

بررسی همگنی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی ایران (۱۹۸۱-۲۰۱۵)

محمد مرادی^{۱*}، عباس رنجبر سعادت آبادی^۲، ابراهیم فتاحی^۲ و فاطمه رحیم زاده^۱

^۱ استادیار و عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی

^۲ دانشیار و عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱، تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۱۲

چکیده

در این مقاله با استفاده از آزمون‌های انحرافات تجمعی و نرمال استاندارد، همگنی میانگین سالانه سرعت باد ۳۱ ایستگاه همدیدی واقع در مراکز استانها، در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۵ بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون انحرافات تجمعی، همگنی داده‌ها را فقط در ایستگاه‌های اهواز، اردبیل، قزوین و اصفهان تایید نمود. نتایج حاصل از دسته‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس اختلاف آماره‌های محاسباتی و مقادیر بحرانی آن نشان داد که میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه‌های ایلام، بوشهر، اراک، کرج، تهران، شیراز، کرمان، بجنورد و بیرجند دارای ناهمگنی ضعیف، در ایستگاه‌های سنندج، کرمانشاه، زنجان، یاسوج، قم، مشهد، زاهدان و بندرعباس دارای ناهمگنی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها دارای ناهمگنی شدید می‌باشد. آزمون همگنی نرمال استاندارد روی میانگین سالانه سرعت باد ناهمگنی متوسط را در ایستگاه‌های شیراز و بجنورد و ناهمگنی شدید را در ایستگاه‌های ارومیه، خرم‌آباد، بوشهر، سمنان، گرگان و بیرجند تایید کرد. بررسی‌ها نشان داد که در ایستگاه‌های تبریز، مشهد، خرم‌آباد، گرگان، سمنان و ارومیه که ناهمگنی متوسط و شدید آشکار شده است، نقطه شروع ناهمگنی و پرش هم‌زمان اتفاق افتاده است. در این ایستگاه‌ها، نقطه شروع پرش آشکار شده با سال تغییر مکان ایستگاه، مطابقت ندارد. بنابراین به نظر میرسد که ساخت و ساز و تغییر در نوع پوشش زمین در اطراف ایستگاه‌ها، سبب افزایش دریافت انرژی تابشی، افزایش زبری سطح، کاهش نیروی مالش و در نتیجه افزایش سرعت باد شده است.

کلمات کلیدی: پرش، آزمون انحرافات تجمعی، آزمون همگنی نرمال استاندارد، فراداده

از دیدگاه آمار نظری، داده‌هایی همگن به شمار می‌روند که از یک جامعه استخراج شده باشند و هیچ تغییر طبیعی و غیرطبیعی در سرشت تولید آن‌ها بوجود نیامده باشد. در صورتی که دلایل اصلی ناهمگنی سری داده‌ها نامشخص باشد و رفتارهای غیر طبیعی به عنوان نتایج مشاهدات محسوب شوند، نتایج، انحراف زیادی از واقعیت‌ها را نشان می‌دهد. بررسی همگنی داده‌های هواشناسی و همگن‌سازی آنها همواره از جنبه‌های مختلف مورد توجه پژوهشگران هواشناسی، اقلیم شناسی و مهندسان طراحی سازه‌های بزرگ قرار داشته است (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰). اهمیت این موضوع بگونه‌ای است که سازمان هواشناسی جهانی توصیه کرده است تا در محاسبه نرمال‌ها و میانگین‌های بکار رفته در مسائل علمی، تا جایی که امکان دارد از داده‌های همگن استفاده شود. بنابراین قبل از هرگونه واکاوی آماری ضروری است همگنی داده‌ها با روش‌های آماری مناسب بررسی و مطالعه عوامل ناهمگنی سری داده‌ها مشخص شود (رحیم‌زاده و نساجی، ۲۰۱۳). احتمال رخداد ناهمگنی‌های طبیعی و بشری در سری کمیت‌های مختلف هواشناختی از جمله باد در سطوح مختلف به دلایل مختلف نظیر گرمایش جهانی، توسعه شهری و ساخت و سازهای صورت گرفته در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی و هم‌چنین تغییر مکان و یا اداوات ایستگاه‌ها، بسیار زیاد است (مکویکار و همکاران ۲۰۰۸). با توجه به اینکه داده‌های ترازهای پایین جو، بویژه داده‌های لایه سطحی می‌تواند بیشترین تأثیرپذیری را از عوامل انسان ساز ایجاد شده در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی داشته باشد، آشکارسازی تغییرات و نوسانات سرعت باد و علل آنها و تشخیص و تمایز ناهمگنی‌های طبیعی و بشری ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت موضوع، مطالعات زیادی در زمینه روش‌های آماری - هواشناسی همگن‌سازی داده‌های هواشناسی بویژه دما و بارش به صورت مطلق و نسبی انجام شده است که می‌توان به چند مورد زیر اشاره کرد.

تومن ویرتا (۲۰۰۱) همگنی داده‌های سری‌های دما

و بارش پایگاه داده‌های اقلیمی اطلس شمالی را در دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۸۹۰ و سری‌های دمای بیشینه و کمینه متوسط روزانه فنلاند را در دوره زمانی ۱۹۹۵-۱۹۱۰ بررسی کرد و نشان داد که، جهش دماهای کمینه و بیشینه و متوسط روزانه طولانی مدت، به طور تصادفی در این داده‌ها ظاهر شده است. وینسنت و همکاران (۲۰۰۲) همگنی سری‌های دمای روزانه کمینه و بیشینه را در کانادا بررسی کردند. نتایج تحقیقات این پژوهشگران نشان داد که با استفاده از داده‌های روزانه همگن شده تغییر پذیری دمای روزانه، فراوانی و شدت وقایع اقلیمی حدی با ضریب اطمینان بالاتری تحلیل می‌شود. بگرت و همکاران (۲۰۰۵) همگنی مجموعه‌ای از داده‌های بارش و دمای متوسط ماهانه ایستگاه‌های سوئیس را برای دوره زمانی ۱۸۶۴ الی ۲۰۰۰ با استفاده از روش همگنی نرمال استاندارد بررسی نمودند. در این تحقیق نشان داده شد که در بین ۲۴ سری تنها یک سری همگن است و در بقیه سری‌ها یک یا چند جهش و روند در دوره آماری فوق آشکار شد. این پژوهشگران نشان دادند که دلیل ناهمگنی اغلب سری‌های دما و بارش، جابجایی ایستگاه‌ها بوده است. کارابک و همکاران (۲۰۰۷) همگنی ۲۱۲ سری داده ثبت شده مربوط به بارش در ایستگاه‌های کشور ترکیه را در دوره زمانی ۱۹۷۳-۲۰۰۲ بررسی کردند. آنها در بررسی همگنی داده‌ها از دو آزمون پتیت و همگنی نرمال استاندارد استفاده کردند و نشان دادند که در ۴۳ ایستگاه مورد بررسی ناهمگنی رخ داده است و این ناهمگنی به اثر پدیده النینو و لانینا بر سری‌های اقلیمی ربط داده شد. گوکترک و همکاران (۲۰۰۸) همگنی سری‌های زمانی بارش ماهانه ۲۶۷ ایستگاه هواشناسی ترکیه را بررسی کردند. آنها نشان دادند که وجود مقادیر پرت در سری‌های بارش، ناشی از رخداد حدی بارش بوده است. وقوع این مقادیر نه به دلیل خطا، بلکه به دلیل رفتار سیستم بارش کشور ترکیه می‌باشد.

باتوجه به تغییرپذیری زمانی و مکانی بسیار زیاد کمیت باد، توسعه روش‌های همگن‌سازی سرعت و جهت باد به نسبت دما و بارش دیرتر و با احتیاط بیشتر آغاز شده

است. ولی در دهه پیش رو بررسی همگنی سرعت باد چه در سطح ملی و چه در سطح منطقه‌ای اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است زیرا برخی از دانشمندان کاهش سرعت باد را در برخی نقاط به عنوان یکی از عوامل اصلی تغییر اقلیم دانسته‌اند هر چند که این موضوع هنوز بطور جامع پذیرفته نشده است (لین و همکاران ۲۰۱۳).

