

بررسی تغییرات سوزبادهای دشت زرینه اوباتوو طی سه دهه اخیر با استفاده از روش من- کندال

نادر پروین* - استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی رفتار سوزبادهای دشت زرینه اوباتوو است. پس از بررسی کمی و کیفی داده‌های روزانه دما و سرعت باد طی دوره ۱۳۶۸-۱۳۹۹ با استفاده از آزمون‌های K-S و Run Test، فرض نرمال و تصادفی بودن داده‌ها بررسی شد. شاخص سوزباد با برقراری شروط دمای پایین‌تر از منفی ۲ درجه سلسیوس و سرعت باد بالاتر از ۴/۸ متر بر ثانیه تعریف شد. برای شناخت رفتار خطی و غیرخطی و برآزش خط روند و محاسبه شیب آن، رگرسیون چندجمله‌ای غیرخطی به‌کارگیری شد. از آزمون من- کندال و آماره T من- کندال نیز برای بررسی انحراف احتمالی و نوع و زمان تغییرپذیری و جهش در سری‌های زمانی یادشده و داده‌های سوزبادهای استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که در کل میزان دمای فصل زمستان منطقه افزایش یافته و متعاقب آن هم میزان سردی سوزبادهای فراوانی وقوع آن‌ها تغییر کرده است؛ به طوری که دمای سرمایش سوزبادهای روند کاهشی داشته و در سال ۱۳۸۶ جهش معنی‌داری را تجربه کرده است. از اواسط سال ۱۳۸۰ نیز فراوانی سالانه طبقه اول سوزبادهای دارای روند کاهشی بوده و چند جهش معنی‌دار را نشان داده و حالت نرمال بلندمدت خود را از دست داده است.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، رگرسیون چندجمله‌ای، زرینه اوباتوو، سوزباد، من کندال -

مقدمه

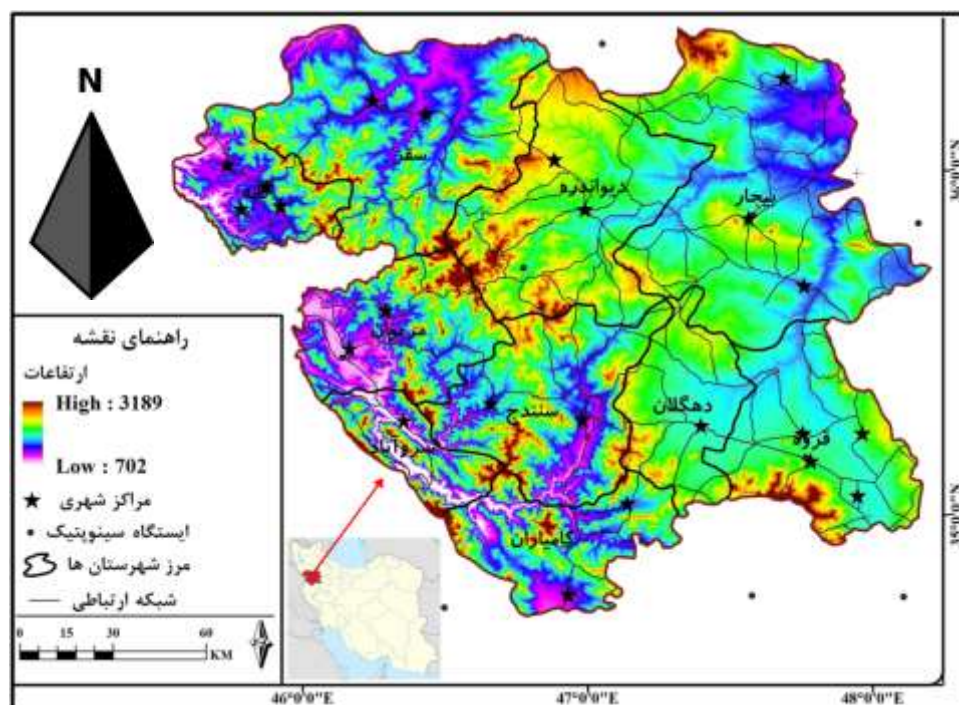
در فصل زمستان، در بیشتر اوقات، دمایی که توسط بدن انسان احساس می‌شود بسیار سردتر و خنک‌تر از دمای احساسی در فضای آزاد است که در ایستگاه‌های هواشناسی مناطق کوهستانی اندازه‌گیری می‌شود و این تفاوت گاهی باعث شده تا سازمان هواشناسی به عدم ارائه گزارش صحیح وضعیت دمایی هوا متهم شود. درحالی‌که دمای فیزیکی که در محیط و شرایط استاندارد جعبه اسکرین ایستگاه اندازه‌گیری می‌شود با دمای احساس واقعی، که بدن انسان در فضای باز احساس می‌کند، متفاوت و دو مقوله جدای از هم است. به اثر سرمایش باد در ترکیب با دمای حداقل، که به صورت احساس خاصی بیان می‌شود، اصطلاحاً سوزباد^۱ گفته می‌شود و برای نشان‌دادن اثرهای سرمایش آن از شاخص سوزباد استفاده می‌شود (رسولی و عزیززاده، ۱۳۸۵: ۳۱). اگرچه سوزبادهای منافع فراوان محیطی به‌ویژه برای فعالیت‌های کشاورزی و باغداری دارند، منطقه مرتفع دشت اوباتوو به‌عنوان تنها محور اصلی راه ارتباطی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی با کردستان و کرمانشاه اغلب باعث ایجاد مشکلاتی در فصل سرد سال شده و هرساله متعاقب این پدیده جوی حوادث فراوان و زیان‌بار تردد جاده‌ای اتفاق می‌افتد. از آنجا که دما و بارش و باد جزو عناصر اصلی شکل‌گیری اقلیم هر منطقه‌اند، تغییرات رفتار آن‌ها

