

تحلیل تغییرات آب و هوایی در غرب کشور (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک سنندج)

منوچهر فرج زاده^{۱*}، سینا الهی^۲

^۱استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۲۵

چکیده

تغییر اقلیم یکی از عمده‌ترین چالش‌های پیش روی بشر در زمان حاضر است. پارامترهای مختلف اقلیمی نظیر دما، بارش و باد در یک محل از عواملی هستند که بر اقلیم آن منطقه تاثیر گذار بوده و شناخت آنها تعیین کننده اقلیم آن منطقه می‌باشند. وقوع پدیده‌هایی از قبیل افزایش یا کاهش ناگهانی دما، بارندگی و سرعت و جهت باد طی یک یا چند سال را می‌توان دلیلی بر تغییر اقلیم آن منطقه دانست. از مباحث مهم اقلیمی که در سال‌های اخیر افکار پژوهشگران و حتی سران حکومت‌ها و سازمان‌ها را به دلیل اثراتی که بر فعالیت‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و ... دارا می‌باشد، به خود مشغول داشته است. در کشور ما نیز این مسئله کمتر مورد توجه بوده است ولی در سال‌های اخیر تحقیقات و کنفرانس‌هایی را در پی داشته است. به منظور بررسی تغییر اقلیم استان کردستان میانگین، حداقل، حداکثر درجه حرارت و میانگین بارش و میانگین، حداقل، حداکثر سرعت و جهت باد، ایستگاه سنندج طی سال‌های ۱۹۶۰-۲۰۱۷ از سازمان هواشناسی دریافت و به صورت سری زمانی تنظیم و با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی شده است. در این تحقیق با استفاده از مدل فوق نوع و زمان تغییرات عناصر مذکور شناسایی شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که زمان شروع بیشتر تغییرات ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان بوده است. پارامترهای میانگین و حداقل دما دارای روند منفی و پارامتر حداکثر دما دارای روند مثبت است و بارش روند منفی را نشان می‌دهد و پارامترهای میانگین و حداقل سرعت باد دارای روند منفی و پارامتر حداکثر سرعت باد دارای روند مثبت است و پارامتر میانگین جهت باد دارای روند منفی است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سنندج، من-کندال، تغییر ناگهانی، روند

مقدمه

(۱۳۸۰). دگرگونی از ویژگی‌ها و شاید با ثبات‌ترین اصل اقلیم باشد. درون این دگرگونی‌ها نوسانات و افت و خیزهایی نیز دیده می‌شود. امروزه رخداد تغییر اقلیم و گرمایش جهانی ذهن همه‌ی اندیشمندان و پژوهشگران را به خود جلب کرده است. افزایش طول دوره رشد، افزایش دما و ذوب شدن یخ‌های قطب شمال و بالا آمدن تراز آب‌ها، کاهش بارش و خشکسالی‌های پیاپی و شدید، افزایش رخداد سیلاب، امواج گرمایی و کاهش امواج سرما به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، موجب مشکلات اقتصادی و اجتماعی فراوانی در سراسر جهان شده‌اند. دیدگاه‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی مساله تغییر اقلیم نیز در سطح جهانی در دست مطالعه و بررسی است (طیبه دهقانی

تغییر اقلیم، به هر گونه تغییر واضح و مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت آب و هوایی، که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد را گویند (محمد خانی و جمالی، ۱۳۹۴). این تغییرات به دلیل رخ دادهای غیر عادی در وضعیت آب و هوای زمین به وجود می‌آیند. آب و هوا در طول هزاران و میلیون‌ها سال گذشته دگرگونی بنیادی داشته است. دگرگونی‌های اقلیم هم در قالب نوسانات کوتاه مدت و هم تغییرات بلند مدت بروز می‌کند. آثار برجای مانده در محیط چنین دگرگونی‌های اقلیمی را به اثبات رسانده است (علیجانی و کاویانی،

*نویسنده مسئول: farajzam@modares.ac.ir

و همکاران، ۱۳۹۷). در چند سال اخیر شدت تغییرات بیشتر شده است و این باعث شده است که در زمینه‌ی تغییر اقلیم پژوهش‌های متعددی در مناطق مختلف جهان انجام شود. برخی از این پژوهش‌ها به دنبال یافتن دلیل رخداد آن و برخی دیگر از آنها صرفاً به واکاوی و شناخت تغییر اقلیم پرداخته‌اند. براساس بررسی‌های انجام گرفته، متوسط دمای کره زمین هم اکنون حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد است، درطول دوره‌های گذشته بین ۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد سردتر نسبت به زمان کنونی نوسان داشته است. بنابر اهمیتی که تغییر اقلیم در ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن داشته و خواهد داشت، تلاش جهت شناخت هرچه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم امری مسلم است. این ضرورت بویژه در زمان فعلی که بحث گرم شدن جهانی به یک مسئله جدی تبدیل گردیده است، آشکارتر می‌گردد (عزیزی، ۱۳۸۳). اثرات تغییر اقلیم بر کل سیاره یکسان نیست. بعضی مناطق زمین حساسیت بیشتری نسبت به تغییر اقلیم در مقایسه با مناطق دیگر دارند. به عنوان مثال مناطقی که دارای اقلیم مدیترانه‌ای هستند اقلیم آنها وابستگی زیادی به میزان دما و بارش دارد و در نتیجه این مناطق در برابر تغییر اقلیم دچار استرس می‌شوند (هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). در زمینه تغییرات اقلیمی تحقیقات زیادی در سطح جهانی و منطقه‌ای در هر نوع شرایط آب و هوایی صورت گرفته است در این میان می‌توان به مطالعات میشل^۱ (۱۹۸۱) اشاره کرد، او نشان داد که در اثر دو برابر شدن CO₂ درجه حرارت بین ۲/۸ تا ۵/۲ درجه کلوین و بارندگی بین ۷/۱ تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد ولی افزایش بارندگی در مناطق مختلف یکسان نیست. اگر نرخ افزایش گاز کربنیک ثابت بماند میزان آن در سال ۲۰۳۵ به جای ۳۶۰۰۰۰۰ به ۴۲۰۰۰۰۰ خواهد رسید. افزایش گاز کربنیک باعث افزایش درجه حرارت و رطوبت مطلق در لایه‌های هوای نزدیک سطح زمین می‌گردد هرچند با دوبرابر شدن CO₂ میزان بارندگی افزایش می‌یابد ولی افزایش