لیو و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات سرعت باد ۱۲ ایستگاه هواشناسی منطقه پکن در دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۰ را از نظر همگنی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تغییرات سرعت باد بیشتر تحت تأثیر پیامدهای شهرنشینی است و تغییرات ایجاد شده در بادهای با سرعت زیاد، مرتبط با اثرات تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد. لیو (۲۰۰۰) با استفاده از روش آزمون همگنی نرمال استاندارد، سری‌های زمانی سالانه سرعت باد در ۶۹۰ ایستگاه در چین را برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۵۱ مطالعه نمود و نتیجه گرفت که علل اصلی اغلب ناهمگنی‌های ایجاد شده، جابجایی ایستگاه‌ها و تغییر تجهیزات آنها بوده است. جیانگ و همکاران (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که روند کلی کاهش سرعت باد در ۵۳۵ ایستگاه در چین، ناشی از تغییر الگوهای جوی بزرگ مقیاس است. لیز و ونالاین (۲۰۱۷) همگن سازی سریهای سرعت باد در دوره ۱۹۵۹-۲۰۱۵ را بررسی کردند. جوشا و بری (۲۰۱۷) به منظور تعیین روند سرعت باد سطحی برزیل در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۴، همگن سازی سری‌های باد را مورد توجه قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نیز حاکی از تغییرات سرعت باد در اثر توسعه و گسترش شهرها می‌باشد.

در ایران نیز پژوهش‌های زیادی در زمینه همگنی داده‌های دما و بارش انجام شده است. برای مثال می‌توان به کارهای رحیم‌زاده و عسگری (۱۳۸۳)، جهانگیری و رحیم‌زاده (۱۳۸۴) و رحیم‌زاده و نساجی (۲۰۱۳) اشاره نمود. این پژوهشگران با آشکار سازی ناهمگنی در داده‌های دما و بارش در دوره‌های مختلف آماری در ایستگاه‌های هواشناسی، روشهای آماری را برای رفع ناهمگنی در این سریهای زمانی ارائه کرده‌اند. رفعتی و کریمی (۱۳۹۷) نیز دمای میانگین ۲۳ ایستگاه همدیدی

ایران را بررسی کرده‌اند و نشان دادند که روند افزایش میانگین دمای ماهانه در بیشتر نقاط کشور معنادار است و در مناطق نسبتاً محدودی نیز دما افزایش معناداری نشان نمی‌دهد.

ویژگی که مقاله حاضر را از سایر پژوهش‌های انجام شده در زمینه همگنی داده‌های هواشناسی در ایران متمایز میکند، بررسی و آشکار سازی همگنی داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌های همدیدی مراکز استان در سه سطح ضعیف، متوسط و شدید است که از داده‌های باد ثبت شده هشت نوبت در روز ایستگاه‌های فوق بدست آمده است. از آنجائی که داده‌های میانگین سالانه سرعت باد و دوره برگشت آنها در طراحی سازه‌های بزرگ اهمیت ویژه‌ای دارد، از این رو در این پژوهش از این داده‌ها استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای آشکار سازی ناهمگنی سری‌های زمانی میانگین سرعت باد سالانه از آزمون انحرافات تجمعی و آزمون همگنی نرمال استاندارد استفاده شده است. آزمون انحرافات تجمعی، همگنی سری داده‌ها در یک دوره خاص را به سادگی بررسی می‌کند و قسمتی از سری که ناهمگن بوده است را به همراه نقطه شروع ناهمگنی ارائه می‌دهد.

برای انجام آزمون انحرافات تجمعی بر روی سری نمونه مشاهده شده $x_1, x_2, \dots, x_n$ ، دنباله S_k^{**} باید وجود داشته باشد. این دنباله برای $k = 1, 2, \dots, n$ به صورت زیر تعریف می‌شود (بیشاند، ۱۹۸۲):

$$S_k^{**} = \sum_{t=1}^k (X_t - \bar{X}) / \left\{ \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2 / n \right\} \quad (1)$$

چنانچه دنباله S_k^{**} در مقابل k به صورت نمودار رسم شود، ایستایی سری پیرامون خط $S_0 = 0$ حاکی از همگنی سری و نوسانات شدید، حاکی از ناهمگنی سری خواهند بود. وجود نقاط کمینه یا بیشینه حاکی از وجود نوسانات شدید در آن نقطه و به عبارت دیگر ناپیوستگی در داده‌ها می‌باشد. برای انجام آزمون همگنی نرمال استاندارد، دنباله

T_k از رابطه زیر محاسبه می‌شود (الکساندرسون و موبرگ، ۱۹۹۷):

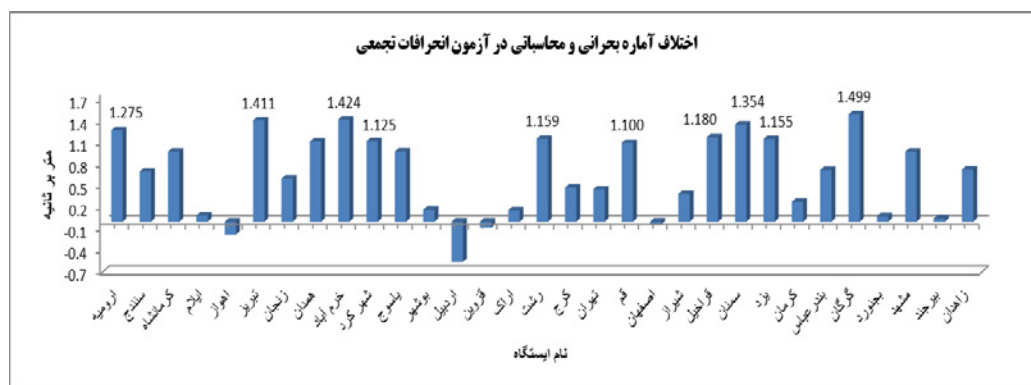
$$T_k = K \bar{z}_k^2 + (n-k) \bar{z}_{n-k}^2 \quad (2)$$

در این رابطه $\bar{z}_k$ میانگین k داده اول و $\bar{z}_{n-k}$ میانگین $n-k$ داده باقی است. در صورتی که T_0 به دست آمده از سری داده‌ها، بالاتر از مقادیر بحرانی در سطح اطمینان مورد نظر باشد، فرض صفر آزمون مبنی بر همگن بودن سری رد خواهد شد.

در این مطالعه از داده‌های سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی که در مراکز استان‌ها قرار دارند و میدان باد در آنها در هشت نوبت در روز در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ ثبت شده است، استفاده شده است. این داده‌ها از سازمان هواشناسی گرفته شد و پس از کنترل کیفی ضعیف روی داده‌ها برای حذف خطاهای فاحش، متوسط ماهانه و سالانه سرعت باد در ساعت‌های مختلف دیدبانی برآورد شد و سپس آزمونهای انحرافات تجمعی و همگنی نرمال

استاندارد، برای آن‌ها انجام شد. برای آشکار سازی خطای فاحش در داده‌ها، به کمک نرم افزار مینی‌تب، نمودار جعبه‌ای هر سری زمانی رسم شد و نتایج آماری حاصل بررسی گردید. در صورت آشکار شدن داده مشکوک در میانگین داده‌ها، داده فوق و در سری زمانی مجدداً بازبینی شد و با قضاوت کارشناسی نسبت به حذف یا پذیرش آن اقدام شد.

برای تعیین همگنی میانگین سرعت باد، در دوره آماری موجود هر ایستگاه و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار آماره بحرانی در آزمون انحرافات تجمعی و آزمون همگنی نرمال استاندارد با آماره محاسباتی در آزمون متناظر مقایسه شد. هر گاه آماره محاسباتی از آماره بحرانی بیشتر بود، فرض همگنی داده‌ها در هر ایستگاه رد و در غیر اینصورت فرض همگنی تایید گردید. در این مطالعه ناهمگنی بر اساس اختلاف آماره‌ها، (δH) ، به صورت جدول ۱ دسته بندی شد. آزمون همگنی نرمال استاندارد نیز روی داده‌های میانگین سالانه سرعت باد



شکل ۱. اختلاف آماره بحرانی و محاسباتی مربوط به آزمون انحرافات تجمعی در ایستگاه‌های انتخابی.

جدول ۱. دسته بندی ناهمگنی بر اساس آزمونهای انحرافات تجمعی و نرمال استاندارد.