می‌تواند ساخت آب‌وهوایی هر محلی را دگرگون کند. از این رو، بررسی روند و رفتار این عناصر اقلیمی در قالب شاخص‌ها و مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بسیار حائز اهمیت است و بخش بزرگی از تحقیقات علمی اقلیمی را به خود اختصاص داده است. بررسی تحقیقات گذشته محققان نشان از افزایش دما و تغییرات محسوس آن در بسیاری از نقاط جهان دارد. بر اساس نتایج مطالعات هایلاک و نیکولز (۲۰۰۰: ۱۵۳۳)، روند وقوع بلایای طبیعی در نیم‌کره شمالی همواره رو به رشد است و، بر اساس گزارش فائو، ایران از نظر استعداد و پتانسیل خیزی بلایای طبیعی رتبه دهم را در جهان به خود اختصاص داده است (شن، ۲۰۰۳: ۱۱). در کشور ایران، به سبب داشتن تنوع محیطی ذاتی، تاکنون ۳۱ مورد از چهل نوع بلای طبیعی جهان عملاً رخ داده است (میرزاخانی، ۱۳۷۸: ۸). بنابراین، سوزبادهای فارغ از دارا بودن منافع فراوان محیطی، اغلب باعث ایجاد مشکلاتی برای بشر بوده‌اند و برخی حوادث زیان‌بار متعاقب این پدیده جوی می‌تواند امری معمول و حائز اهمیت باشد. در کولاک اواسط بهمن سال ۱۳۵۰ در ایران، که به‌عنوان سخت‌ترین و مصیبت‌بارترین بوران در تاریخ نوشته‌شده بشری به‌عنوان رکوردی ثبت شده است، حدود ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ نفر کشته شدند (رائین، ۱۳۵۰: ۴). تاکنون مطالعات متعددی در خصوص دما و سوزبادهای و تأثیرشان بر محیط زیست و سلامتی و فعالیت‌های انسان انجام شده و مدل‌ها و روش‌های آماری و سینوپتیکی مختلفی به کارگیری شده است؛ از آن جمله قابل ذکر است کارهای ارزشمند گرایسر و همکاران (۲۰۰۲: ۱۷۶) در خصوص تأیید افزایش معنی‌داری نوسان سالانه دما و حوادث نادر ویژه زمستان در شرق اروپا؛ تأیید تغییرپذیری دماهای سرد و سرعت باد و تأثیرشان بر آسایش انسان در ترکیه توسط تورووس و همکاران (۲۰۰۵: ۱۱۷)؛ بررسی شاخص سوزباد یا سرمای باد به‌عنوان یک شاخص اقلیمی موثر بر سلامت ورزشکاران و گردشگران علاقه‌مند به ورزش‌های زمستانی توسط روشن و همکاران (۲۰۱۰: ۱۰۸)؛ تأیید کارآمدی سوزبادهای برای تولید انرژی به وسیله تینگ و همکاران (۲۰۰۸: ۱۱۹۶)؛ مدل‌سازی رابطه بین دمای پایین هوا و سرعت بالای باد و میزان تهدید یخ‌زدگی بدن انسان توسط تودورانو (۲۰۱۵: ۲۴۲)؛ تحقیقات مهم شیتزر (۲۰۱۸: ۲۱۵) بر روی مدل‌سازی و اصول فنی برآورد و تعیین کمی اثرهای سوزباد بر روی انسان برای تخمین دمای معادل سوزباد؛ و تحقیقات پیرسالو و همکاران (۲۰۲۰: ۱۱) بر روی آسایش اقلیمی میش‌ها در زمستان. همانند پرندگان، بخش‌هایی از بدن انسان مانند سر و صورت و دست‌ها، که معمولاً بدون پوشش‌اند، به‌عنوان «پنجره‌های حرارتی»، به دلیل شار گرمایی بیشتر، در انتقال گرمای بدن نقش مهمی دارند (کوپ و تادی، ۲۰۲۱). غالب تحقیقات داخلی مرتبط با سرما و دماهای پایین بر شاخص‌های زیست‌اقلیمی در ارتباط با توریسم و آسایش اقلیمی و پتانسیل‌سنجی گردشگری مناطق مختلف ایران تمرکز دارند. در این راستا می‌توان به تحقیقات مهمی اشاره کرد: درگاهیان و میرزایی (۱۳۸۵)، حیدری و سعیدآبادی (۱۳۸۶)، فتاحی و صالحی پاک (۱۳۸۸)، ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸)، پروین (۱۳۹۰)، فتوحی و همکاران (۱۳۹۲)، فلاح قالهری و همکاران (۱۳۹۴)، رنجبر و همکاران (۱۳۹۵)، رضانی‌پور (۱۳۹۷)، برنا (۱۳۹۸)، خوشدل و همکاران (۱۳۹۹). برنا (۱۳۹۸: ۱۱۳) با بررسی مطالعه شاخص‌های زیست‌اقلیمی (بیکر، تراجونگ، فشار عصبی، و TCI) مؤثر بر آسایش انسان در شهرستان بهبهان نتیجه گرفت که، برخلاف شاخص سوزباد، شاخص‌های بیوکلیمایی یادشده توانایی آشکارسازی دوره‌های آسایش و عدم آسایشی بهبهان را دارد. اگرچه سوزبادهای اغلب در مقیاس نسبتاً کوچک و میکرو عمل می‌کنند، می‌توانند در زمره بلایای طبیعی جوی خسارت‌بار قرار گیرند. سوزبادهای دشت مرتفع زرینه اوباتوو در دامنه‌های بادپناهی شرق کوهستان‌های چهل‌چشمه کردستان نیز، به‌عنوان یکی از مخاطرات محیطی، همواره طی سالیان مدید ابعاد مختلف زندگی اهالی محل و رانندگان و مسافران را- که در محور اصلی ارتباطی استان‌های آذربایجان و کردستان به‌ویژه مسیر سقز- دیوان‌دره در حال ترددند- دست‌خوش تغییر و تهدید کرده و مهم‌ترین پدیده جوی است که بیشترین فراوانی نسبی حوادث طبیعی موجود در این منطقه را به خود اختصاص داده است. بر اساس مرور منابع ارزشمند موجود، با وجود تلاش‌های فراوان محققان، در منطقه غرب کشور، به‌ویژه سطح استان کردستان در خصوص سوزبادهای دشت مرتفع زرینه اوباتوو، تاکنون مطالعه علمی و جامعی انجام نگرفته است. از این رو، انجام‌دادن این مطالعه ضرورت خاصی می‌یابد و می‌تواند گامی کوچک و نقطه آغازی برای بررسی عمیق‌تر و تبیین دقیق‌تر پدیده‌های محیطی

ویژه این منطقه جغرافیایی باشد. با توجه به روند مثبت تغییرات دمایی در نیم سده اخیر در ایران (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۹۰)، به نظر می‌رسد رفتار دما و آهنگ تغییرات سوزبادهای منطقه نیز از این تغییر مستثنا نباشد. بنابراین، بررسی روند تغییرات دمایی و سوزبادهای در منطقه مورد مطالعه یکی از اهداف اصلی این پژوهش بوده است. یکی از پرسش‌های مطرح این است: آیا رفتار سوزبادهای سطح دشت مرتفع زربینه اوباتوو طی سه دهه اخیر تغییر کرده است؟

مواد و روش‌ها

دشت مرتفع زربینه اوباتوو با موقعیت $46^{\circ}55'$ درجه طول جغرافیایی و $36^{\circ}04'$ درجه عرض جغرافیایی و در فاصله ۱۲۵ کیلومتری شمال سنندج در مرکز استان کردستان و حدفاصل شهرهای سقز، دیوان دره، تکاب، و زربینه در سمت دامنه‌های بادپناهی کوه‌های چهل چشمه واقع شده است (شکل ۱). در نیمه شرقی استان، به‌ویژه در بخش مرکزی آن و در پای دامنه شرقی کوه‌های چهل چشمه کردستان، دشت وسیع و مرتفع زربینه اوباتوو با متوسط ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است. بر اساس توصیه سازمان هواشناسی جهانی، آمارهای بلندمدت اقلیمی می‌تواند تغییرات و خصوصیات رفتار آبی عناصر اقلیمی و پدیده‌های جوی را تا حد زیادی نشان دهد (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸: ۴۶). داده‌های روزانه دمای متوسط و سرعت باد اطراف دشت مرتفع زربینه اوباتوو شامل ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک سقز و دیوان دره و زربینه و تکاب طی دوره بلندمدت آماری ۳۲ سال اخیر (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۹) از سازمان هواشناسی کردستان و آذربایجان غربی و سایت هواشناسی اسپانیا اخذ شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

ایستگاه زربینه اوباتوو در نزدیک‌ترین فاصله به دشت زربینه واقع است و از آنجا که سوزبادهای این منطقه در مقیاس میکرو و ویژه این منطقه کوهستانی‌اند، داده‌های آماری ایستگاه یادشده مبنای اصلی محاسبات، شاخص‌سازی، و تحلیل‌ها و آزمون‌های آماری قرار گرفت. پس از بررسی کمی و کیفی داده‌ها و حصول اطمینان از صحت و سقم آن‌ها، نواقص آماری برطرف شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، فرض نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

(K-S) و فرض همگنی و تصادفی بودن داده‌ها با آزمون توالی (Run Test) سنجش شد. با توجه به مقیاس تغییرات زمانی داده‌های دما و سرعت باد، شاخص سوزباد با برقراری شروط دمای حداقل ۲ درجه سلسیوس و سرعت باد بالاتر از ۴/۸ متر بر ثانیه و بر اساس جدیدترین فرمول (رابطه ۱) پیشنهادی محققان هواشناسی و اقلیم‌شناسی کانادا (بلوستاین و زچر، ۲۰۰۲) برای ۳۲ سال داده روزانه دوره سرد سال طی ماه‌های آبان تا فروردین‌ماه به کمک نرم‌افزار کاربردی Wind Chill Calculator محاسبه شد (NWS، ۲۰۰۲) و فراوانی و شدت روزهای همراه با سوزباد مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفت. مزیت به‌کارگیری شاخص سوزباد نسبت به شاخص‌های خنک‌کنندگی باد ترجونگ و TCI و KI در امکان استفاده از داده‌های ساعتی و روزانه آن است.