بارندگی در نقاط مختلف یکسان نیست. به نظر کاتفورس^۲ و همکاران (۱۹۹۹) دلیل تغییرات اقلیمی افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل زدایی و بیابان زایی است. پاین^۳ و همکاران (۲۰۰۲) به کمک مدل RCM به بررسی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا پرداختند. دوره‌ی مورد مطالعه آنها ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰ بود. یافته‌های آنها نشان داد که تغییر اقلیم منجر به افزایش ۱/۲ درجه سانتی‌گراد دمای هوا خواهد شد و بارش ۳ درصد کاهش می‌یابد همچنین برای حوضه یاد شده افزایش رواناب در زمستان و کاهش آن در سایر فصل‌ها را پیش‌بینی کردند. گیون^۴ و همکاران (۲۰۰۵) اثرات تغییر اقلیم را بر افزایش تراز آب دریاچه مالارین طی سال‌های ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در اثر تغییر اقلیم گرمایش جهانی، تراز آب دریاچه تا ۵۰ سانتی‌متر برای دوره‌ی آتی افزایش خواهد یافت. ریو^۵ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه ۴۷۳ ایستگاه هوا شناسی در دوره آماری ۴۶ ساله، روند دما را با استفاده از آزمون من-کندال در کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از ۶۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل‌های بهار و تابستان دارای روند مثبت بوده و درجه حرارت سالانه در تمام ایستگاه‌ها حدود ۰/۱ الی ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است.

در کشور ما نیز تحقیقاتی پیرامون وجود یا عدم وجود روندی در دما، بارش و باد صورت گرفته است. (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷) به مطالعه‌ی تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال پرداختند. نتایج بیانگر این است که در اغلب ایستگاه‌ها، دمای حداقل، روند مثبت و دمای حداکثر، روند منفی نشان می‌دهد و از دامنهی نوسان دما در طول دوره کاسته شده است و درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر است. خلیلی اقدم و همکاران، (۱۳۸۸) تغییر اقلیم در ارومیه

۲. CutForth

۳. Payne

۴. Gunn

۵. Rio

۱. Mitchel

(قهرمان و قره خانی، ۱۳۸۹). با مطالعه سرعت باد در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۵) در کشور نشان دادند که بیشترین روند تغییرات کاهشی سرعت باد در اقلیم نیمه خشک معتدل مشاهده گردید. همچنین اقلیم نیمه خشک سرد بیشترین روند افزایشی را دارد. (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۰) به بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران در دوره اقلیمی ۱۹۶۱-۲۰۰۵ پرداخت و بیان داشت روندها در منطقه تابع نظم خاصی نیستند. آنها نشان دادند که ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و خوی دارای روند کاهشی و اردبیل و زنجان روندی افزایش دارند. در این مقاله با توجه به اهمیت پدیده تغییر و ارتباط تغییرات جهانی با تغییرات منطقه‌ای و محلی سعی شده متغیرهای دما، بارش و باد که طیف وسیع‌تری از پدیده تغییر اقلیم را پوشش می‌دهند مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند.

روش تحقیق

شهرستان سنندج با مساحت ۲۹۰۶ کیلومتر مربع در ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه طول شرق در ارتفاع ۱۵۳۸ متری از سطح دریا قرار گرفته که جزو مناطق کوهستانی با خصوصیات اقلیمی تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد به شمار می‌آید. قسمت‌های کم ارتفاع این منطقه جزء نقاط گرمسیری و قسمت‌های مرتفع آن جزء نقاط نسبتاً سرد است. برای انجام این پژوهش از داده‌های آماری مربوط به سه عنصر اقلیمی (بارش، دما، سرعت و جهت باد) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سنندج برای یک دوره ۵۸ ساله (۱۹۶۰-۲۰۱۷) استفاده شده است. که مشخصات ایستگاه در جدول (۱) آورده شده است.

را طی ۵۰ سال گذشته بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که میانگین بارش طی ۵۰ سال گذشته در ارومیه تغییر معنا داری نداشته است. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم جهانی در این منطقه سبب افزایش دمای منطقه شده است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). به کمک ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO_G طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی، به ارزیابی تغییر اقلیم ایران پرداختند. نتایج نشان داد که طی دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میزان بارش بر روی ایران زمین ۹ درصد کاهش خواهد یافت، آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین افزایش به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد افزایش می‌یابند و میانگین سالانه دما حدود ۰/۵ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. ماه‌های سرد سال به نسبت سایر ماه‌های دیگر سال بیشترین افزایش ماهانه‌ی دما را تجربه خواهند کرد. حسینی (۱۳۹۷) بر این باور است که در مناطق خشک و نیمه خشک مرکز و شرق ایران، اثری از تغییر اقلیم وجود ندارد و در اغلب ایستگاه‌های این منطقه، بارندگی روند خاصی را نشان نمی‌دهد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷) به کمک تحلیل‌های آماری چند متغیره تغییر اقلیم در نیمه‌ی غربی کشور را بازایی کردند. یافته‌ها نشان داد که در ایستگاه‌های مختلف مجاورت با شهرهای بزرگ و موقعیت نسبی جغرافیایی در جهت روند تغییرات موثر بوده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی داری برخوردار نیستند (قربانی‌زاده خرازی و همکاران، ۱۳۸۸). اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌ی کارون پرداختند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که زمان بیشینه‌ی جریان از بهار به زمستان انتقال خواهد یافت

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک سنندج

نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	دوره آماری
سینوپتیک	۴۷' ۰۰"	۳۵' ۲۰"	۱۳۷۳/۴	۲۰۱۷-۱۹۶۰

الف- محاسبه اختلاف بین تک-تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع sgn و استخراج پارامتر s

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۱)}$$

N : تعداد جملات، x_j : تابع زام سری و x_k : داده k ام سری داده sgn به شرح زیر معرفی می‌شود:

رابطه (۲)

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

بنابراین تمامی مقادیر به دست آمده از تابع علامت (sgn)، صفر، ۱ و یا -۱ است.