دسته بندی ناهمگنی بر اساس اختلاف آماره‌های بحرانی و محاسباتی آزمون انحرافات تجمعی، (δH)	دسته بندی ناهمگنی بر اساس اختلاف میانگین‌های دو سری قبل و بعد از نقطه پرش، (δm)
تایید همگنی	پرش نزولی شدید
نا همگنی ضعیف	پرش نزولی متوسط
نا همگنی متوسط	پرش نزولی ضعیف
نا همگنی شدید	پرش صعودی ضعیف
-	پرش صعودی متوسط
-	پرش صعودی شدید

ایستگاه‌های همدیدی مراکز استان بکار برده شد. در این آزمون پس از آشکار سازی اولین سال شروع ناهمگنی و ایجاد دو سری زمانی متفاوت در اطراف این سال، اختلاف میانگین این دو سری مشخص شد. در این مطالعه پرش بر اساس اختلاف میانگین‌ها (δm) به صورت جدول ۱ دسته بندی شد:

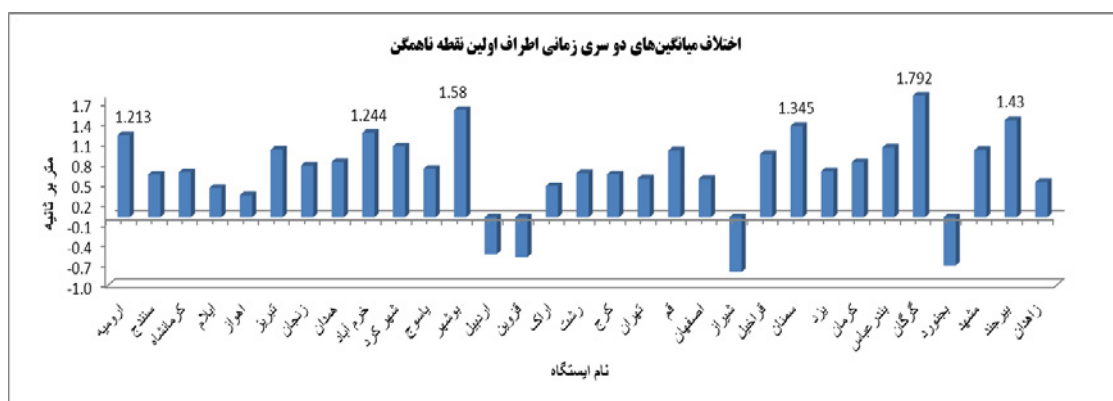
برای بررسی بیشتر همگنی میانگین سرعت باد سالانه، ایستگاه‌های انتخاب شدند که در هر دو آزمون، همگنی آنها رد شده و ناهمگنی آنها مطابق جدول ۱ شدید تشخیص داده شده است. برای تشخیص ناهمگنی شدید از اختلاف آماره‌ها در آزمون انحرافات تجمعی و اختلاف میانگین دو سری زمانی اطراف اولین نقطه ناهمگن استفاده شد. شایان ذکر است که برای تحلیل خط روند، از نرم افزار مینی تب استفاده شد. در این نرم افزار با بکارگیری تابع MKTREND و استفاده از روش من-کندال، خط روند در سطح اعتماد نود و پنج درصد تحلیل شد.

نتایج و بحث

با انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد ۳۱ ایستگاه تحت بررسی، آماره محاسباتی بدست آمد. با مشخص بودن آماره بحرانی این آزمون، اختلاف این دو آماره محاسبه شد. شکل ۱ اختلاف آماره بحرانی و محاسباتی برای آزمون انحرافات تجمعی در ایستگاه‌های همدیدی مراکز استان را نشان می‌دهد. از

شکل ۱ دیده می‌شود که در ایستگاه‌های اهواز، اردبیل، قزوین و اصفهان اختلاف آماره‌ها منفی است و همگنی مطابق این آزمون، تایید می‌شود. مطابق دسته بندی ارائه شده برای اختلاف آماره‌ها، در ایستگاه‌های ایلام، بوشهر، اراک، کرج، تهران، شیراز، کرمان، بجنورد و بیرجند نیز اختلاف آماره‌ها کمتر از ۰/۶ است و ناهمگنی ضعیفی در این ایستگاه‌ها رخ داده است. در ایستگاه‌های سنندج، کرمانشاه، زنجان، یاسوج، قم، مشهد، زاهدان و بندرعباس اختلاف آماره‌ها کمتر از ۱/۱ و بیشتر از ۰/۶ است. بنابراین در این ایستگاه‌ها نیز ناهمگنی متوسط رخ داده است. در بقیه ایستگاه‌ها مانند ارومیه، تبریز، سمنان، همدان، شهرکرد، رشت، ساری، یزد، گرگان و خرم‌آباد که اختلاف آماره‌ها از ۱/۱ بیشتر است، ناهمگنی شدید برآورد می‌شود. این نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

در ادامه با انجام آزمون همگنی نرمال استاندارد و تعیین اولین نقطه ناهمگنی، میانگین دو سری آماری قبل و بعد از نقطه مورد نظر بدست آمد و اختلاف میانگین دو سری فوق مشخص شد. مقادیر منفی (مثبت) این کمیت نشان می‌دهد که میانگین سری بعد از نقطه ناهمگن کمتر (بیشتر) از میانگین سری قبل از نقطه ناهمگن است و بیانگر وجود روند نزولی (صعودی) در داده‌های متوسط سالانه سرعت باد می‌باشد. شکل ۲ اختلاف میانگین دو سری در اطراف اولین نقطه ناهمگن در ایستگاه‌های تحت بررسی را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود



شکل ۲. اختلاف میانگین‌های دو سری زمانی اطراف اولین نقطه ناهمگن.

که اثر تغییرات لایه مرزی در این ساعتها روی سرعت باد می‌تواند قابل توجه باشد، نیز تحلیل شد که برای کاستن از حجم مطالب، از ارائه شکل‌ها پرهیز شده است.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه‌هایی که همگنی در آنها تایید شده است

شکل ۳ پرش میانگین سالانه سرعت باد حاصل از آزمون همگنی نرمال استاندارد در ایستگاه اهواز را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که متوسط سالانه سرعت باد از سال ۱۹۹۱ به بعد حدود ۰/۳۲۳ متر بر ثانیه افزایش یافته است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد اهواز، ۱/۰۶۴ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۳ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۴۶ می‌باشد و این آماره از آماره محاسباتی بزرگتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها با آزمون انحرافات تجمعی آشکار نشده است. با مراجعه به فراداده اقلیمی ایستگاه، مشاهده شد که این ایستگاه در طول دوره آماری فقط در سال ۱۹۸۶ حدود ۳۰۰ متر جابجا شده است و از نظر ارتفاع تغییر خاصی صورت نگرفته است. چون تغییرات متوسط سرعت باد در اثر جابجائی ناچیز بوده است، از این رو این سال در آزمونهای همگنی مشخص نشده است. بنابراین تغییرات متوسط سرعت باد از سال ۱۹۹۱ به بعد، در اثر تغییر پوشش گیاهی و ساخت و ساز درون فرودگاهی در اطراف ایستگاه بوجود آمده

که اختلاف میانگین‌های دو سری زمانی اطراف نقطه ناهمگن در ایستگاه‌های اردبیل، قزوین، شیراز و بجنورد منفی است که بیانگر پرش نزولی و کاهش متوسط سالانه سرعت باد در این ایستگاه‌ها می‌باشد. در بقیه ایستگاه‌های کشور مقدار کمیت فوق مثبت است و معرف پرش صعودی متوسط سالانه باد می‌باشد. در جدول ۳ شدت پرش در ایستگاه‌های تحت بررسی مطابق دسته بندی ارائه شده برای اختلاف میانگین‌ها نشان داده شده است. برای تحلیل میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌های مطالعاتی، از جدولهای ۲ و ۳ استفاده شد و ایستگاه‌های زیر انتخاب گردید:

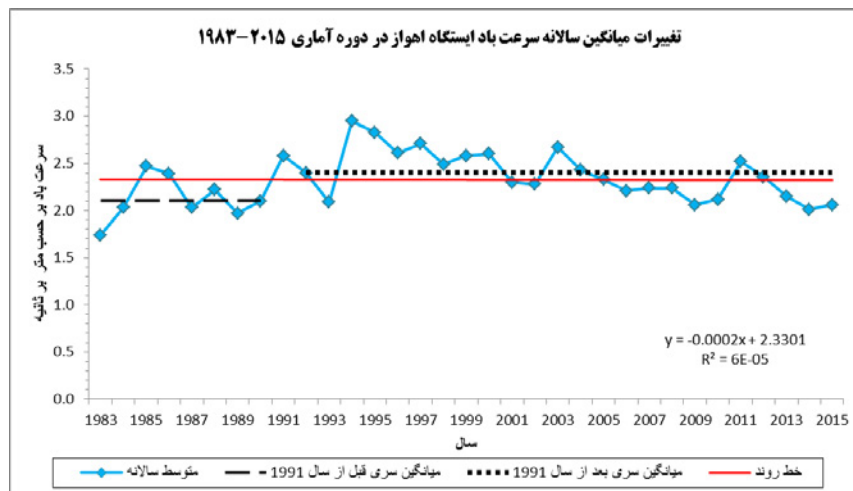
- ایستگاه‌های اهواز، اردبیل، اصفهان و قزوین که همگنی در آنها تایید شد.
 - ایستگاه تهران به عنوان نمونه‌ای از ناهمگنی ضعیف با پرش ضعیف.
 - ایستگاه مشهد به عنوان نمونه‌ای از ناهمگنی متوسط با پرش متوسط
 - ایستگاه تبریز به عنوان نمونه‌ای از ناهمگنی شدید با پرش متوسط
 - ایستگاه شیراز به عنوان نمونه‌ای از پرش نزولی متوسط
 - ایستگاه‌های سمنان، گرگان، ارومیه و خرم‌آباد به عنوان نمونه‌ای از ناهمگنی شدید با پرش شدید
- شایان ذکر است که برای بررسی بیشتر در ایستگاه‌های گرگان، سمنان، ارومیه و خرم‌آباد، میانگین سالانه سرعت باد در ساعت‌های ۰۳۰۰، ۰۹۰۰ و ۱۸۰۰ یا ۲۱۰۰ گرینویچ

جدول ۲. دسته بندی ایستگاه‌ها بر اساس اختلاف آماره‌ها.