$$T(WC) = 13.12 + 0.6215T - 11.37V^{0.16} + 0.3965TV^{0.16} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، $T(WC)$ درجه سوزباد بر حسب درجه سلسیوس و T دمای حداقل بر حسب درجه سلسیوس است و V سرعت باد بر حسب کیلومتر بر ساعت است (محیط زیست کانادا، ۲۰۰۵؛ ۲۰۰۱). در ادامه، برای شناخت رفتار خطی و غیرخطی و برازش خط روند و محاسبه شیب آن، از رگرسیون چندجمله‌ای غیرخطی بر پایه روش حداقل مربعات استفاده شد. همچنین، آزمون‌های آماری-گرافیکی Man-Kendall و آماره T من-کندال نیز برای بررسی انحراف احتمالی و نوع و زمان تغییر در سری‌های اقلیمی میانگین دما و سرعت باد و شاخص سوزباد محاسباتی برای نزدیک‌ترین ایستگاه به دشت یادشده (زرینه اوباتوو) انجام گرفت. سطح معنی‌داری در آزمون‌ها، ۵ درصد در نظر گرفته شد. برای شناسایی و بررسی توزیع مقیاس زمانی وقوع سوزبادها، نخست نمودارهای میانگین بلندمدت توزیع فراوانی ماهانه و سالانه و دهمای دما و سرعت باد ترسیم شد تا بر تغییرات زمانی وقوع شرایط مساعد سوزباد در منطقه اشراف بیشتری حاصل شود. سپس، طبق جدیدترین شاخص ارائه‌شده برای سوزباد، بانک اطلاعاتی داده‌های دما و سرعت باد تهیه شد و روزهای سوزباد استخراج شد. با استفاده از تابع فیلتر در Excel، درجه شدت و دامنه سوزبادهای شناسایی‌شده مطابق ستون اول جدول ۱ طبقه‌بندی شد. در جدول یادشده، خطر سرمازدگی و یخ‌زدگی ناشی از سوزبادها در طبقات پنجگانه طیف سرمایش بادی قابل مشاهده است. فراوانی وقوع سوزبادها در هر دامنه طیفی محاسبه و تحلیل اقلیمی شد. برخلاف معادله یک خط راست، که توسط دو نقطه از آن خط قابل تعیین است، در معادله مدل غیرخطی^۱ در حقیقت در فضای اقلیدی در حد فاصل نقاط ابتدایی و انتهایی یک خط بیشتر از دو نقطه وجود دارد. بنابراین، با توجه به اینکه ارتباط بین متغیرهای مستقل دمای سوزباد و فراوانی سالانه سوزبادها روی یک خط راست قرار نداشت، مدل رگرسیون چندجمله‌ای^۲ حاکم بر توزیع مقیاس هر طیف از سوزبادها با استفاده از نرم‌افزار SPSS برازش داده شد تا بر اساس نحوه تغییرات ضرایب جملات مدل برای آینده بتوان پیش‌بینی کرد. به‌منظور امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک، نمودار توزیع فراوانی داده‌ها همراه با منحنی توزیع نرمال ترسیم و بررسی شد و آزمون‌های ناپارامتریک مناسب‌تر تشخیص داده شد. بنابراین، برای بررسی احتمال تغییرپذیری رفتار سوزبادها، از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال استفاده شد.

شاخص سوزباد

شاخص سوزباد بیانگر میزان احساس سرمایش واقعی ایجادشده در بدن انسان است و مفهومی ساده و عملی برای سنجش و اندازه‌گیری میزان اثرهای حرارتی باد بر اجزای بدن انسان از جمله سر و صورت در محیط‌های خارج از خانه (فضای آزاد) شناخته می‌شود (شیتزر، ۲۰۱۸؛ ۲۱۵). تاکنون برای مدل‌سازی و محاسبه شاخص سوزباد در مناطق مختلف

^۱. Non-Linear

^۲. Polynomial Regression

روابط ریاضی و فرمول‌های متعددی بر پایه داده‌های دما و سرعت باد پیشنهاد شده است. محققان کانادایی شاخص سوزباد نسبتاً جدیدتر و معتبرتری را در سال ۲۰۰۱ به صورت رابطه ۱ ابداع و توصیه کردند که بر اساس درجه سلسیوس عمل می‌کرد (هواشناسی و اقلیم‌شناسی محیطی کانادا، ۲۰۱۳).

جدول ۱. خطر سرمازدگی و یخ‌زدگی ناشی از طبقات طیفی سوزبادها (مأخذ: بلوستاین و زجر، ۲۰۰۲)

ردیف	شاخص سوزباد (سرمایش بادی)	احتمال خطر سرمازدگی	شرایط راحتی و آسایش بدن انسان	نحوه مقابله با شرایط پیش‌آمده و توصیه‌های ایمنی
۱.	صفر تا -۹	کم	شروع احساس عدم راحتی	پوشیدن لباس مناسب و کافی
۲.	-۱۰ تا -۲۷	متوسط	احساس عدم راحتی و خطر وقوع هیپوترما اگر انسان به مدت طولانی و بدون حفاظ در معرض هوای آزاد باشد.	پوشیدن چند لایه لباس مناسب با یک پوشش بیرونی ضد باد و استفاده از کلاه
۳.	-۲۸ تا -۳۹	زیاد- در صورتی که بدن به مدت ۱۰ الی ۳۰ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	شروع سرمازدگی اعضای انتهایی بدن (مانند انگشتان، بینی و گوش‌ها)	پوشیدن چند لایه لباس مناسب با یک پوشش بیرونی ضد باد همراه با کلاه؛ کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد.
۴.	-۴۰ تا -۴۷	خیلی زیاد- در صورتی که بدن به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	سرمازدگی و بی‌حس شدن اعضای انتهایی بدن (مانند انگشتان، بینی، و گوش‌ها)	پوشیدن چند لایه لباس گرم با یک پوشش بیرونی ضد باد همراه با کلاه؛ کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد؛ بدن را باید فعال نگه داشت.
۵.	-۴۸ و پایین‌تر	خیلی شدید- در صورتی که بدن به مدت ۲ الی ۵ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	خطر قطعی سرمازدگی اعضای بدن و وقوع حتمی هیپوترمای انسانی	در این شرایط باید خیلی احتیاط کرد؛ پوشیدن چند لایه لباس گرم پشمی با یک پوشش بیرونی ضد باد همراه با کلاه؛ کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد؛ اجتناب از حضور در فضای آزاد.

بر اساس آهنگ تغییرات دما و سرعت باد، هرچه سرعت باد بیشتر می‌شود و درجه حرارت هوا کاهش می‌یابد سرعت و زمان یخ‌زدگی ناشی از شدت سوزباد در مدت زمان کمتری اتفاق می‌افتد (اسکفسکی و بلوستاین، ۲۰۰۵: ۱۴۵۴). با توجه به فرمت ثبت داده‌های هواشناسی، سوزبادهای این تحقیق بر اساس شاخص نسبتاً جدیدتر و معتبرتر کانادایی (رابطه ۱) محاسبه و طبقه‌بندی شده‌اند.

آزمون من - کندال

در این روش نخست آزمون تصادفی بودن داده‌ها به روش من - کندال (پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی) برای احتمال وجود یا فقدان هر گونه روند در داده‌ها انجام شد. برای اجرای این آزمون، نخست سری‌های آماری رتبه‌بندی و برای میزان تغییر یا روند از رابطه ۲ $T = \frac{4p}{n(n-1)} - 1$ استفاده می‌شود که در آن T آماره من - کندال و n تعداد کل سؤال‌های آماری، و p حاصل جمع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از هر رده n_i است که بعد از آن قرار دارد و از رابطه ۳

$$P = \sum_{i=1}^n n_i \quad \text{به دست می‌آید. سنجش معنی‌دار بودن آماره } T \text{ از رابطه ۴ } T_t = \pm t_{\alpha} \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \text{ محاسبه می‌شود.}$$

برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر به ترسیم نمودار آماری گرافیکی من - کندال نیاز است. بدین منظور، معمولاً از جدول ویژه‌ای استفاده می‌شود. به طوری که، نخست داده‌ها رتبه‌بندی می‌شود و آماره t_i (نسبت رتبه i به

رتبه‌های ماقبل) محاسبه می‌شود و سپس فراوانی تجمعی آماره $(\sum t_i)t_i$ به دست می‌آید. در ادامه، امید ریاضی، واریانس، و شاخص من-کندال بر اساس رابطه‌های ۵ و ۶ و ۷ محاسبه می‌شود.

