی در منطقه‌ی مورد مطالعه دلایلی بر نقش همگامی با گرمایش جهانی می‌باشد.

### پیشنهادها

افزایش دمای متوسط جهان ناهنجاری‌هایی در متغیرهای هواشناسی به‌ویژه در دما به وجود آورده است. بنابراین در مدیریت بخش‌های مختلف به خصوص در بخش کشاورزی، اطلاع از تغییرات هواشناسی و شناسایی ناهنجاری‌های دمایی و عوامل ایجادکننده این تغییرات لازم می‌باشد.

با توجه به اینکه دوره سرد سال یک دوره حیاتی برای مرکبات در مازندران است و در نظر گرفتن این نکته که مرکبات در یک دمای معینی شروع به گلدهی

بیشینه‌های سالانه دما در ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم،  
 ۱۰- علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. کتاب اقلیم شناسی سینوپتیک، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی، تهران.

۱۱- فلاح، اعظم؛ خلیل قربانی، امیراحمد دهقانی و جواد بذرافشان. ۱۳۹۳. بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای اقلیمی پیوند از دور با شاخص خشکسالی spi به روش رگرسیون درختی، دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد.

۱۲- مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله ی جغرافیا و توسعه، صفحه ۸۹-۹۵.

۱۳- منتظری، مجید و مرجان مهدیه. ۱۳۹۰. تحلیل گرمای فرین استان اصفهان (اسفند ۱۳۸۲)، مجموعه مقالات همایش ملی بوم‌های بیابانی، گردشگری و هنرهای محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

۱۴- یزدان پناه، حجت‌اله؛ نسا سپندار، مینو احمدیان، سیدپیام فدایی. ۱۳۹۱. بررسی امواج گرمایی حادث شده در کرمانشاه، همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت؛ چالش‌ها و رهیافت‌ها، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

15-Bhattacharya B, Solomatine DP. 2003. Neural networks and M5 model trees in water level-discharge relationship for an Indian river. In European Symposium on Artificial Neural Networks, Bruges (Belgium), 23–25 April; 407–412

16-Choi, G, Collins, D, R, Guoyu, T, Blair, B, Marina, F, Yoshikazu, Muhammad, A, Theeraluk, P, Purejav, G, Pham, T T H, Norlisam, L, Won-Tae K, Kyung-On, B, Yu-Mi, C and Yaqing, Z. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007, international journal of climatology, 29: 1906-1925.

17-Houghton J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K. (eds). 1996. Climate Change, the Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

می‌کنند و افزایش میزان گرما می‌تواند این فرآیند را تسریع کند بنابراین پیشنهاد می‌گردد تمهیدات لازم جهت مدیریت رخداد این پدیده صورت گیرد تا اثرات منفی ناهنجاری‌های دمایی را بر روی محصولات کشاورزی علی‌الخصوص مرکبات به حداقل برسانند.

## منابع

۱- ابراهیمی، حسین؛ امین علیزاده، سهیلا جوانمرد. ۱۳۸۵. بررسی وجود تغییرات دما در دشت مشهد به‌عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، اصفهان.

۲- احمدی، محمود، هانیه میرحاجی. ۱۳۹۰. ارزیابی تاثیرات تنش‌های گرمایی در کشت ذرت (مطالعه موردی: استان قزوین)، مجله علوم محیطی، سال نهم، شماره سوم.

۳- براتی، غلامرضا، سیدشفیع موسوی. ۱۳۸۴. جابجایی مکانی موج های زمستانی گرما در ایران، مجله جغرافیا و توسعه.

۴- حبیبی، رضا، سعید امامی فر، علی‌اکبر نوروزی و نسیم جنتیان. ۱۳۹۲. برآورد تابش رسیده به سطح زمین در دو نمونه اقلیمی با استفاده از مدل درختی M5 و مقایسه آن با مدل تجربی آنگستروم، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.

۵- حجام، سهراب، یونس خوشخو و رضا شمس‌الدین‌وندی. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تابستان، صص ۱۶۸-۱۵۷.

۶- رحیمی بدر، بیتا و سعید یزدانی. ۱۳۸۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، فصلنامه توسعه و بهره‌وری، صفحات ۴۸-۴۴.

۷- سبزی پرور، علی‌اکبر، زهرا سیف و فرشته قیامی. ۱۳۹۲. تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک کشور، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰.

۸- عساکره، حسین. ۱۳۸۶. تغییر اقلیم، چاپ اول انتشارات دانشگاه زنجان.

۹- علیجانی. بهلول، پیمان محمودی، محمد سلیقه، اله بخش ریگی چاهی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه و

- 27-Solomatine, D.P., and Dulal, K.N. 2003. Model trees as an alternative to neural networks in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3): 399-411.
- 28-Solomatine, D.P., and Siek, M.B. 2004. Flexible and optimal M5 model trees with applications to flow predictions. *Proceedings of 6th International Conference on Hydro informatics*. World Scientific Press: Singapore.
- 29-Solomatine, D.P., and Xue, Y. 2004. M5 model trees compared to neural networks: application to flood forecasting in the upper reach of the Hua River in China. *Journal of Hydrologic Engineering* 9(6): 491-501.
- 30-Turkes, M. Sumer, U.M., and Demir, I. 2002. Re- Evaluation of Trends and Changes in mean. Maximum and Minimum Temperatures of Turkey for the Period 1929-1999. *Int. Journal of Climatol*, 22: 947-977.
- 31-WHO 2003. The health impacts of 2003 summer heat-waves. Briefing note for the delegations of the fifty-third session of the WHO (World Health Organization) Regional Committee for Europe.
- 32-Yin Z.Y. 1999. Winter temperature anomalies of the north China plain and macroscale extratropical circulation patterns. *Int. J. Climatol*, 19: 291-308.
- 33-Yue, S., and Hashino, M. 2003. Temperature trends in Japan: 1900-1996. *Theor. Appl. Climatol.*, 75.
- 18-Kendall, M.G. 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin, London.
- 19-Koppe, Christina, Sari Kovats, Gerd Jendritzky and Bettina Menne. 2004. Health and Global Environmental Change, publication, WHO, Regional office for Europe scherfigsvej8, DK 2004 Copenhagen, Denmark's 6
- 20-Lucio, P.S., Silva, A.M., and Serrano, A.I. 2010. Changes in occurrences of temperature extremes in continental Portugal: a stochastic approach, *Meteorological Application*, 17(4): 404-418.
- 21-Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- 22-Mitchell, J.M., Chairman, J.R., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyer, W.L., Lamb, H.H., Rao, K.N., and Wallen, C.C. 1996. *Climatic Change Note WMO 195*.
- 23-Quinlan J.R. 1992. Learning with continuous classes. *Proceedings of Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*. World Scientific Press: Singapore; 343-348.
- 24-Ragasakthi S., and Sandarvel, S. 2003. Anthropogenic Induced Climate Change in India. *Proceeding of the International Symposium on Climate Change (ISCC)*. Beijing: China.
- 25-Seleshi, Y., and Zanke, U. 2004. Recent changes in rainfall and rainy days in Ethiopia. *International Journal of Climatology* 24.
- 26-Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation, WMO Technical Note 415.