ناهمگنی شدید	ناهمگنی متوسط	ناهمگنی ضعیف	بدون ناهمگنی
ارومیه، تبریز، یزد، خرم‌آباد، همدان، شهرکرد، سمنان، گرگان، رشت، ساری	سنندج، کرمانشاه، زنجان، قم، یاسوج، مشهد، زاهدان، بندرعباس	ایلام، بوشهر، اراک، کرج، تهران، شیراز، کرمان، بجنورد، بیرجند	اهواز، اردبیل، قزوین، اصفهان

جدول ۳. دسته بندی ایستگاه‌ها بر اساس اختلاف میانگین‌ها در اطراف نقطه غیرهمگن.

پرش صعودی		پرش نزولی	
شدید	متوسط	ضعیف	شدید
ارومیه، خرم‌آباد، بوشهر، سمنان، گرگان، بیرجند	سنندج، زنجان، قم، کرمانشاه، تبریز، همدان، یاسوج، مشهد، رشت، کرج، ساری، یزد، کرمان، شهرکرد، بندرعباس	ایلام، زاهدان، اراک، تهران، اهواز، اصفهان، قزوین	شیراز، بجنورد



شکل ۳. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه اهواز (۱۹۸۳-۲۰۱۵).

است که به سالهای ۲۰۱۵ و ۲۰۱۳ تعلق دارد. این دو داده مشکوک که با قضاوت کارشناسی تایید شد، سبب پرش متوسط سالانه سرعت باد در ایستگاه اصفهان شده است.

مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد اصفهان، ۱/۲۱۵ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی بزرگتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها دیده نشد. با مراجعه به شناسنامه اقلیمی ایستگاه دیده شد که این ایستگاه در سال ۱۹۹۴ از داخل پایگاه هوایی بدر، به ایستگاه اوزنسنجی منتقل شده است که ۱۵۵۰ متر ارتفاع آن میباشد. از آنجائی که تغییرات متوسط باد سالانه جزئی بوده است، از این رو این سال در آزمون همگنی آشکار نشده است. بررسیها نشان داد که روند صعودی بسیار جزئی در داده‌های ایستگاه اصفهان وجود دارد. این روند در سطح اعتماد ۹۵ درصد با $P\text{-Value}=0.033$ تایید شد. این بررسی نشان می‌دهد که تغییرات میانگین سالانه سرعت باد اصفهان می‌تواند در اثر تغییر ساختار اطراف ایستگاه باشد.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه قزوین نشان می‌دهد که در سه سال اول دوره آماری ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۲۰۱۲ به بعد، حدود

است. شکل فوق همچنین وجود روند نزولی بسیار جزئی در داده‌ها را نشان می‌دهد که با توجه به ضریب همبستگی و $P\text{-Value}=0.315$ ، این روند تایید نشد.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه اردبیل نشان داد که این کمیت از سال ۱۹۸۸ به بعد، حدود ۰/۵۴۵ متر بر ثانیه کاهش داشته است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد اردبیل، ۰/۶۷۸ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۲ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۴۴ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی بزرگتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها با روش انحرافات تجمعی دیده نشد. همچنین روند نزولی ضعیفی در این داده‌ها نیز مشاهده شد. که در سطح اعتماد ۹۵ درصد با مقدار $P\text{-Value}=0.115$ ، تایید نشد. بنابراین تغییرات متوسط سالانه سرعت باد در این ایستگاه طبیعی است و پرشی مشاهده نشد.

از بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه اصفهان دیده شد که در سه سال آخر دوره آماری ناهمگنی در داده‌ها رخ داده است و این ناهمگنی سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۲۰۱۲ به بعد، حدود ۰/۵۶۵ متر بر ثانیه پرش کند. از بررسی نمودار جعبه‌ای دیده شد که دو داده مشکوک در بین داده‌ها قرار گرفته

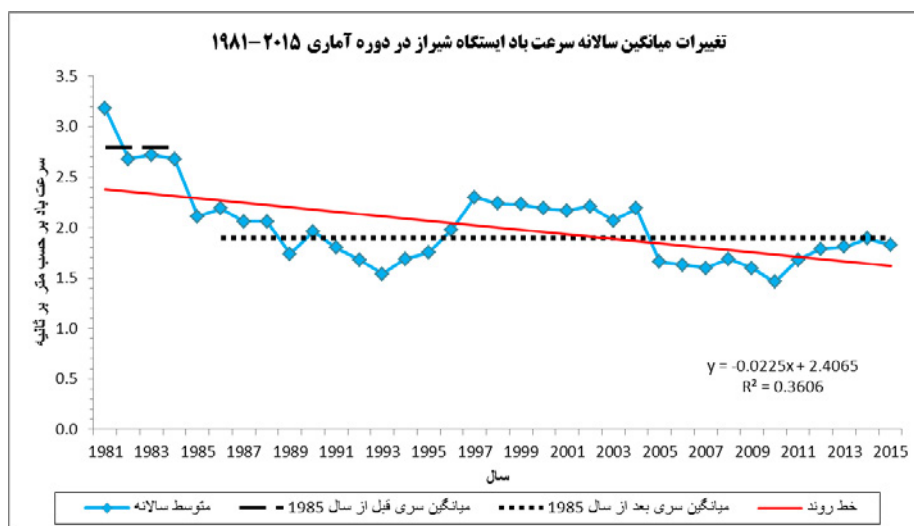
سرعت باد از سال ۱۹۸۵ به بعد، حدود ۰/۸۱ متر بر ثانیه پرش منفی داشته باشد. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد شیراز، ۱/۶۳۷ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید میشود. نقطه شروع ناهمگنی در این آزمون، سال ۱۹۸۹ برآورد شده است. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که ایستگاه شیراز در سال ۱۹۸۵ تغییر مکان داشته است. شکل ۴ همچنین وجود روند نزولی در داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه شیراز را نشان می‌دهد. این روند با $P\text{-Val}=0.0008$ تایید میشود. بنابراین تغییرات میانگین سالانه سرعت باد در این ایستگاه به سبب جابجائی ایستگاه رخ داده است و توصیه می‌شود در مطالعات این نقطه در نظر گرفته شود.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاهی با ناهمگنی ضعیف و پرش ضعیف
 شکل ۵ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه تهران را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که

یابد. این مقدار ۰/۵۹- متر بر ثانیه برآورد شده است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد قزوین، ۱/۱۷ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی بزرگتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها دیده نمی‌شود. از بررسی شناسنامه اقلیمی این ایستگاه دیده میشود که ایستگاه قزوین در سال ۱۹۷۴ تغییر مکان داشته است، به علاوه در سال ۱۹۸۴ میلادی پلاتفرم جدید با ابعاد ۲۶×۲۶ تقریباً در بیست متری جنوب پلاتفرم قدیم احداث گردیده است. این سال در آزمون انحرافات تجمعی آشکار نشده است. همچنین بررسی‌ها وجود روند نزولی بسیار جزئی در داده‌ها را نشان داد. این روند با $P\text{-Val}=0.517$ تایید نشد. بنابراین تغییرات میانگین سالانه سرعت باد در این ایستگاه طبیعی است.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاهی که پرش منفی دارد

شکل ۴ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه شیراز را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه

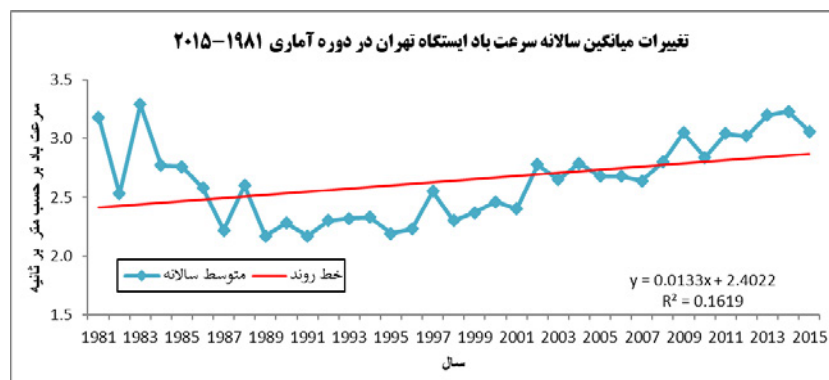


شکل ۴. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه شیراز (۱۹۸۱-۲۰۱۵).