$$E_i = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad \text{رابطه ۷}$$

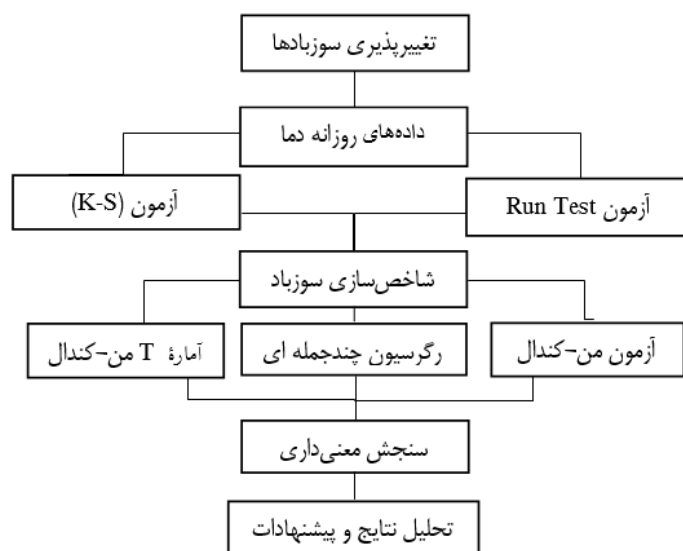
زمانی مقادیر u معنی دار است که روند افزایشی یا کاهششی در آن مشاهده شود و این بستگی دارد که مقدار آن به ترتیب از صفر بزرگ‌تر یا کوچک‌تر ($u_i > 0$ یا $u_i < 0$) باشد. در رابطه‌های ۶ و ۷، n_i ترتیب زمانی داده‌هاست. این شاخص دارای توزیع نرمال است، بنابراین، برای شناسایی معنی دار بودن از جدول منحنی نرمال استفاده می‌شود. برای بررسی تغییرات باید شاخص u_i نیز تعیین شود. مراحل محاسبه u_i بدین شرح است: داده‌ها رتبه‌بندی می‌شود، آماره t_i (نسبت رتبه I به رتبه‌های ما بعد) مشخص می‌شود، و سپس فراوانی تجمعی $(\sum t_i)t_i$ محاسبه می‌شود. امید ریاضی و شاخص u_i به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)}{4} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$V'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)[2(N - (n_i - 1)) + 5]}{72} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$U'_i = \frac{-(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در رابطه‌های ۸ و ۹، آماره N و حجم نمونه آماری مورد مطالعه است (ترکس، ۱۹۹۹: ۳۷۸). از نقطه نظر آماری، زمان تغییر در یک سری زمانی جایی است که از آن به بعد توزیع آماری دیگری بر داده‌ها حاکم شود (ها و ها، ۲۰۰۶: ۶۱۷). محل تلاقی دو نمودار u و u' بیانگر نقطه چشم‌گیر تغییر و وجود روند است؛ به طوری که اگر خطوط یادشده در داخل محدوده بحرانی (± 1.96) همدیگر را قطع کنند، نشانه زمان آغاز جهش و تغییر ناگهانی در داده‌هاست و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند، بیانگر جهش معنی دار و حاکمیت روندی جدید در سری زمانی است (سویرز، ۱۹۹۰: ۱۴). رفتار u_i بعد از محل تلاقی وضعیت روند (کاهششی یا افزایششی) سری را نشان می‌دهد. عدم تلاقی دو شاخص معرف عدم وقوع تغییر در سری زمانی است (ترکس و همکاران، ۲۰۰۲: ۹۷۵). به طور خلاصه، شکل ۲ مراحل اجرای پژوهش را در قالب فلوجارت نشان می‌دهد.



شکل ۲. فلوجارت اجرای پژوهش

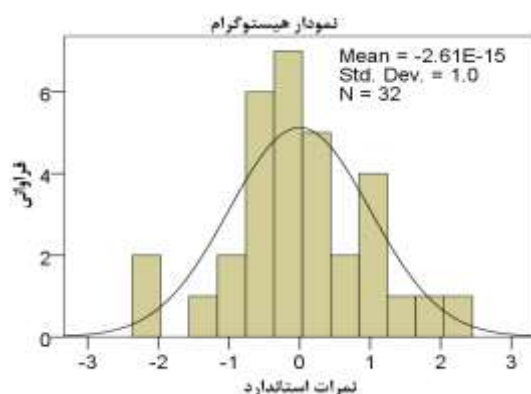
یافته‌های پژوهش

تحلیل توزیع مقیاس زمانی سوزبادها

بر اساس بررسی توزیع آمار بلندمدت، متوسط دمای دشت زربینه اوباتوو در دی‌ماه و بهمن‌ماه به ترتیب پایین‌ترین مقادیر ماهانه را ثبت کرده‌اند و میانگین سرعت باد دی‌ماه و اسفندماه بیشتر از سایر ماه‌هاست. میانگین ماهیانه سری زمانی دما و سرعت باد مورد بررسی به ترتیب $۵/۳-^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس و $۶/۹$ متر بر ثانیه بوده است (جدول ۲). همچنان‌که از نمودار نمرات استاندارد توزیع فراوانی سوزبادهای شکل ۳ پیداست، درجه نزدیکی توزیع میانگین دمای سالانه سوزبادها به نمودار توزیع فراوانی نرمال برازش داده شده (با میانگین حدود صفر و انحراف معیار برابر یک) خیلی زیاد است.

جدول ۲. میانگین ماهانه دما و سرعت باد طبقات دمایی سوزبادهای دشت زربینه اوباتوو

ماه	دمای طبقه ۱	سرعت باد طبقه ۱	دمای طبقه ۲	سرعت باد طبقه ۲	دمای کل طبقات	سرعت باد کل طبقات
فروردین	-۳	۷	-۴/۷	۶/۳	-۴/۱	۶/۵
آبان	-۲/۹	۵	-۵	۷/۵	-۴/۵	۶/۹
آذر	-۲	۶	-۶/۷	۷/۱	-۶	۶/۹
دی	-۳	۷	-۵/۹	۷/۴	-۵/۳	۷/۴
بهمن	-۲/۷	۶/۸	-۶/۳	۶/۸	-۵/۸	۶/۸
اسفند	-۲/۶	۶/۵	-۶/۸	۷/۲	-۶/۱	۷/۱
میانگین	-۲/۷	۶/۴	-۵/۹	۷/۱	-۵/۳	۶/۹



شکل ۳. نمودار نمرات استاندارد میانگین سالانه دمای سوزباد

بر اساس شاخص سوزباد، از بین ۱۱۶۸۶ روز مورد بررسی، ۵۰۵ سوزباد استخراج شد. میانگین دمای کل سوزبادهای حدود ۱۳/۱ درجه و انحراف معیار ۳/۸ واحد بود. ۲۰ درصد (۹۰ روز) از آن‌ها به سوزبادهای طبقه اول (صفر تا ۹- درجه) و حدود ۸۰ درصد (۴۱۴ روز) به سوزبادهای طبقه دوم (۱۰- تا ۲۷- درجه)، و فقط یک مورد سوزباد به طبقه سوم اختصاص پیدا کرد. حدود ۷۴ درصد از فراوانی نسبی سالانه سوزبادهای دشت زرینه اوباتوو دمایشان بین ۱۶- تا ۹- درجه سلسیوس بود. فراوانی وقوع سوزبادهای پایین‌تر از ۲۰- درجه کمتر از ۵ درصد بود. سایر آماره‌های شاخص‌های گرایش مرکزی و گرایش پراکنندگی وقوع سوزبادهای دشت زرینه اوباتوو در جدول ۳ آمده است. از نظر فراوانی ماهانه درون طبقه‌ای، بیش از ۹۵ درصد فراوانی سوزبادهای طبقه اول دمایشان بین ۹- تا ۸- درجه است. حدود ۷۵ درصد فراوانی سوزبادهای طبقه دوم نیز دمایشان بین ۱۰- تا ۱۵- درجه است. از نظر توزیع مقیاس فراوانی ماهانه کل سوزبادهای می‌توان گفت به ترتیب حدود ۳۷ و ۲۴ درصد از سوزبادهای در بهمن، دی، و اسفندماه اتفاق افتاده‌اند. ترتیب فراوانی یادشده برای هر دو طبقه سوزباد هم مثل هم است (جدول ۴). همچنان‌که از جدول ۴ پیداست، بهمن‌ماه با فراوانی ۳۰ و ۳۸/۹ درصد سوزبادهای طبقه اول و دوم به ترتیب بیشترین فراوانی وقوع را به خود اختصاص داده است. بررسی میانگین دمای ماهانه سوزبادهای هم نشان می‌دهد که بالاترین واریانس در شدت سوزبادهای به بهمن و اسفندماه اختصاص دارد (جدول ۵).