ب- محاسبه واریانس با استفاده از رابطه زیر:

رابطه (۳)

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{if } > 10$$

n : تعداد داده‌ها m : تعداد سری که حداقل دارای یک داده تکراری است و t : فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان.

رابطه (۴)

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if } \leq 10$$

ج- استخراج آماره آزمون Z به کمک یکی از روابط زیر:

رابطه (۵)

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

S : پارامتر محاسبه شده در رابطه (۱) می‌باشد.

رابطه (۶)

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

در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. قدر مطلق Z به دست آمده را در نظر می‌گیریم. باید ببینیم رابطه زیر برقرار است یا خیر؟ اگر رابطه زیر برقرار بود، فرض صفر پذیرفته می‌شود. یعنی روندی وجود ندارد و داده‌ها تصادفی هستند. اگر رابطه برقرار نبود، فرض یک پذیرفته می‌شود که دلالت بر وجود روند دارد.

در مطالعات تغییر اقلیم، آمارهای بلند مدت می‌توانند تغییرات، چگونگی و خصوصیات آن را تا اندازه زیادی نمایش دهند. در ایران تاسیس شبکه ایستگاه‌های هواشناسی از سال ۱۹۵۱ می‌باشد که علاوه بر کوتاهی دوره آماری مشکلات دیگری نیز در این زمینه وجود دارد. در این رابطه می‌توان ناکافی بودن شبکه ایستگاه‌ها، سال‌های فاقد آمار در ایستگاه‌ها و همچنین تغییرات صورت گرفته در محل و ادوات ایستگاه‌ها اشاره کرد که باعث شده، مطالعه تغییر اقلیم در کشور با مشکلات جدی روبرو باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). روش مورد استفاده در این تحقیق برای آشکارسازی تغییر اقلیم در ایستگاه سنندج روش آزمون آماری ناپارامتری من-کندال^۱ می‌باشد. از آزمون من کندال برای تعیین روند عناصر اقلیمی (دما، بارش، سرعت و جهت باد) استفاده شده است. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه شد و سپس توسط کندال ۱۹۶۶ توسعه یافت. این روش در همان سال‌ها مورد توجه سازمان هواشناسی جهانی^۲ قرار گرفت. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود هم چنین 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). همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نماید. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

در این راستا نقاط تغییر ناگهانی را هم شناسایی می‌کند. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

۱. The Mann-Kendal rank statistic

۲. World Meteorological Organization

معنی است که فقط تغییر ناگهانی در میانگین رخ داده است ولی روند وجود ندارد.

یافته‌های تحقیق

بررسی میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت ماهانه و سالانه: بررسی آزمون ناپارامتری من-کندال بیانگر این مطلب است که میانگین درجه حرارت ایستگاه سینوپتیک سنندج طی دوره آماری ۵۸ ساله در ماه آوریل روند صعودی اما ماه نوامبر در سال ۱۹۶۳ دارای روندی صعودی هست و از سال ۱۹۹۲ به بعد ماه نوامبر دارای روندی کاهشی است و ماه‌های ژانویه، مارس و دسامبر دارای عدم روند، اما بقیه ماه‌ها روندی کاهشی را نشان می‌دهند (جدول ۲).

جدول ۲: بررسی روند میانگین دما ماهانه ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

ماه	نوع روند
ژانویه	عدم روند
فوریه	کاهشی
مارس	عدم روند
آوریل	افزایشی
مه	کاهشی
ژوئن	کاهشی
ژوئیه	کاهشی
آگوست	کاهشی
سپتامبر	کاهشی
اکتبر	کاهشی
نوامبر	افزایشی-کاهشی
دسامبر	عدم روند

نتایج به دست آمده از آزمون ناپارامتری من-کندال بر روی داده‌های حداقل دمای ماهانه ایستگاه سنندج نشان می‌دهد که در تمام ماه‌های سال روندی کاهشی وجود دارد (جدول ۳).

$$|z| \leq \frac{za}{2}$$

رابطه (۷)

در حقیقت a همان سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود. Za آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری a می‌باشد که باتوجه به دو دامنه بودن آزمون، از $a/2$ استفاده شده است. معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد. a برای سطح ۹۵ درصد، برابر با ۰/۰۵ و برای سطح ۹۹ درصد برابر با ۰/۰۱ است. در سطح اطمینان ۹۵ درصد: $z = 1/96$ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد $z = 2/58$ در نظر گرفته می‌شود.

برای تعیین نقاط جهش می‌توان با رسم نمودار سری در برابر زمان نقطه جهش را حدس زد. اما این کار از طریق، روش‌های آماری نیز امکان‌پذیر است. یکی از این آزمون‌ها آزمون من-کندال دنباله‌ای است. در حقیقت این روش مقیاس‌آماره را در کلیه سری‌های زمانی با روش رتبه دادن من-کندال محاسبه می‌کند که همین عمل به صورت عکس انجام می‌شود. یعنی می‌توان فرض کرد انتهای سری ابتدای آن باشد و دنباله را بر اساس چنین سری بیان کرد. اگر دنباله بر اساس u و u' به صورت نمودار رسم شود در حالت معناداری روند نقطه شروع پدیده یکدیگر را قطع خواهد نمود. در حالتی که سری ایستا باشد دو دنباله u و u' به صورت موازی عمل خواهد نمود و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهش آنها منجر نشود، درخواهد آمد. اگر $a = 0/05$ را در نظر بگیریم، هرگاه اندازه u بیشتر از $1/96$ باشد روند معنی‌دار است. $u +$ روند افزایشی و $u -$ روند کاهشی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اگر منحنی u از خطوط بالا و پایین معنی‌دار ($1/96$) خارج شود روند وجود دارد. اگر منحنی u و u' در محدوده معنی‌دار تلاقی نکنند ولی خارج نشوند به این