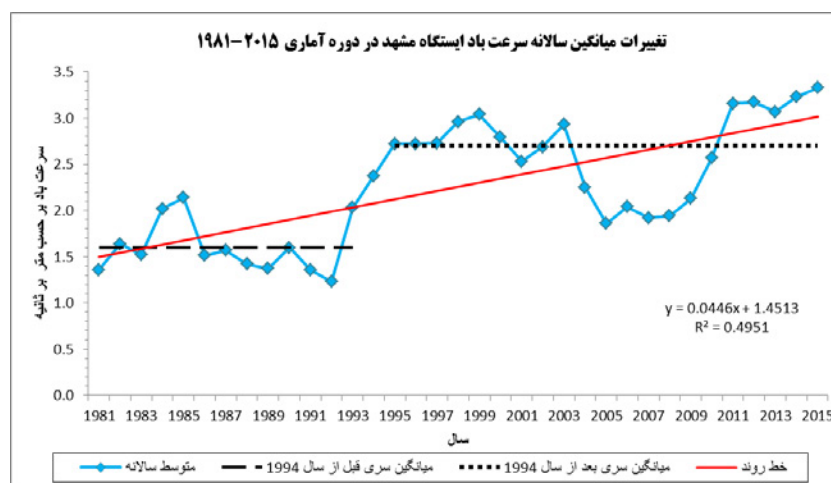
تهران را نیز نشان می‌دهد. این روند با $P\text{-Value}=0.00047$ تایید می‌شود. این بررسی نشان می‌دهد که ناهمگنی در میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه تهران، در هر دو آزمون آشکار شده است با این تفاوت که اولین نقطه ناهمگنی در آزمون انحرافات تجمعی سال ۲۰۰۲ و در آزمون نرمال استاندارد سال ۲۰۰۸ می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که تغییرات افزایشی میانگین سرعت باد بطور تدریجی بوده و در اثر ساخت و ساز اطراف ایستگاه ایجاد شده است.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاهی با ناهمگنی متوسط و پرش متوسط
شکل ۶ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه

ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۲۰۰۸ به بعد، حدود ۰/۵۷ متر بر ثانیه پرش داشته باشد. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد تهران، ۱/۷۰۱ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن سال ۲۰۰۲ بوده است. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که ایستگاه تغییر مکان نداشته است اما شرایط محیطی آن کاملاً دگرگون شده است. این شکل وجود روند صعودی در داده‌های ایستگاه



شکل ۵. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه تهران (۲۰۱۵-۱۹۸۱).



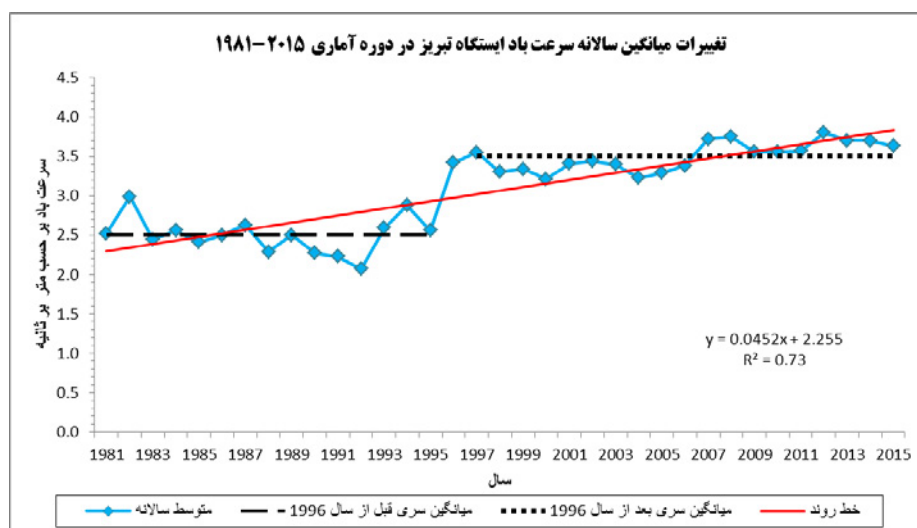
شکل ۶. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه مشهد (۲۰۱۵-۱۹۸۱).

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاهی با ناهمگنی شدید و پرش متوسط

شکل ۷ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه تبریز را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۱۹۹۶ به بعد، حدود ۰/۹۹۳ متر بر ثانیه پرش داشته باشد. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد تبریز، ۲/۶۶ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن سال ۱۹۹۶ بوده است. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که در سال ۱۹۸۵ ایستگاه قدیم واقع در ضلع شمالی فرودگاه و در مجاورت پایانه قدیمی به محل جدید و در ضلع غربی فرودگاه مابین پایانه قدیم و جدید و در ۷۰۰ متری باند فرودگاه انتقال یافته است. این سال در آزمونهای همگنی آشکار نشده است. شکل فوق وجود روند صعودی در داده‌های ایستگاه مشهد را نیز نشان می‌دهد. این روند با $P\text{-Value}=0.00002$ تایید میشود. این بررسی نشان میدهد که ناهمگنی در میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه مشهد، در هر دو آزمون آشکار شده است.

مشهد را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۱۹۹۴ به بعد، حدود ۰/۹۸۸ متر بر ثانیه پرش داشته باشد.

مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد مشهد، ۲/۲۲۶ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن سال ۱۹۹۴ بوده است. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که در سال ۱۹۸۵ ایستگاه قدیم واقع در ضلع شمالی فرودگاه و در مجاورت پایانه قدیمی به محل جدید و در ضلع غربی فرودگاه مابین پایانه قدیم و جدید و در ۷۰۰ متری باند فرودگاه انتقال یافته است. این سال در آزمونهای همگنی آشکار نشده است. شکل فوق وجود روند صعودی در داده‌های ایستگاه مشهد را نیز نشان می‌دهد. این روند با $P\text{-Value}=0.00002$ تایید میشود. این بررسی نشان میدهد که ناهمگنی در میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه مشهد، در هر دو آزمون آشکار شده است.



شکل ۷. تغییرات میانگین ماهانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه تبریز (۱۹۸۱-۲۰۱۵).

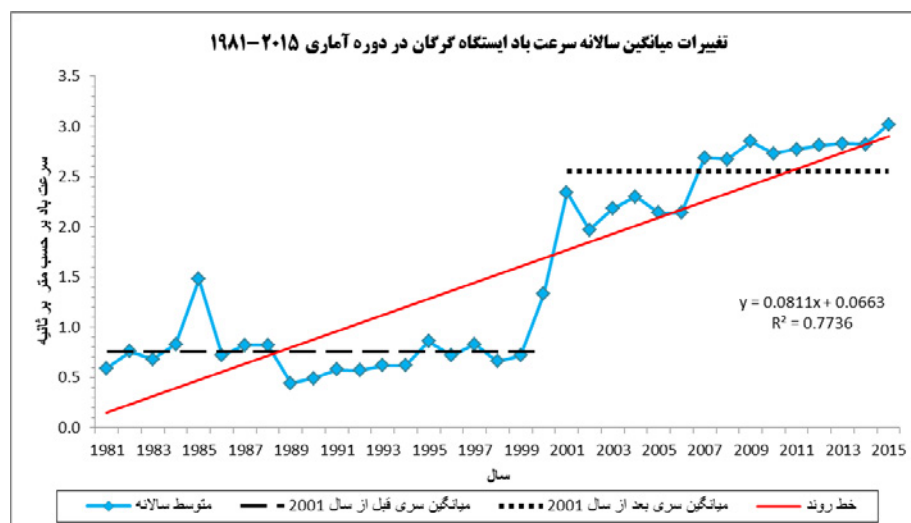
بررسی نشان میدهد که ناهمگنی در میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه تبریز، در هر دو آزمون آشکار شده است.

بررسی میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه‌هائی با ناهمگنی شدید و پرش شدید

آزمون انحرافات تجمعی روی میانگین سالانه باد ایستگاه گرگان نشان می‌دهد که ناهمگنی در این داده‌ها رخ داده است که اولین نقطه آن سال ۲۰۰۱ و نقطه بعدی نیز سال ۲۰۰۷ میباشد. با بررسی داده‌های میانگین ماهانه سرعت باد از ژانویه ۱۹۸۱ تا دسامبر ۲۰۱۵، مشاهده شد که اولین نقطه شروع ناهمگنی در ماه دسامبر سال ۲۰۰۰ رخ داده است که از سال ۲۰۰۱ روی میانگین سالانه سرعت باد اثر گذاشته است. دومین نقطه ناهمگنی نیز در اگوست ۲۰۰۶ آشکار شده است که در میانگین سالانه سرعت باد سال ۲۰۰۷ و سالهای بعد از آن اثر داشته است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد این ایستگاه، ۲/۷۴۹ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون ۱/۲۵ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی

کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود و نقطه شروع ناهمگنی در این آزمون سال ۲۰۰۱ برآورد شده است.