جدول ۳. شاخص‌های گرایش مرکزی و گرایش پراکنندگی داده‌های سوزباد دشت زرینه اوباتوو

آماره	فراوانی	% فراوانی	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	میانه	مد(نما)	واریانس	چولگی	کشیدگی
طبقه اول	۹۰	۶۴	۵	-۹	-۴	-۶۶	۱/۵	-۸/۷	-۹	-۰/۳۱	-۰/۰۷	-۱/۰۲
طبقه دوم	۴۱۴	۳۶	۱۰	-۲۰	-۱۰	-۱۲/۸	۲/۵۷	-۱۳/۲	-۱۱	-۱۲/۳	-۰/۸۶	-۱/۱۱
طبقه سوم	۱	۰/۲	۰	-۲۸	-۲۸	-۲۸	---	---	---	---	---	---
کل طبقات	۵۰۵	۱۰۰	۲۱	-۲۸	-۷	-۱۳/۱	۳/۸	-۱۲/۳	-۹	۱۴/۷	-۱/۰۴	۰/۹۹۷

جدول ۴. توزیع فراوانی ماهانه تعداد سوزبادهای زرینه

ماه	فراوانی طبقه اول	% فراوانی	فراوانی طبقه دوم	% فراوانی	فراوانی کل	% فراوانی
فروردین	۷	۷/۸	۱۵	۳/۶	۲۲	۴/۴
آبان	۱	۱/۱	۳	۰/۷	۴	۰/۸
آذر	۱۷	۱۸/۹	۴۷	۱۱/۴	۶۴	۱۲/۷
دی	۲۰	۲۲/۲	۱۰۱	۲۴/۴	۱۲۱	۲۴
بهمن	۲۷	۳۰	۱۶۱	۳۸/۹	۱۸۸	۳۷/۳
اسفند	۱۸	۲۰	۸۷	۲۱	۱۰۵	۲۰/۸
جمع	۹۰	۱۰۰	۴۱۴	۱۰۰	۵۰۵	۱۰۰

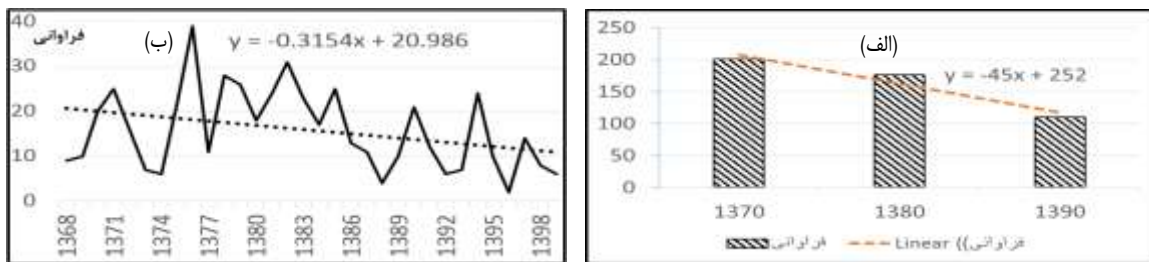
جدول ۵. توزیع میانگین دمای ماهانه سوزبادها در هر طبقه

ماه	میانگین دمای طبقه ۱	انحراف معیار	میانگین دمای طبقه ۲	انحراف معیار	میانگین دمای طبقه ۳	انحراف معیار
فروردین	-۹	۰/۳۲	-۱۲/۴	۲	-۱۱/۳	۲/۴
آبان	-۹	---	-۱۲/۲	۳/۱	-۱۱/۴	۳
آذر	-۸	۰/۵۳	-۱۴/۳	۳/۲	-۱۳	۳/۸
دی	-۹	۰/۵۵	-۱۳/۴	۳/۲	-۱۲/۶	۳/۴
بهمن	-۸/۸	۰/۴۴	-۱۴	۳/۸	-۱۳	۴/۱۲
اسفند	-۸/۹	۰/۵	-۱۴/۷	۳/۶	-۱۳/۷	۳/۹

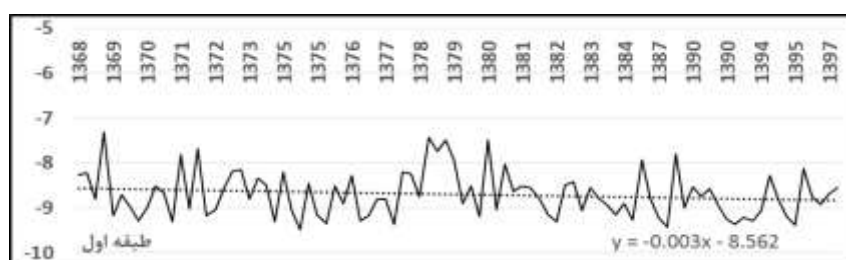
تحلیل آزمون من- کندال

با توجه به نتایج محاسبه آماره آزمون نیکویی برازش کولموگروف- اسمیرنوف (K-S)، که مقدار آماره معنی‌داری (Sig) آن برای داده‌های میانگین دمای سوزبادها ۰/۹۸۹ و برای داده‌های فراوانی تعداد سوزبادها ۰/۶۸۷ شد و با توجه به قضیه عمومی ($n \geq 30$)، فرض نرمال بودن توزیع آماری داده‌های سوزبادها تأیید شد. مقدار آماره معنی‌داری (Sig) آزمون توالی (Run Test) برای داده‌های میانگین دمای سوزبادها ۰/۸۳۹ و برای داده‌های فراوانی تعداد سوزبادها ۰/۰۵۵ شد. بنابراین، همگنی و تصادفی بودن آن‌ها نیز پذیرفته شد. میزان تغییرپذیری یا روند سری داده‌های میانگین سالانه و فراوانی سالانه سوزبادها با استفاده از آماره T من- کندال نیز به ترتیب حدود ۰/۰۱۶- و ۰/۲۲۶- به دست آمد و نشان از حاکمیت روند منفی در داده‌های یادشده دارد. از آنجا که مقادیر آماره یادشده برای میانگین سالانه و فراوانی سالانه سوزبادها به ترتیب در داخل ناحیه بحرانی $\langle T \rangle - 0.054$ و $\langle T \rangle - 0.044$ بود، معنی‌داری روند در سری داده‌های یادشده تأیید نشد و میانگین و فراوانی سوزبادهای منطقه مورد مطالعه تصادفی بودن و حالت نرمال خود را طی ۳۲ سال اخیر حفظ کرده‌اند. اما برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییرات احتمالی در سری داده‌های سوزباد به بررسی بیشتر با استفاده از آزمون آماری گرافیکی من- کندال نیاز بود.

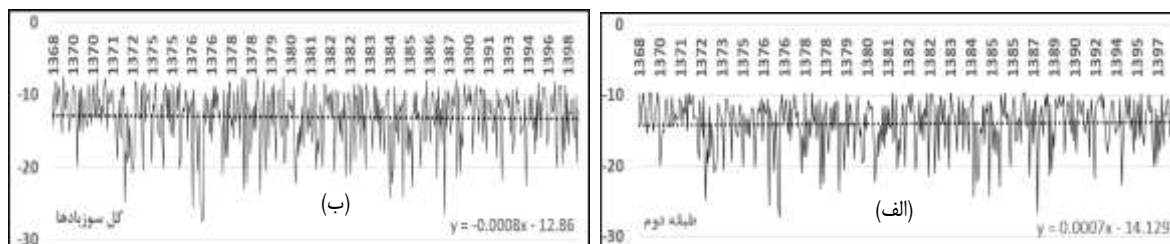
همچنان که از نمودار توزیع فراوانی دهه‌ای و سالانه سوزبادها در شکل ۴- الف و ب پیداست، بیشترین و شدیدترین سوزبادها در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده است و در دهه ۱۳۹۰ کاهش ۵۰ درصدی را نشان داده و آهنگ تغییرات نزولی با شیب تابع توزیع خطی ۰/۳۲ به خود گرفته است. در سال ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶ به ترتیب ۳۹ و ۲ مورد سوزباد اتفاق افتاده است. بررسی نمودار فراوانی سالانه پراکنش کلی تعداد سوزبادها به ویژه سوزبادهای طبقه اول حاکی از روند کاهش طی دوره مورد مطالعه آن‌هاست (شکل ۵). اما این موضوع برای فراوانی سالانه سوزبادهای طبقه دوم و کل سوزبادها وضعیتی بدون روند و تقریباً ثابت دارد (شکل ۶- الف). این بدان معناست که فراوانی تعداد کل سوزبادها کاهش داشته است، اما این کاهش عمدتاً ناشی از تعدیل بیشتر هوا و حاکمیت بیشتر سوزبادهایی با درجه شدت نسبتاً پایین (طبقه ۱) است (شکل ۶- ب).