جدول ۳: بررسی روند میانگین دما حداقل ماهانه ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

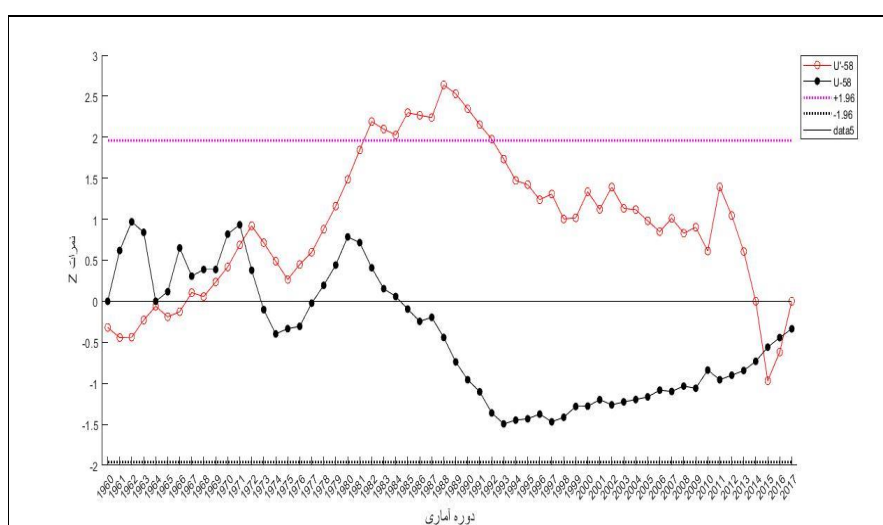
ماه	نوع روند
ژانویه	کاهشی
فوریه	کاهشی
مارس	کاهشی
آوریل	کاهشی
مه	کاهشی
ژوئن	کاهشی
ژوئیه	کاهشی
اگوست	کاهشی
سپتامبر	کاهشی
اکتبر	کاهشی
نوامبر	کاهشی
دسامبر	کاهشی

جدول ۴: بررسی روند میانگین دما حداکثر ماهانه ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

ماه	نوع روند
ژانویه	عدم روند
فوریه	افزایشی
مارس	افزایشی
آوریل	افزایشی
مه	کاهشی-افزایشی
ژوئن	عدم روند
ژوئیه	کاهشی
اگوست	افزایشی
سپتامبر	افزایشی
اکتبر	عدم روند
نوامبر	کاهشی
دسامبر	عدم روند

نتایج به دست آمده از آزمون ناپی—ارامتری من_کندال روی داده‌های میانگین حداکثر دمای سنندج نیز نشان می‌دهد در ماه‌های ژوئیه و نوامبر دارای روندی کاهشی و ماه مه در سال ۱۹۶۸ دارای روندی کاهشی هست، اما از سال ۲۰۱۴ به بعد ماه مه دارای روندی صعودی است و ماه‌های ژانویه، ژوئن، اکتبر و دسامبر دارای عدم روند است، اما بقیه‌ی ماه‌ها روندی صعودی دارند (جدول ۴).

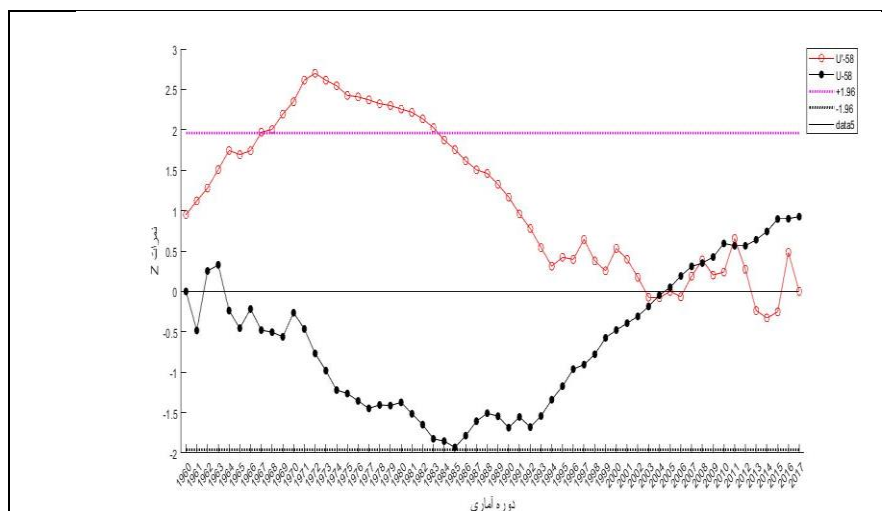
بررسی آزمون نموداری من_کندال بر روی داده‌های سالانه دما ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد خطوط U و U' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ —همدیگر را قطع کرده‌اند، فقط تغییر جهش وجود دارد که در سال‌های ۱۹۷۲، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند، و یا به‌طور کلی از این محدوده خارج نشده‌اند. بنابراین میانگین دمای سالانه ایستگاه سنندج طی یک دوره ۵۸ ساله دارای عدم روند است (شکل ۱).