شکل ۸ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه گرگان را نشان میدهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۲۰۰۱ به بعد نسبت به متوسط سالانه سرعت باد قبل از آن سال، حدود ۱/۸ متر بر ثانیه پرش داشته باشد که در اثر جابجائی ایستگاه ایجاد شده است. این پرش برای این ایستگاه در این سال طبیعی می‌باشد. در این شکل تغییرات میانگین سرعت باد و خط روند نیز روی این داده‌ها نشان داده شده است. روند صعودی با ضریب همبستگی $r = 0.879$ در سطح اعتماد ۹۵ درصد با $Z = 5.557$ تایید شده است. در این ایستگاه ناهمگنی در سال ۲۰۰۱ و روند صعودی در میانگین ماهانه سرعت باد برای همه ماه‌های این سال نیز دیده میشود. در ماه‌های ژانویه و ژولای ناهمگنی و روند صعودی در این ایستگاه وجود دارد با این تفاوت که در ماه ژانویه ضریب همبستگی نسبت به ماه ژولای بیشتر است ولی میزان پرش متوسط ماهانه سرعت باد در ماه ژانویه (۱/۴۳ متر بر ثانیه) نسبت به ماه ژولای (۲/۱۹ متر بر ثانیه) کمتر



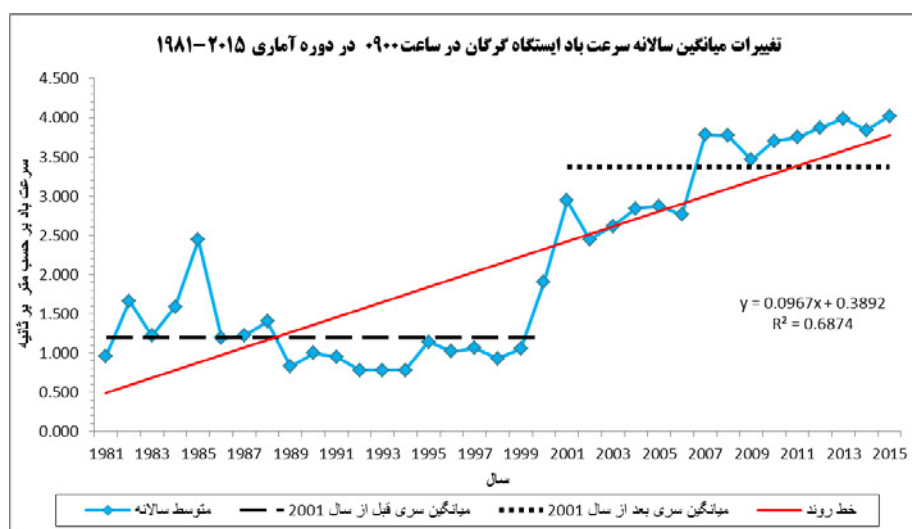
شکل ۸. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه گرگان (۱۹۸۱-۲۰۱۵).

شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که ایستگاه سمنان در سال ۲۰۰۲ از محل قدیمی به محل جدید منتقل شده است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد این ایستگاه، $2/604$ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون $1/25$ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن بر اساس این آزمون سال ۲۰۰۱ بوده است. شکل ۱۰ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه سمنان را نشان میدهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۲۰۰۱ به بعد نسبت به متوسط سالانه سرعت باد قبل از آن سال، حدود $1/4$ متر بر ثانیه پرش داشته باشد. به نظر می‌رسد این پرش در اثر جابجائی ایستگاه ایجاد شده است. در این شکل تغییرات میانگین سرعت باد و خط روند نیز روی این داده‌ها نشان داده شده است. روند صعودی با ضریب همبستگی $r = 0/705$ در سطح اعتماد ۹۵ درصد با $z = 3/709$ تایید شده است. در این ایستگاه ناهمگنی در سال ۲۰۰۱ و روند صعودی در میانگین ماهانه سرعت باد برای همه ماه‌های سال نیز

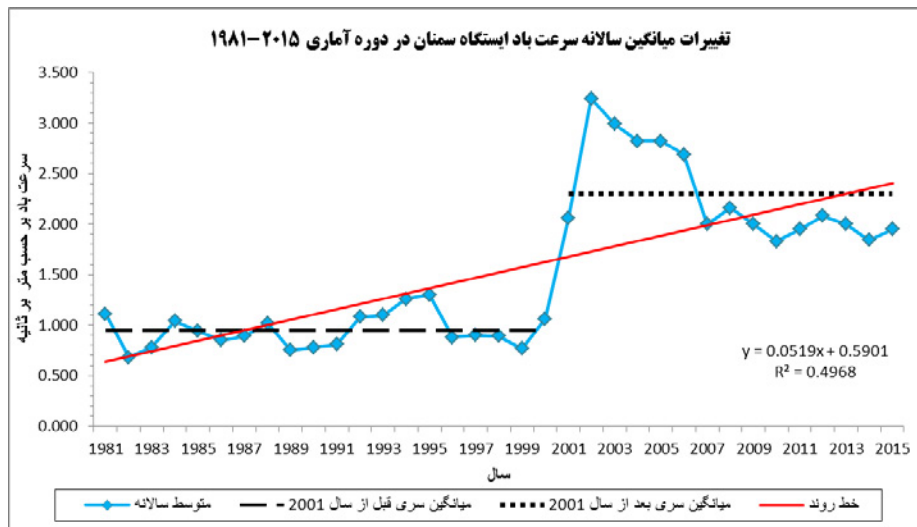
می‌باشد. میانگین ماهانه سرعت باد به ازای هر ۱۰ سال، در ماه ژانویه $0/63$ متر بر ثانیه و در ماه ژولای $0/98$ متر بر ثانیه می‌باشد.

شکل ۹ تغییرات میانگین سالانه سرعت باد را در ساعت ۰۹۰۰ گرینویچ نشان میدهد. از این شکل دیده می‌شود که در سال ۲۰۰۱ در میانگین سالانه سرعت باد پرش رخ داده است. در ساعتهای ۰۳۰۰ و ۲۱۰۰ گرینویچ نیز این شرایط دیده می‌شود. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده شد که ایستگاه گرگان در سال ۲۰۰۶ میلادی نیز جابجا شده است و علاوه بر تغییر طول و عرض جغرافیائی و تغییر ۱۳ متری ارتفاع ایستگاه، شرایط محیطی ایستگاه نیز کاملاً دگرگون شده است. این سال در آزمونهای بکار گرفته شده روی میانگین سالانه سرعت باد این ایستگاه آشکار نشد اگر چه در این سال نیز پرش کوچکی در متوسط سالانه سرعت باد مشاهده می‌شود.

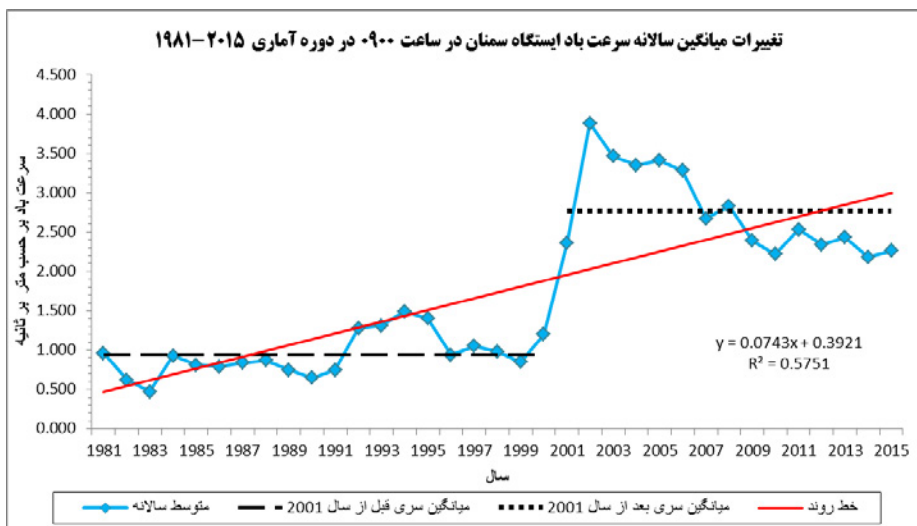
آزمون انحرافات تجمعی روی میانگین سالانه باد ایستگاه سمنان نشان می‌دهد که ناهمگنی در این داده‌ها رخ داده است که اولین نقطه آن سال ۲۰۰۱ میباشد. با بررسی داده‌های میانگین ماهانه سرعت باد از ژانویه ۱۹۸۱ تا دسامبر ۲۰۱۵، مشاهده شد که اولین نقطه شروع ناهمگنی در ماه می سال ۲۰۰۱ رخ داده است. از بررسی



شکل ۹. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ساعت ۰۹۰۰ گرینویچ در ایستگاه گرگان (۱۹۸۱-۲۰۱۵).