شکل ۴. نمودار توزیع فراوانی دهه‌ای (الف- سمت راست) و نمودار توزیع فراوانی سالانه سوزبادهای (ب- سمت چپ)

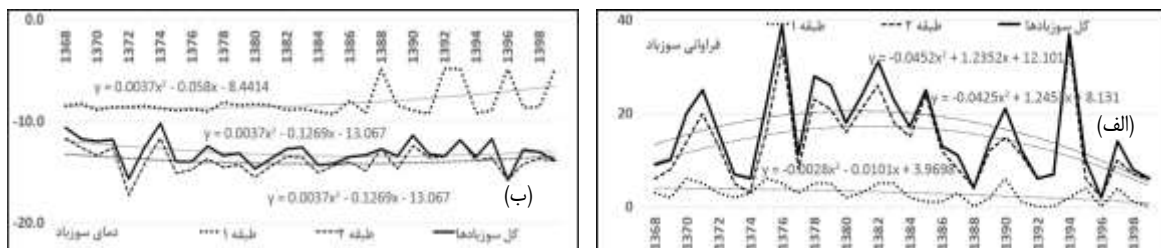


شکل ۵. نمودار پراکنش فراوانی وقوع سالانه سوزبادهای طبقه اول طی دوره مورد مطالعه (۱۳۶۸-۱۳۹۹)



شکل ۶. نمودار پراکنش فراوانی سالانه سوزبادهای طبقه ۲ (الف- سمت راست) و کل سوزبادهای (ب- سمت چپ)

بررسی مقایسه فراوانی تعداد سوزبادهای طبقه دوم نسبت به نمودار فراوانی تعداد کل سوزبادهای نشان می‌دهد که آهنگ تغییرات و الگوی نوسانات سالانه نمودار پراکنش فراوانی این دو بسیار به هم نزدیک است و تقریباً انطباق کاملی با هم دارند؛ به طوری که هر سالی که فراوانی سوزبادهای زیاد شده بیشتر ناشی از فراوانی تعداد سوزبادهای طبقه دوم بوده و در سال‌هایی که فراوانی وقوع سوزبادهای افزایش پیدا کرده فراوانی سوزبادهای طبقه اول هم از نظر تعداد و هم از نظر شدت کمتر شده است (شکل ۷- الف). در این شکل معادله رگرسیون چندجمله‌ای با درجه ۲ نیز برای هر یک از متغیرها (طبقات سوزبادهای) قابل مشاهده است که بتوان بر اساس رفتار گذشته وقوع شرایط آتی را برآورد کرد. بررسی مقایسه نمودار پراکنش میانگین سالانه طبقات دمایی سوزبادهای نیز حاکی از حاکمیت روند افزایشی در میانگین دمای کل سوزبادهای به ویژه متوسط دمای سالانه سوزبادهای طبقه اول است. آهنگ تغییرات و الگوی نمودار نوسانات سالانه دمای سوزبادهای طبقه دوم تقریباً با تغییرات نمودار پراکنش متوسط دمای سالانه کل سوزبادهای منطبق است (شکل ۹- ب).



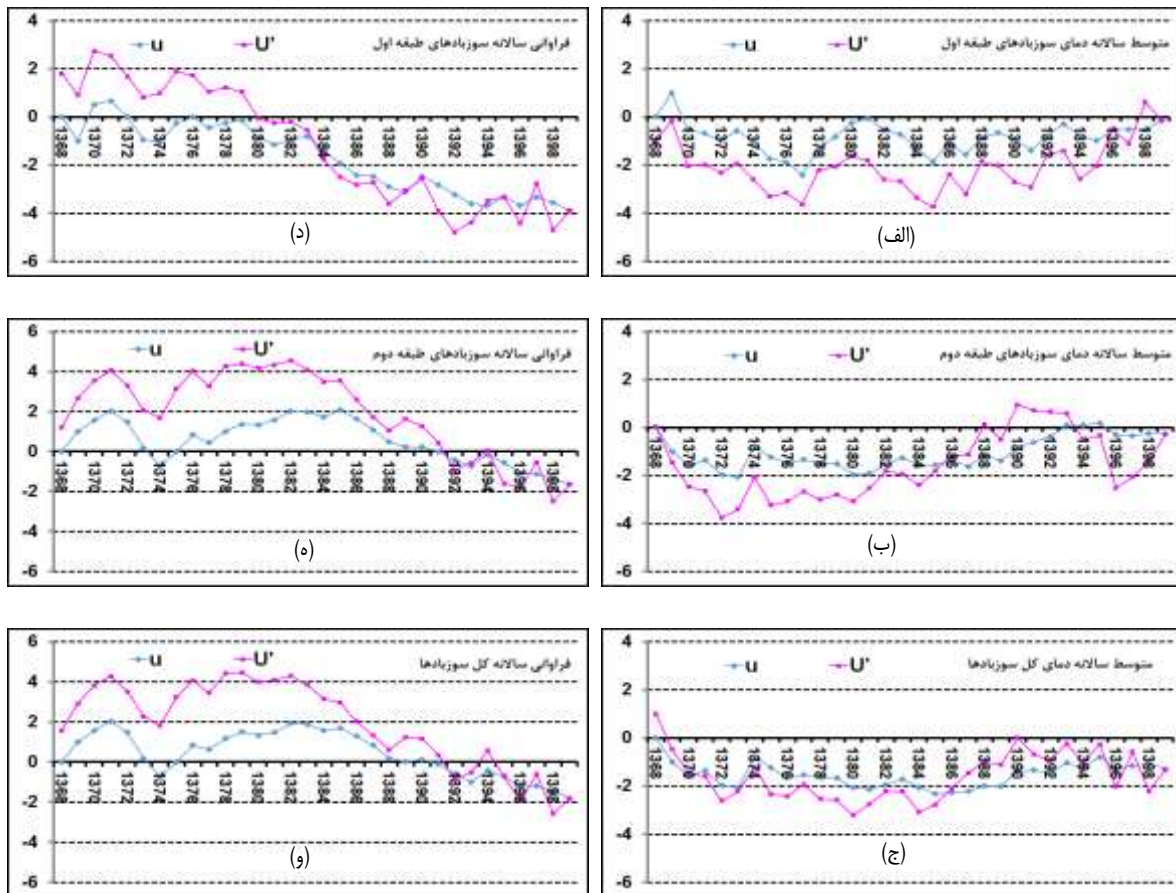
شکل ۷. نمودار مقایسه پراکنش فراوانی وقوع سوزبادهای (الف - سمت راست) و میانگین دمای طبقات سوزباد (ب- سمت چپ)

برای حصول اطمینان بیشتر از ادعای تحلیل‌های یادشده و تحلیل تغییرپذیری اقلیمی سوزبادهای و شناخت بیشتر تغییرات سری‌های زمانی میانگین و فراوانی تعداد سوزبادهای و بررسی نوع و زمان تغییر و ایجاد جهش در سوزبادهای دشت زربینه اوباتوو، نتایج حاصل از آزمون روش آماری- گرافیکی من- کندال آورده شده است. یکی از فرض‌های اساسی در اغلب پردازش‌های آماری، فرض تصادفی بودن مشاهدات است و انحراف از این فرض می‌تواند به دلیل تغییرات تدریجی خطی (روند افزایشی یا کاهش)، تغییر ناگهانی، وجود رفتارهای دوره‌ای و تغییرپذیری، نوسانات زمانی، و برخی علل دیگر باشد (شهاب‌فر و همکاران، ۱۳۸۲: ۷۹). نتایج حاصل از محاسبه آماره T من- کندال اندازه روند و سنجش معنی‌داری سری داده‌های میانگین سالانه دمای سوزبادهای و فراوانی سالانه سوزبادهای نشان می‌دهد که در همه سری‌های یادشده روند نزولی حاکم بوده است. در این میان، بیشترین و کمترین مقدار روند نزولی به ترتیب مربوط به داده‌های فراوانی سالانه دمای سوزبادهای طبقه اول ۰/۴۸- و میانگین سالانه دمای سوزبادهای ۰/۱۶+ بوده است. اما بر اساس نتیجه محاسبه آماره سنجش معنی‌داری، روند نزولی سری داده‌های یادشده تأیید نشد. در مجموع، بر اساس نتایج محاسبه آماره یادشده، میانگین سالانه دمای سوزبادهای روند صعودی و فراوانی سالانه سوزبادهای روند نزولی داشته است (جدول ۶).

جدول ۶. نتایج آزمون آماره T و معنی‌داری روند برای میانگین سالانه دما و فراوانی سالانه طبقات دمایی سوزبادهای

آماره	دمای طبقه ۱	طبقه ۲	دمای کل طبقات	فراوانی طبقه ۱	طبقه ۲	فراوانی کل طبقات
آماره T من- کندال روند	-۰/۱۶۱	-۰/۰۱۶	-۰/۰۳۲	-۰/۴۸۴	-۰/۲۰۶	-۰/۲۲۶
وضعیت حاکمیت روند	روند منفی	منفی	منفی	منفی	منفی	منفی
سنجش معنی‌داری روند	۰/۰۴۷	۰/۰۵۵	۰/۰۵۴	۰/۰۲۹	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴
نتیجه آزمون معنی‌داری	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال

نتایج حاصل از اعمال مدل تغییرپذیری من- کندال میانگین دمای سوزبادهای و فراوانی سالانه آنها نشان داد که در دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ دو مؤلفه U و U' نمودار مدل من- کندال میانگین سالانه دمای طبقه اول و دوم سوزبادهای چند بار تلاقی و جهش داشته‌اند و از اواسط دهه ۱۳۸۰ دمای سوزبادهای روند افزایشی به خود گرفته‌اند. اما از آنجا که مؤلفه‌های یادشده در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ تلاقی و همدیگر را قطع کرده‌اند، جهش و آغاز تغییرات ناگهانی در دمای سوزبادهای معنی‌دار نبوده است (شکل ۸- الف و ب). نتیجه مدل‌سازی تغییرپذیری داده‌های میانگین دمای سالانه کل سوزبادهای وضعیت متفاوتی را نشان داد. به طوری که، علاوه بر وجود چندین جهش در سری زمانی یادشده، در سال ۱۳۸۵ جهش و روند صعودی معنی‌داری در دمای سوزبادهای یادشده اتفاق افتاده است (شکل ۸- ج).