شکل ۱: تغییرات سالانه درجه حرارت ایستگاه سنندج با روش من_کندال

بررسی آزمون نموداری من-کنسیدال بر روی داده‌های سالانه حداقل دما ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد خطوط u و u' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ همدیگر را قطع کرده‌اند، تغییر جهش وجود دارد که در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ

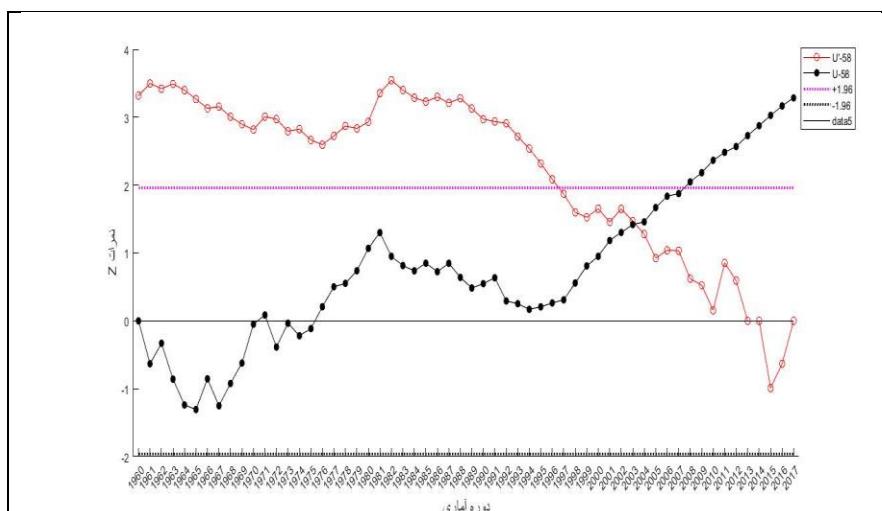
برخوردی با هم ندارند. در طول دوره ۵۸ ساله، تا سال ۱۹۸۵ دما حداقل تغییرات معنی‌داری نداشته است اما در سال ۱۹۸۵ دما حداقل در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهد و بعد از سال مذکور روند تغییرات دما حداقل افزایش یافته است اما روندی بصورت معنی‌دار مشاهده نمی‌شود (شکل ۲).



شکل ۲: تغییرات سالانه حداقل دما ایستگاه سنندج با روش من-کنسیدال

بررسی آزمون نموداری من-کنسیدال بر روی داده‌های سالانه حداکثر دما ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد خطوط u و u' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ همدیگر را قطع کرده‌اند، تغییر جهش وجود دارد که در سال ۲۰۰۳ رخ داده است، این

منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند. در طول دوره ۵۸ ساله، تا سال ۲۰۰۸ دما حداکثر تغییرات معنی‌داری نداشته است اما از سال ۲۰۰۸ به بعد دما حداکثر در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳: تغییرات سالانه حداکثر دما ایستگاه سنندج با روش من-کنسیدال

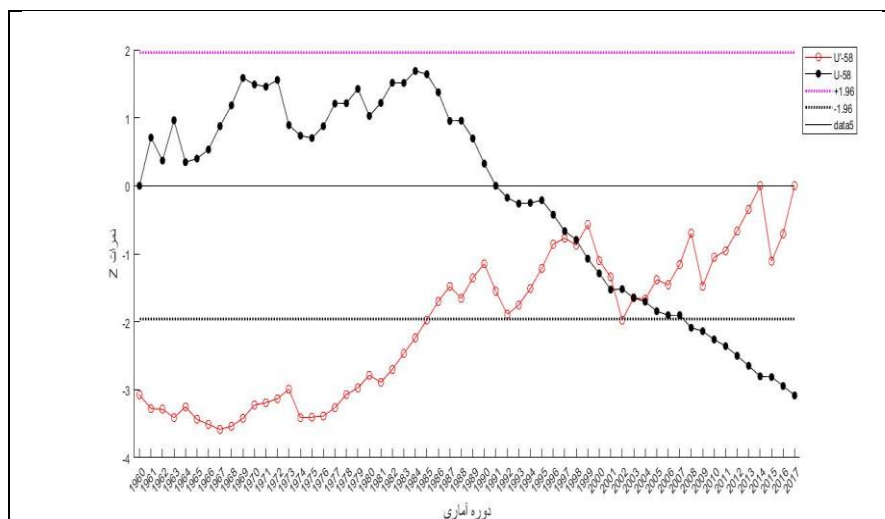
ژوئن	کاهش
ژوئای	کاهش
آگوست	کاهش
سپتامبر	کاهش
اکتبر	عدم روند
نوامبر	کاهش
دسامبر	افزایش

بررسی آزمون نموداری من-کندال بر روی داده‌های سالانه بارش ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد خطوط u و u' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند، تغییر جهش وجود دارد که در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند. در طول دوره ۵۸ ساله، تا سال ۲۰۰۸ بارش تغییرات معنی‌داری نداشته است اما از سال ۲۰۰۸ به بعد بارش در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۴).

بررسی میانگین بارندگی ماهانه و سالانه: نتایج حاصل از آزمون آماره ناپارامتری من-کندال بر روی داده‌های ماهانه بارش نشان می‌دهد که بارش ایستگاه سنندج در ماه‌های مه و دسامبر روند افزایشی، آوریل و اکتبر عدم روند اما ماه فوریه در سال ۱۹۸۲ دارای روندی افزایشی هست و از سال ۲۰۱۴ به بعد ماه فوریه دارای روندی کاهشی است و ماه مارس در سال ۱۹۸۰ دارای روند افزایشی هست و از سال ۲۰۱۲ به بعد ماه مارس دارای روندی کاهشی است، اما بقیه ماه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند (جدول ۵).

جدول ۵: بررسی روند میانگین بارش ماهانه ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

نوع روند	ماه
کاهش	ژانویه
افزایشی-کاهش	فوریه
افزایشی-کاهش	مارس
عدم روند	آوریل
افزایش	مه



شکل ۴: تغییرات سالانه بارش ایستگاه سنندج با روش من-کندال

می‌دهند و بقیه ماه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند، که یکی از دلایل کاهش سرعت باد عدم ورود سیستم‌های جوی و یا کم شدن فراوانی آنها به این منطقه است (جدول ۶).