شکل ۱۰. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه سمنان (۱۹۸۱-۲۰۱۵).



شکل ۱۱. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ساعت ۰۹۰۰. گرینویچ در ایستگاه سمنان (۱۹۸۱-۲۰۱۵).

و در ماه ژولای ۰/۶۲ متر بر ثانیه می‌باشد. شکل ۱۱ تغییرات میانگین سالانه سرعت باد را در ساعت ۰۹۰۰ گرینویچ نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که در سال ۲۰۰۱ در میانگین سالانه سرعت باد پرش رخ داده است. این پرش در ساعتهای ۰۳۰۰ و ۱۸۰۰ گرینویچ نیز دیده شده است.

آزمون انحرافات تجمعی روی میانگین سالانه باد

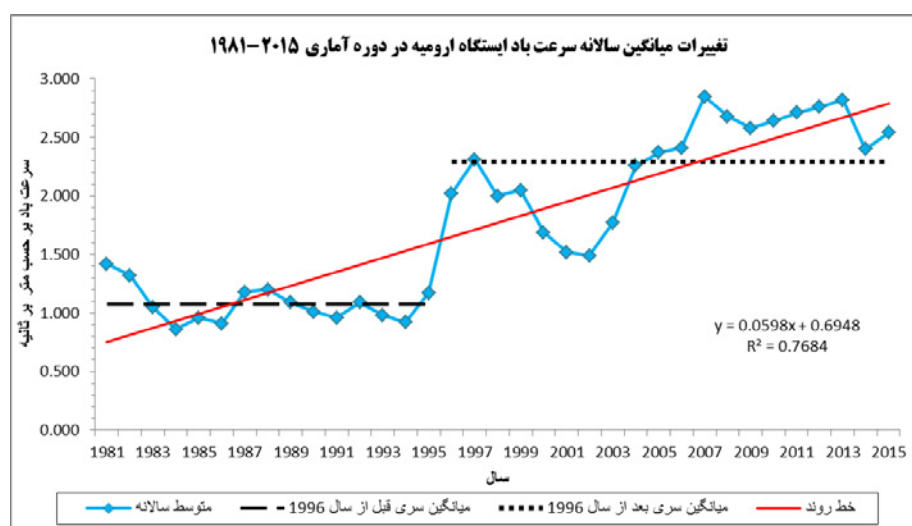
دیده میشود. در ماههای ژانویه و ژولای ناهمگنی و روند صعودی در این ایستگاه وجود دارد با این تفاوت که در ماه ژانویه ضریب همبستگی نسبت به ماه ژولای کمی بیشتر است ولی میزان پرش متوسط ماهانه سرعت باد در ماه ژانویه (۱/۰۱ متر بر ثانیه) نسبت به ماه ژولای (۱/۶۷ متر بر ثانیه) کمتر می‌باشد. میانگین ماهانه سرعت باد به ازای هر ۱۰ سال، در ماه ژانویه ۰/۵۲ متر بر ثانیه

تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۱۹۹۶ به بعد نسبت به متوسط سالانه سرعت باد قبل از آن سال، حدود ۱/۲۱۳ متر بر ثانیه پرش داشته است که در اثر جابجایی ایستگاه ایجاد نشده است. در این شکل تغییرات میانگین سرعت باد و خط روند نیز روی این داده‌ها نشان داده شده است. روند صعودی با ضریب همبستگی $0.2/877 =$ در سطح اعتماد ۹۵ درصد با $5/557 = Z$ تایید شده است. بررسی میانگین ماهانه سرعت باد نشان می‌دهد که این کمیت از آوریل سال ۱۹۹۶ دستخوش تغییر شده است.

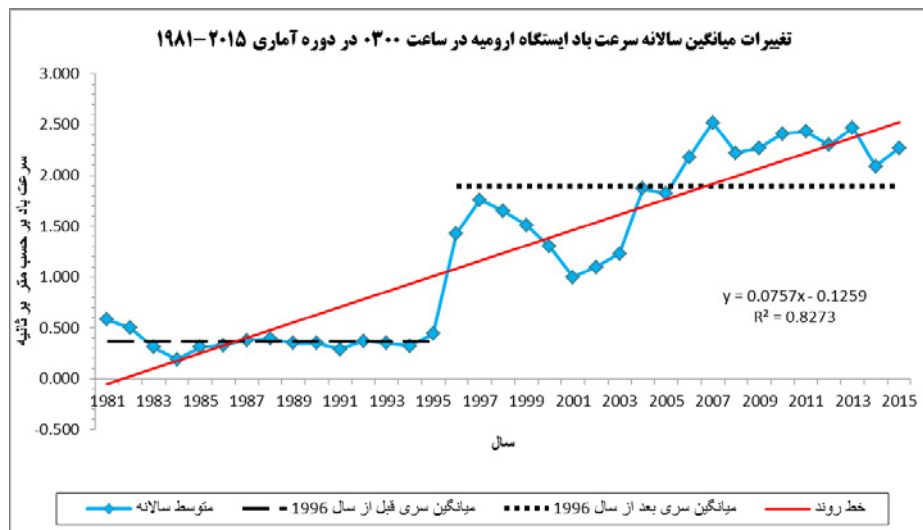
در این ایستگاه ناهمگنی در سال ۱۹۹۶ و روند صعودی در میانگین ماهانه سرعت باد برای همه ماه‌های سال نیز دیده می‌شود. برای مثال در ماه‌های ژانویه و ژولای ناهمگنی و روند صعودی در این ایستگاه وجود دارد با این تفاوت که در ماه ژانویه ضریب همبستگی $(0.2/804 =)$ نسبت به ماه ژولای $(0.2/827 =)$ کمتر است و میزان پرش متوسط ماهانه سرعت باد در ماه ژانویه $(1/314)$ متر بر ثانیه) نسبت به ماه ژولای $(1/025)$ متر بر ثانیه) بیشتر می‌باشد. میانگین ماهانه سرعت باد به ازای هر ۱۰ سال، در ماه ژانویه $0/6$ متر بر ثانیه و در ماه ژولای $0/5$ متر بر ثانیه می‌باشد.

ایستگاه ارومیه نشان می‌دهد که ناهمگنی در این داده‌ها رخ داده است که اولین نقطه آن سال ۱۹۹۶ می‌باشد. از بررسی فراداده ایستگاه دیده شد که ایستگاه ارومیه از بدو تاسیس تا کنون دو بار جابجا شده است. بار اول در ماه مارس ۱۹۷۳ از فاصله ۱۵ کیلومتری، ایستگاه به داخل فرودگاه منتقل شده است که این تاریخ در دوره آماری مطالعاتی قرار ندارد. بار دوم نیز در ماه می سال ۲۰۰۴ در طرح جامع فرودگاه ارومیه ایستگاه ۵۰۰ متر جابجا شده است. اگر چه این سال در آزمونهای همگنی آشکار نشده است، اما در میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه تاثیر داشته است. مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد این ایستگاه، $2/525$ محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۵ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون $1/25$ می‌باشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن بر اساس این آزمون سال ۱۹۹۶ بوده است.

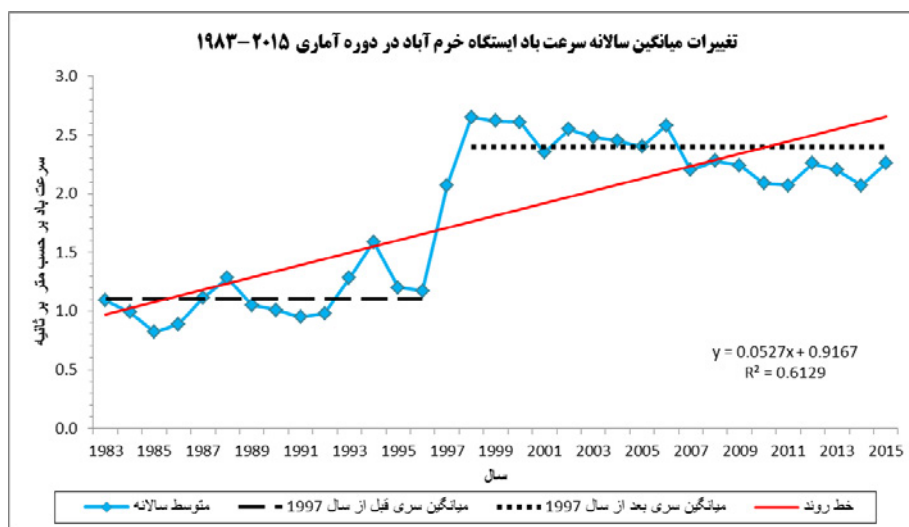
در شکل ۱۲ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه ارومیه را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است



شکل ۱۲. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه ارومیه (۱۹۸۱-۲۰۱۵).