شکل ۸. الف، ب، و ج مؤلفه U و U' برای میانگین دمای سوزبادهای (ستون راست) است و د، ه، و فراوانی کل سوزبادهای (چپ)

نتایج حاصل از اعمال مدل تغییرپذیری من- کندال برای فراوانی سالانه تعداد سوزبادهای نیز نشان داد که از اوایل دهه ۱۳۸۰ روند نزولی بر فراوانی سالانه سوزبادهای در همه طبقات حاکم و رفتار فراوانی سوزبادهای نزولی بوده است (شکل ۸- ه، و، ز). اما در دهه ۱۳۹۰ و دو مؤلفه U و U' نمودار مدل من- کندال مربوط به فراوانی سالانه طبقه اول سوزبادهای چندین بار تلاقی و جهش در خارج از محدوده بحرانی ± 1.96 داشته‌اند و از اواسط دهه ۱۳۸۰ همه جهش‌ها و تغییرات یادشده معنی‌دار بوده است (شکل ۸- ز). در مجموع، طی ۳۲ سال اخیر سری‌های زمانی دما و فراوانی سالانه سوزبادهای تجربه جهش و تغییرپذیری داشته‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

آب و هوا یکی از جنبه‌های مهم زندگی انسان است که اثر آن بر فعالیت‌های انسان بر همگان روشن است. شاخص سوزباد برای بیان ارتباط عدم راحتی انسان باتوجه به درنظرگرفتن تأثیر مشترک باد و دمای هوا ارائه شده است. سوزبادهای، به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی، هرازگاه در دشت زربینه اوباتوو خسارت‌هایی از نظر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی به‌بار می‌آورند. به‌طور کلی، پس از جمع‌آوری داده‌ها، به‌منظور بررسی سوزبادهای و تحلیل احتمال وجود هر گونه تغییرات ناگهانی و وجود روند معنی‌دار در این پدیده، از آماره‌های مختلف شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی،

آزمون‌ها و مدل‌های مختلف آماری، و روش آماری-گرافیکی من-کندال استفاده شد. نرم‌افزارهای Excel و SPSS ابزارهای تلخیص و تهیه بانک اطلاعاتی و تحلیل‌های آماری این مطالعه بودند.

در بهمن‌ماه، هر دو طبقه اول و دوم سوزباده‌ها، بیشترین فراوانی وقوع نسبی را دارند. فراوانی نسبی سالانه سوزباده‌های طبقه اول حدود ۶۴ درصد از کل سوزباده‌ها و فراوانی سوزباده‌های طبقه دوم حدود ۳۶ درصد است. بر اساس برآزش معادله رگرسیون خطی، فراوانی سوزباده‌ها در کل روند کاهشی داشته است، اما، برخلاف سوزباده‌های طبقه دوم، این روند بیشتر مربوط به فراوانی وقوع سوزباده‌های طبقه اول و کاهش چشم‌گیر تعداد آن‌ها بوده است. روند افزایشی در متوسط دمای سالانه کل سوزباده‌ها، به‌ویژه دمای سوزباده‌های طبقه اول، حاکمیت دارد. آهنگ تغییرات و الگوی نمودار نوسانات سالانه دمای سوزباده‌های طبقه دوم تقریباً انطباق کاملی با تغییرات نمودار پراکنش متوسط دمای سالانه کل سوزباده‌ها نشان داد. در مجموع، روند کاهشی در توزیع پراکندگی فراوانی سالانه سوزباده‌ها و وضعیت روند افزایشی در توزیع پراکندگی میانگین دمای سالانه سوزباده‌های دشت زرینه اوباتوو مشاهده می‌شود و از شدت دمای سوزباده‌های نسبتاً شدید منطقه مورد مطالعه کاسته شده است. اگرچه به علت ماهیت کوهستانی منطقه و محدودیت‌های آماری و کمبود ایستگاه‌های هواشناسی خودکار در منطقه، به راحتی و اطمینان بالا نمی‌توان درباره اقلیم و تغییرات آن صحبت کرد، نتایج حاصل از آزمون‌ها و مدل‌های دیگر از جمله تحلیل آزمون T من-کندال و آزمون من-کندال نشان داد که، به استثنای تغییرات و جهش معنی‌دار در فراوانی تعداد سوزباده‌های طبقه اول و جهش معنی‌دار در سری زمانی میانگین سالانه دمای کل سوزباده‌ها، تاکنون چندین جهش و آغاز تغییرات ناگهانی در فراوانی وقوع سوزباده‌ها طی دهه ۱۳۷۰ و ۱۳۹۰ اتفاق افتاده است. ولی معنی‌داری این جهش‌ها تأیید نشد. هرچندکه آثار و نشانه‌های واضحی در روند کاهشی در سری زمانی فراوانی وقوع سوزباده‌ها به‌ویژه در دهه‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰ قابل مشاهده است، تغییرات مؤلفه U و U' نمودارهای یادشده برای میانگین سالانه دمای سوزباده‌هایی با مقوله فراوانی وقوع آن‌ها کاملاً متفاوت بوده و برعکس هم عمل کرده است. این موضوع با بررسی میدانی و اظهارات اهالی روستائیان منطقه مورد مطالعه نیز تأیید شد. از طرفی، نتایج تحقیق یادشده هرچند از نظر موضوعی و روش کار اندکی با تحقیقات سایر محققان داخلی متفاوت است، به لحاظ بررسی مفهوم تغییرپذیری عناصر اقلیمی، به‌ویژه دما در مناطق مختلف ایران، همسوست با نتایج تحقیقات و کارهای ارزشمند پروین (۱۳۹۰)، رسولی و عزیززاده (۱۳۸۵)، رنجبر و همکاران (۱۳۹۵)، حجازی‌زاده و پروین (۱۳۸۸)، و مسعودیان (۱۳۸۳) مبنی بر شروع روند افزایشی دما در مناطق مختلف طی دو دهه اخیر.

نهایتاً اینکه، از دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ روند کاهشی محسوسی در پراکندگی فراوانی توزیع سالانه سوزباده‌ها و روند افزایشی در توزیع میانگین دمای سالانه سوزباده‌های دشت زرینه اوباتوو مشاهده می‌شود و از شدت دمای سوزباده‌های منطقه کاسته شده است. نتیجه دیگر اینکه تغییرپذیری فراوانی و شدت سوزباده‌های دشت زرینه اوباتوو طی سه دهه اخیر حداقل برای دو سری داده معنی‌دار بود، اما این تغییرات ناگهانی در سایر سری‌های زمانی دیگر عمدتاً از نوع نوسانات کوتاه‌مدت اقلیمی بودند و حاکمیت روند مقطعی و حالت نرمالی داشتند. در این میان، مقوله افزایش دمای سالانه کل سوزباده‌ها و کاهش چشم‌گیر فراوانی سوزباده‌های طبقه اول نمود بیشتری داشته و در دوره سرد برای منطقه تعدیل دمایی همراه داشته است. به‌طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که در کل میزان دمای فصل زمستان منطقه افزایش یافته و متعاقب آن هم میزان سردی سوزباده‌ها هم فراوانی وقوع آن‌ها تغییر کرده است؛ به‌طوری‌که دمای سرمایش سوزباده‌ها روند کاهشی داشته و در سال ۱۳۸۶ جهش معنی‌داری را نیز تجربه کرده است. از اواسط سال ۱۳۸۰ نیز فراوانی سالانه طبقه اول سوزباده‌ها روند کاهشی داشته و چند جهش معنی‌دار را نشان داده و حالت نرمال بلندمدت خود را از دست داده است.