بررسی میانگین، حداقل و حد اکثر سرعت باد ماهانه و سالانه: بررسی آزمون ناپارامتری من-کندال بیانگر این مطلب است میانگین سرعت باد ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج طی دوره آماری ۵۸ ساله در ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، ژوئای عدم روند را نشان

جدول ۶: بررسی روند میانگین سرعت باد ماهانه ایستگاه

سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

نوع روند	ماه
کاهشی	ژانویه
کاهشی	فوریه
کاهشی	مارس
عدم روند	آوریل
عدم روند	مه
عدم روند	ژوئن
عدم روند	ژولای
کاهشی	اگوست
کاهشی	سپتامبر
کاهشی	اکتبر
کاهشی	نوامبر
کاهشی	دسامبر

نتایج به‌دست آمده از آزمون ناپارامتری من_کندال بر روی داده‌های حداقل سرعت باد ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد که در ماه ژولای عدم روند را نشان می‌دهد. اما بقیه‌ی ماه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند (جدول ۸).

جدول ۸: بررسی روند میانگین حداقل سرعت باد ماهانه

ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

نوع روند	ماه
کاهشی	ژانویه
کاهشی	فوریه
کاهشی	مارس
کاهشی	آوریل
کاهشی	مه
کاهشی	ژوئن
عدم روند	ژولای
کاهشی	اگوست
کاهشی	سپتامبر
کاهشی	اکتبر
کاهشی	نوامبر
کاهشی	دسامبر

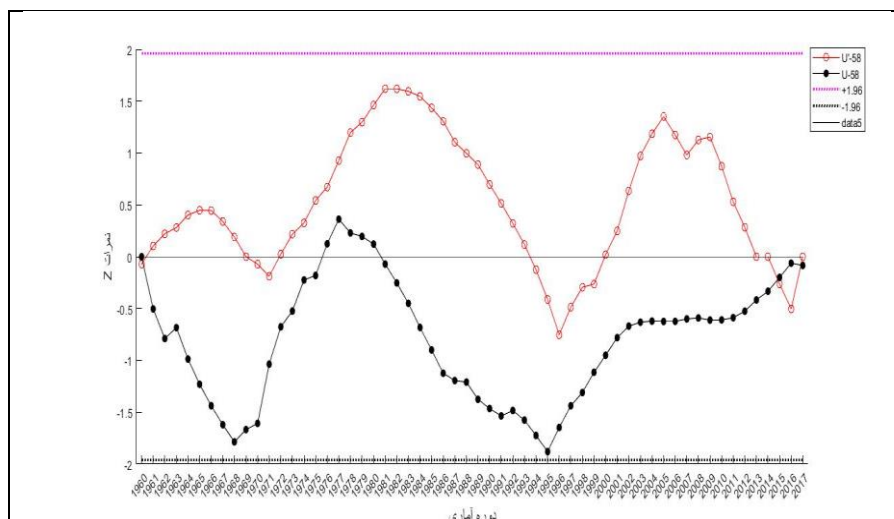
نتایج به دست آمده از آزمون ناپارامتری من_کندال بر روی داده‌های حداکثر سرعت باد ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد که در ماه ژانویه روند کاهشی و ماه مه عدم روند را نشان می‌دهد. و بقیه ماه‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهند (جدول ۷).

جدول ۷: بررسی روند میانگین حداکثر سرعت باد ماهانه

ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

نوع روند	ماه
کاهشی	ژانویه
افزایشی	فوریه
افزایشی	مارس
افزایشی	آوریل
عدم روند	مه
افزایشی	ژوئن
افزایشی	ژولای
افزایشی	اگوست
افزایشی	سپتامبر
افزایشی	اکتبر
افزایشی	نوامبر
افزایشی	دسامبر

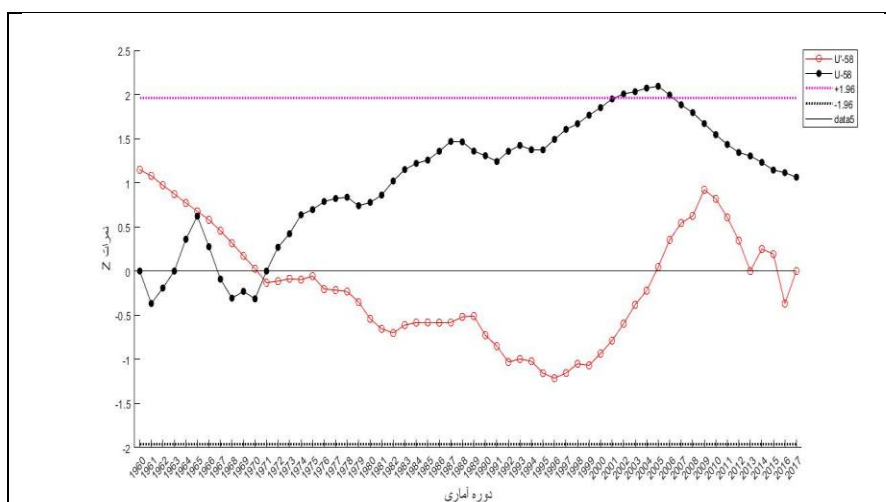
بررسی آزمون من - کندال بر روی داده‌های سالانه میانگین سرعت باد ایستگاه سنندج نشان می‌دهد خطوط u و u' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند، فقط تغییر جهش وجود دارد که در سال‌های ۱۹۶۰، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند و یا به طور کلی از این محدوده خارج نشده‌اند، بنابراین میانگین سرعت باد سالانه ایستگاه سنندج طی یک دوره ۵۸ ساله دارای عدم روند است (شکل ۵).



شکل ۵: تغییرات سالانه میانگین سرعت باد ایستگاه سنندج با روش من_کندال

معنی داری نداشته است اما از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۰۶ حداکثر سرعت باد در سطح معنی داری ۹۵ درصد روند افزایشی را نشان می‌دهد و بعد از سال مذکور روند تغییرات حداکثر سرعت باد کاهش یافته است، اما روندی به صورت معنی داری مشاهده نمی‌شود (شکل ۶).