از آنجا که شاخص سوزباد، به عنوان شاخص احساس واقعی سرما در فصل سرد سال، کاربرد فراوانی دارد، پیشنهاد می شود از جدیدترین روش پیشنهادی- که از خصوصیات همچون سادگی، علمی بودن، کمی بودن، و از تطابق نسبتاً کاملی با فیزیولوژی بدن برخوردار بوده- به عنوان یک مرجع جدید برای آگاهی بخشی برنامه ریزان و مدیریت بحران شرایط جوی سوزباد استفاده شود. از طرفی، با توجه به نتایج حاصل از تحلیل توزیع فراوانی و شدت وقوع سوزبادهای سطح دشت زرینه اوباتوو و نتایج حاصل از مدل سازی تغییرپذیری آن ها، در راستای مدیریت بهینه سوزبادهای متخصصان مربوطه «سامانه هشدار اولیه سوزباد» ویژه منطقه یادشده را طراحی کنند و سازمان هواشناسی بر اساس مقادیر جدیدترین شاخص سوزباد جهانی هشدارهای جوی و توصیه های هواشناسی را به موقع اطلاع رسانی کند تا برنامه ریزان بهداشت و درمان و سایر نهادهای مرتبط به نحو مطمئن تری برای مقابله با اثرهای سرمازدگی آمادگی لازم را داشته باشند.

سپاسگزاری

ضمن قدردانی از اداره کل هواشناسی استان، به سبب در اختیار گذاشتن داده های آماری، این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت های مالی معاونت فناوری و پژوهشی دانشگاه پیام نور به انجام رسیده است.

منابع

- برنا، ر. (۱۳۹۸). مطالعه شاخص های زیست اقلیمی مؤثر بر آسایش انسان، فصل نامه آمایش محیط، شماره ۴۵، صص ۹۵-۱۱۷.
- پروین، ن. (۱۳۹۰). الگوهای گردشی مؤثر بر وقوع یخبندان های دیررس بهاره استان کردستان»، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲، صص ۱۷-۳۷.
- حجازی زاده، ز. و پروین، ن. (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر»، پژوهش های بوم شناسی شهری، صص ۴۳-۵۶.
- حیدری، ح. و سعیدآبادی، ر. (۱۳۸۶). ناحیه بندی سوزباد در شمال غرب و غرب ایران، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۲، صص ۹۳-۱۰۷.
- خوشدل، ن.؛ رضایی، پ.؛ متولی، ص. و جانباز قبادی، غ. (۱۳۹۹). تبیین اقلیم گردشگری شرق استان گیلان و طبقه بندی مکانی آن، مطالعات برنامه ریزی سکونتگاه های انسانی، شماره ۴، صص ۱۱۱۹-۱۱۳۶.
- درگاهیان، ف. و میرزایی، ح. (۱۳۸۵). شاخص سوزباد به عنوان یک شاخص اقلیمی مؤثر بر راحتی انسان، نشریه نیوار، شماره پیاپی ۶۰-۶۱، صص ۱۹-۳۰.
- ذوالفقاری، ح.؛ هاشمی، ر. و رادمهر، پ. (۱۳۸۹). تحلیلی بر نیازهای سرمایه گذاری و گرمایشی در شمال غرب ایران، پژوهش های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۰، صص ۲۱-۳۴.
- رئین، پ. (۱۹۷۲). بوران ۱۳۵۰: شدیدترین بوران تاریخ معاصر ایران و جهان | شبکه هوا و فضا، روزنامه daily gazzete نیویورک، به تاریخ جمعه ۲۲ بهمن ماه ۱۳۵۰.
- رسولی، ع. و عزیززاده، م. (۱۳۸۵). مدل سازی مکانی پدیده سرمایش بادی در شمال غرب کشور، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۰، صص ۳۰-۵۰.

- رضانی‌پور، م. (۱۳۹۷). شناسایی پتانسیل‌های بوم-گردشگری پایدار شهری- منطقه‌ای شهرستان نوشهر بر اساس عوامل طبیعی- اقلیمی، فصل‌نامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۴۰، صص ۱۴۳-۱۶۰.
- رنجبر، س؛ کمالی، غ؛ عطائی، ه. و گندمکار، ا. (۱۳۹۵). تعیین شاخص سوزباد در ایران بر پایه داده‌های اقلیمی، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، شماره ۳۳، صص ۶۷-۸۱.
- شهاب‌فر، ع؛ محمدنیاقرائی، ش. و جاودانی خلیفه، ن. (۱۳۸۲). بررسی تغییرات زمانی روزهای یخبندان در مشهد، دانشگاه اصفهان، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، صص ۷۴-۸۱.
- فتاحی کیاسری، ا. و صالحی پاک، ت. (۱۳۸۸). تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۲۷-۱۳۶.
- فتوحی، ص؛ زهرایی، ا. و ابراهیمی تبار، ا. (۱۳۹۲). ارزیابی شرایط اقلیم گردشگری استان‌های شمالی حاشیه دریای خزر، با استفاده از TCI و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصل‌نامه فضای جغرافیایی، شماره ۴۲، صص ۱۶۹-۱۸۹.
- فلاح قالهری، غ؛ میوانه، ف. و شاکری، ف. (۱۳۹۴). ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی، مطالعه موردی: استان کردستان، فصل‌نامه سلامت و محیط زیست، شماره ۳، صص ۳۶۷-۳۷۸.
- مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، جغرافیا و توسعه، شماره ۳، صص ۸۹-۱۰۶.
- میرزاخانی، آ. (۱۳۷۸). تجزیه و تحلیل ریسک سیل و آثار زیان‌بار آن در ایران، فصل‌نامه بیمه، شماره ۱۰، صص ۸-۱۲.

Bluestein, M. and Zecher, J. (2002). A New Approach to an Accurate Wind Chill Factor, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(9): 1893-1900.

Bureau of Meteorology (2010). The Apparent Temperature (AT) - Heat Index, Australia. Bom.gov.au.

Environment Canada (2001). Canada's New Wind Chill Index, <http://www.mb.ec.gc.ca>.

Environment Canada Weather and Meteorology (2013). Canada's Wind Chill Index, *Ec.gc.ca*. Retrieved 2013-08-09.

Grieser, J.; Tromel, S. and Schonwiese, C.D. (2002). Statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3): 171-183.

Ha, J.K. and Ha, E. (2006). Climatic Change and Inter annual Fluctuation in the Long-term Record of Monthly Precipitation for Seoul, *Int. J. Climatol*, 26, 607-618.

Haylock, M. and Nicholls, N. (2000). Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998, *International Journal of Climatology*, 20, 1533-1541.

<https://kitset.ir/conversion/speed-converter>

<https://www.britannica.com>

<https://www.britannica.com/science/wind-chill>

Koop, L.K. and Tadi, P. (2021). *Physiology, Heat Loss*, StatPearls Publishing LLC.

- National Weather Service (USA) (2001). Wind Chill temperature index, <http://www.nws.noaa.gov>.
- NWS Wind-Chill Temperature Index Wind Chill Charts (2002). Available at: www.news.noaa.gov.
- Osczevski, R. and Bluestein, M. (2005). The new wind chill equivalent temperature chart, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86 (10): 1453-1458.
- Piirsalu, P.; Tanel, K.; Nutt, Irje; Giovanni, M. and Arney, D. (2020). The effect of climate parameters on sheep preferences for outdoors or indoors at low ambient temperatures, *Animals*, Vol. 10, No. 1029, PP. 1-11.
- Roshan, G.; Gafari, M.; Shakoor, A. and Mohammad-Nejad, V. (2010). Studying Wind Chill Index as a Climatic Index Effective on the Health of Athletes and Tourists Interested in Winter Sports, *Asian Journal of Sports Medicine*, Vol. 1, No. 2, PP. 108-116.
- Shen, S. (2003). Global warming science and policy: progress 2002-2003, *Proceeding of 14th Global warming International conference and expo (24-30 may, Boston. USA)*, PP. 7-18.
- Shitzer, A. (2018). *Estimation of Wind Chill Equivalent Temperatures (WCETs)*, Book Editor(s): Devashish Shrivastava.
- Sueyvers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observation, *WMO*, 415, PP. 2-15.
- Teodoreanu, E. (2015). Index Bioclimatic "Wind-Chill, *PESD*, Vol. 9, No. 1, PP. 237-242.
- Ting, C.C.; Lee, Jing-N. and Shen, Chun-Hong, (2008). Development of a wind forced chiller and its efficiency analysis, *Applied Energy*, No. 85, PP. 1190-1197.
- Toros, H.; Deniz, A.; Aylan, L.S.; Sen, O. and Baloglu, M. (2005). Spatial variability of chilling temperature in Turkey and its effect on human comfort, *Meteorol. Atmos. Phys*, 88, PP. 107-118.
- Turkes, M. (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity condition, *Trkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23, PP. 363-380.
- 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. J. Climatol*, 22, PP. 947-977.