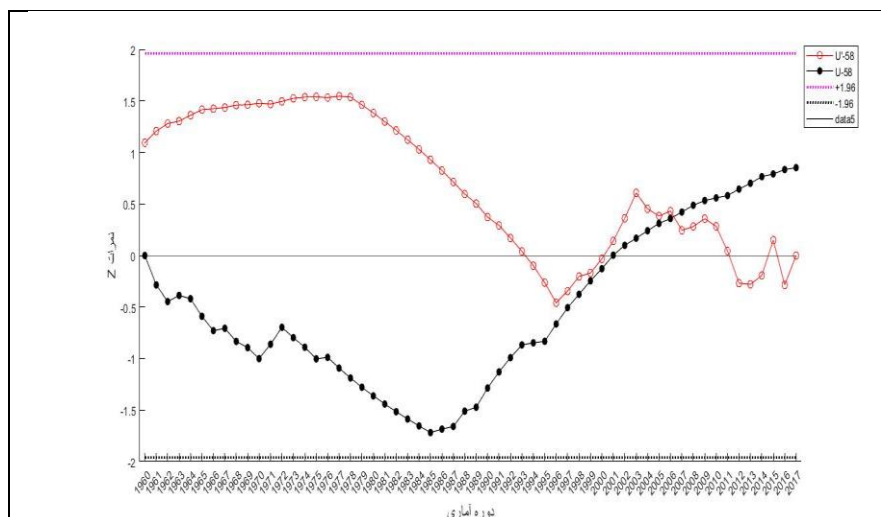
بررسی آزمون من - کندال بر روی داده‌های سالانه حداکثر سرعت باد ایستگاه سنندج نشان می‌دهد خطوط U و U' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند، تغییر جهش وجود دارد که در سال ۱۹۷۱ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند. در طول دوره ۵۸ ساله، تا سال ۲۰۰۲ حداکثر سرعت باد تغییرات



شکل ۶: تغییرات سالانه حداکثر سرعت باد ایستگاه سنندج با روش من_کندال

محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند و یا به‌طور کلی از این محدوده خارج نشده‌اند، بنابراین حداقل سرعت باد سالانه ایستگاه سنندج طی یک دوره ۵۸ ساله دارای عدم روند است (شکل ۷).

بررسی آزمون من - کندال بر روی داده‌های سالانه حداقل سرعت باد ایستگاه سنندج نشان می‌دهد خطوط U و U' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند، فقط تغییر جهش وجود دارد که در سال ۲۰۰۶ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این



شکل ۷: تغییرات سالانه حداقل سرعت باد ایستگاه سنندج با روش من_کندال

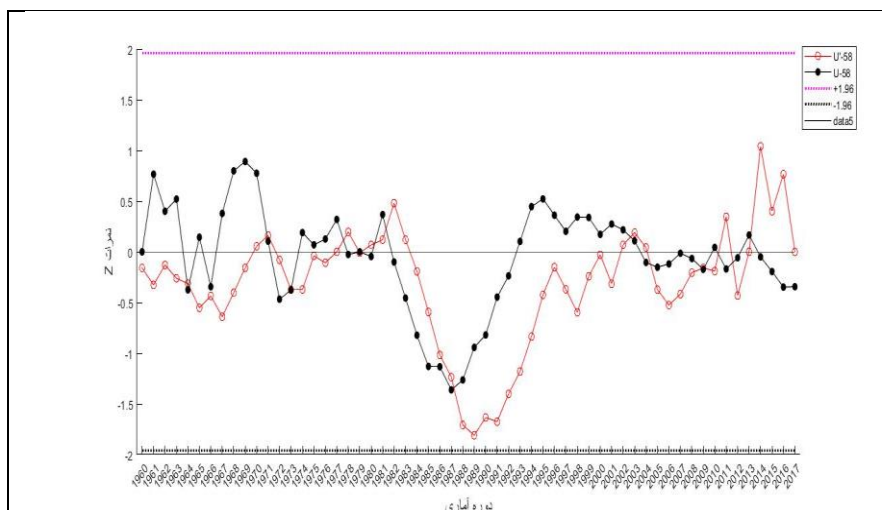
آگوست	کاهشی
سپتامبر	کاهشی-افزایشی-کاهشی
اکتبر	عدم روند
نوامبر	کاهشی
دسامبر	کاهشی

بررسی آزمون من - کندال بر روی داده‌های سالانه جهت باد ایستگاه سنندج نشان می‌دهد خطوط u و u' در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند، فقط تغییر جهش وجود دارد که در سال‌های ۱۹۶۴، ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹، ۱۹۸۱، ۱۹۸۲، ۱۹۸۷، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ رخ داده است، این منحنی‌ها خارج از این محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند و یا به‌طور کلی از این محدوده خارج نشده‌اند، بنابراین جهت باد سالانه ایستگاه سنندج طی یک دوره ۵۸ ساله دارای عدم روند است (شکل ۸).

بررسی میانگین جهت باد ماهانه و سالانه: نتایج
به‌دست آمده از آزمون ناپارامتری من_کندال بر روی داده‌های میانگین جهت باد ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج نشان می‌دهد که در ماه‌های آوریل، مه، ژولای، اکتبر عدم روند را نشان می‌دهند. ماه سپتامبر کاهشی-افزایشی-کاهشی را نشان می‌دهد و بقیه ماه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند (جدول ۹).

جدول ۹: بررسی روند میانگین جهت باد ماهانه ایستگاه سنندج طی دوره (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

ماه	نوع روند
ژانویه	کاهشی
فوریه	کاهشی
مارس	کاهشی
آوریل	عدم روند
مه	عدم روند
ژوئن	کاهشی
ژولای	عدم روند



شکل ۸: تغییرات سالانه جهت باد ایستگاه سنندج با روش من-کندال

مثبت است و پارامتر میانگین جهت باد دارای روند منفی است که در اکثر ماه‌های سال مشخص است. همچنین زمان و نوع تغییرات در پارامترهای دما، بارش و باد حاکی از تغییرات ناگهانی افزایشی و کاهش می‌باشد. تغییرات ناگهانی افزایشی در حداکثر دما در ماه‌های مختلف سال به وضوح دیده شد و تغییرات ناگهانی کاهش در میانگین دما و حداقل دما نیز مشاهده شد. تغییرات ناگهانی کاهش بارش در اکثر ماه‌های سال بیشترین گسترش را دارند. تغییرات ناگهانی کاهش سرعت و جهت باد و حداقل سرعت باد در ماه‌های مختلف مشخص است و تغییرات ناگهانی افزایشی حداکثر سرعت باد در اکثر ماه‌های سال مشخص است.

منابع

۱. حجام، سهراب. خوشخو، یونس. شمس‌الدین وندی، رضا. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ۱۶۸-۱۵۷.
۲. حسینی، سیدمحمد. ۱۳۹۷. واکاوی روند بارش جنوب غرب آسیا در نیم سده‌ی گذشته، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۴۹، ۱۶۶-۱۵۱.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌های دما، بارش و باد ایستگاه سینوپتیک سنندج طی دوره مطالعاتی ۵۸ ساله (۱۹۶۰-۲۰۱۷) به روش من-کندال نشان می‌دهد که زمان شروع بیشتر تغییرات ناگهانی و از هر دو نوع روند و نوسان بوده است. در ایستگاه سینوپتیک سنندج پارامترهای میانگین و حداقل دما دارای روند منفی و پارامتر حداکثر دما دارای روند مثبت است. روند منفی میانگین دما و حداقل دما در ماه‌های مختلف کاملاً مشخص است. و بارش روند منفی را نشان می‌دهد که این روند منفی در ماه‌های گرم سال به وضوح دیده شد و پارامترهای میانگین و حداقل سرعت باد دارای روند منفی و در اکثر ماه‌های سال مشخص است و پارامتر حداکثر سرعت باد دارای روند

۳. دهقانی، طیبه. سلیقه، محمد. علیجانی، بهلول. ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هجدهم، شماره ۴۹، ۹۱-۷۵.
۴. رضایی بنفشه، جوان، خدیجه. زینالی، بتول. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال غرب ایران، نشریه جغرافیای طبیعی، شماره ۱۳، دانشگاه تهران، ۳۶-۲۷.
۵. عزیزی، قاسم. تغییر اقلیم، انتشارات قومس، ۱۳۸۳. تهران.

۶. عزیزی، قاسم. شمسی‌پور، علی‌اکبر. یاراحمدی، داریوش. ۱۳۸۷. بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ۳۵-۱۹.
۷. علیجانی، بهلول. کاویانی، محمدرضا. ۱۳۸۰. مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت.
۸. قهرمان، نودز. قره‌خانی، ابودز. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات زمانی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران، مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، ۴۳-۳۱.
۹. محمدخانی، مهسا. جمالی، سعید. ۱۳۹۴. ارزیابی میزان آسیب پذیری ایران در مواجهه با تغییر اقلیم، نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی، شماره چهارم، ۶۵-۵۴.
۱۰. Azizi, Gh. and Roshani, M. ۲۰۰۸. The study of climate change in south coastal of Caspian Sea by Mann-Kendal method. Physical. Geography Research Quarterly. ۶۴: ۲۸-۱۳. (In Persian).
۱۱. Babaeian, E., Najafi Nick, Z., ZabolAbbasi, F., Habibib Nokhandan, M., Adab, H. and Malbosi, Sh. ۲۰۰۹. Investigation of climate change in Iran during ۲۰۱۰-۲۰۳۹ by downscaling of global atmospheric circulation ECHO-G, Geography and development. ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲. (In Persian).
۱۲. Cutforth, H.B., Gwoodvin, R.J., Mcconkey, D.G. and Smith, P.G. Jefferson. ۱۹۹۹. climate change in the semiarid prairie of southwestern saakathwestern: late winter-early spring. Can. Plant. Sci. plant. Sci. ۷۹: ۳۴۳-۳۵۳.
۱۳. Ghorbanizadeh Kharazi, H., Sadeghi, H., Saghian, B. and Porhemmat, J. ۲۰۰۹. The investigation of climate change impacts on the temporal distribution of run off flow result from snow melt in Karon Basin. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. ۹: ۴۵-۵۰.
۱۴. Gunn Persson, L., Graham, P. and Andereasson, J. ۲۰۰۵. Impact of climate change effects on sea level rise in combination with an altered river flow in the Lake Malar Region, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SE ۶۰۱ ۷۶ Norrkoping, Sweden.
۱۵. IPCC, ۲۰۰۷. Summary for Policymakers, in: Climate Change ۲۰۰۷. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z., Chen, M., Marquis, K.B., Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) ۲۰۰۷. Climate Change ۲۰۰۷: 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, ۱-۱۸.
۱۶. Kendall, M.G. ۱۹۷۰. Rank Correlation Methods, ۲nd Ed., New York: Hafner.
۱۷. Khalili Aghdam, N., Mosaedi, A. and Latifi, N. ۲۰۰۹. investigation of climate change in oromieh during half past century, Journal of water and soil conservation. ۴(۴): ۱۴۱-۱۵۱. (In Persian).
۱۸. Mann, H.B. ۱۹۴۵. Nonparametric tests against trend, Econometrica, ۱۳: ۲۴۵-۲۵۹.
۱۹. Mitchell, J.M., Chairman, J.R, Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W.L., Lamb, H.H., Rao, K.N. and Wallen, C.C. ۱۹۶۶. Climatic Change, Technical note, wmo, No. ۷۹.
۲۰. Payne, J.T., Wood, A.W., Hamlet, A.F., Palmer, R.N. and Lettenmaier, D.P. ۲۰۰۲. Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO) under NOAA cooperative agreement, No. NA۱۷RJ۱۲۳۲ Contribution ۹۲۲.
۲۱. Rio, S.D., Herrero, L., Pinto-Gomes, C. and Peras, A. ۲۰۱۱. Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period ۱۹۶۱-۲۰۰۶. Global and Planetary change. ۷۸: ۶۵-۷۵.