شکل ۱۳. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد (متر بر ثانیه) در اطراف نقطه پرش در ساعت ۰۳۰۰ گرینویچ در ایستگاه ارومیه (۱۹۸۱-۲۰۱۵).



شکل ۱۴. تغییرات میانگین سالانه سرعت باد، خط روند و اختلاف میانگین دو سری زمانی مربوط به میانگین سالانه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه در اطراف نقطه پرش در ایستگاه خرم‌آباد (۱۹۸۳-۲۰۱۵).

خرم‌آباد را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که ناهمگنی در داده‌ها سبب شده است تا متوسط سالانه سرعت باد از سال ۱۹۹۷ به بعد، حدود ۱/۲۴۴ متر بر ثانیه پرش داشته باشد.

مقدار آماره حاصل از انجام آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سرعت باد خرم‌آباد، ۲/۶۶۴

شکل ۱۳ تغییرات میانگین سالانه سرعت باد در ساعت ۰۳۰۰ گرینویچ را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که در سال ۱۹۹۶ در میانگین سالانه سرعت باد پرش رخ داده است. این پرش در ساعتهای ۰۹۰۰ و ۱۸۰۰ گرینویچ نیز دیده شد.

شکل ۱۴ پرش میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه

ایستگاه‌های سنندج، زنجان، قم، کرمانشاه، تبریز، همدان، یاسوج، مشهد، رشت، کرج، ساری، یزد، کرمان، شهرکرد و بندرعباس نیز این پرش با شدت متوسط دیده می‌شود. در سایر ایستگاه‌های مراکز استان این وضعیت در دسته ضعیف قرار گرفته است.

- در ایستگاه‌های تبریز، مشهد، خرم‌آباد، گرگان، سمنان و ارومیه که ناهمگنی متوسط و شدید آشکار شده است، نقطه شروع ناهمگنی و پرش یکسان است در حالیکه در ایستگاه‌های تهران و شیراز که از نظر ناهمگنی در دسته ضعیف قرار دارند، نقطه شروع متفاوت می باشد.

- نقطه شروع پرش آشکار شده بوسیله آزمونهای همگنی، با سال تغییر مکان ایستگاه تحت بررسی، مطابقت ندارد. بنابراین پرش آشکار شده در ایستگاه‌های تحت بررسی، در اثر جابجائی ایستگاه رخ نداده است. چنین به نظر می‌رسد که پرش‌های آشکار شده در سری زمانی باد به دلایل غیرطبیعی مانند ساخت و ساز و تغییر در نوع پوشش زمین در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی یا توسعه شهرنشینی رخ داده است. از آنجائی که ایستگاه‌های تحت بررسی معمولاً در داخل فرودگاه‌ها قرار دارند، از این رو به سبب توسعه فرودگاه‌ها، زبری سطح نزدیک ایستگاه‌های هواشناسی نیز دستخوش تغییر شده است. این تغییر از طریق افزایش دریافت انرژی تابشی و نیز افزایش زبری سطح و کاهش نیروی مالش، سبب افزایش سرعت باد در ارتفاع ده متری از سطح زمین شده است. از آنجائی که افزایش زبری سطح در برخی موارد می‌تواند سرعت باد ارتفاع ده متری را تا دو برابر افزایش دهد (شنل و دی، ۲۰۰۰)، از این رو نقش افزایش زبری سطح در افزایش میانگین سرعت باد ده متری ایستگاه‌های تحت بررسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

- ناهمگنی آشکار شده که با تایید روند صعودی همراه است، می‌تواند به عنوان نتیجه تغییر اقلیم که در اثر عوامل انسان‌ساز ایجاد شده باشد، مطرح شود. برای مثال در کلانشهرهای تهران، اصفهان، مشهد، تبریز، شیراز و شهرهایی مانند ارومیه، سمنان، گرگان و خرم‌آباد چنین فرضیه‌ای می‌تواند مطرح باشد. در مورد ایستگاه‌هایی که

محاسبه شده است. از آنجائی که برای ۳۳ سال آمار و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار بحرانی این آزمون $1/246$ میباشد و این آماره از آماره محاسباتی کوچکتر است، از این رو ناهمگنی در این داده‌ها تایید می‌شود که نقطه شروع آن سال ۱۹۹۷ بوده است. از بررسی شناسنامه ایستگاه دیده می‌شود که این ایستگاه در سال ۱۹۸۱ از مرکز شهر خرم‌آباد به داخل فرودگاه انتقال یافته که ضمن انتقال طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع آن نیز تغییر یافته است. این سال خارج از دوره آماری مطالعاتی بوده است. در شکل همچنین روند صعودی در داده‌های میانگین سالانه سرعت باد دیده می‌شود که با $P\text{-Value}=0.00074$ تایید میشود.

جمع‌بندی

نتایج و جمع‌بندی حاصل از این تحقیق، به شرح زیر ارائه شده است:

- آزمون انحرافات تجمعی روی داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌ها، همگنی داده‌ها را در اهواز، اردبیل، قزوین و اصفهان تایید نمود. همچنین این آزمون نشان داد که داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌های ایلام، بوشهر، اراک، کرج، تهران، شیراز، کرمان، بجنورد و بیرجند دارای ناهمگنی ضعیف، داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌های سنندج، کرمانشاه، زنجان، یاسوج، قم، مشهد، زاهدان و بندرعباس دارای ناهمگنی متوسط و داده‌های میانگین سالانه سرعت باد ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، سمنان، همدان، شهرکرد، رشت، ساری، یزد، گرگان و خرم‌آباد، دارای ناهمگنی شدید می باشند.

- آزمون همگنی نرمال استاندارد روی داده‌های میانگین سالانه سرعت باد نیز مشخص کرد که در ایستگاه‌های شیراز و بجنورد متوسط سالانه سرعت باد کاهش داشته است که از نظر شدت در دسته متوسط قرار گرفته است. بعلاوه در ایستگاه‌های ارومیه، خرم‌آباد، بوشهر، سمنان، گرگان و بیرجند پرش در داده‌ها آشکار شده است، که ناشی از روند صعودی شدید می‌باشد. در

009-0152-7.

- Joshua, M. and Barry, D. K., 2017, Surface wind speed: trend and climatology of Brazil from 1980–2014, Int. J. Climatol.
- Karabork M. C., Kahya, E. and Komuscu, A.U., 2007, Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions. *Hydrological Processes* 21: 3203–3210.
- Laapas, M., and Venalainen, A., 2017, Homogenization and trend analysis of monthly mean and maximum wind speed time series in Finland, 1959–2015, Int. J. Climatol. (2017)
- Liu, X. N., 2000, The homogeneity test on mean annual wind speed over China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 11, 2734–.
- Liu, Z., Yan, K., Tu, W. and Wang, Y., 2011, Changes in wind speed and extremes in Beijing during 1960–2008 based on homogenized observations. *Adv. Atmos. Sci.*, 28, 408–420.
- Lin, C., K. Yang, J. Qin, and R. Fu, 2013: Observed Coherent Trends of Surface and Upper-Air Wind Speed over China since 1960. *Journal of climate*, Vol. 26: 2891–2903.
- McVicar, T. R., T. G., Van Niel, L. T., Li, M. L., Roderick, D. P., Rayner, L., and R. J. Donohue, 2008, Wind speed climatology and trends for Australia, 1975–2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20403, doi: 10.1029/ 2008GL035627.
- Rahimzadeh, F. and Nassaji, Z. M., 2013, Trends and variability of temperature during 1961–2010 over Iran after adjustment of non-climatic inhomogeneities, Accepted by J. Research in Geography.
- Schnelle, K., B. and Dey, P., R., 2000, Atmospheric dispersion modeling compliance guide. New York, N.Y; London: Mc Crow-Hill, c2000.
- Tuomenvirta, H., 2001, Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series-Finish and Nordic data. *International Journal of Climatology* 21: 495–506.
- Vincent, L.A., Zhang, X., Bonsal, B.R., Hogg, W.D., 2002, Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate* 15:1322–1334.

روند صعودی در آنها تایید نشده است، مانند ایستگاه‌های اهواز، اردبیل و قزوین، تغییرات میانگین سرعت باد نسبت را می‌توان به تغییرات سالانه باد وابسته کرد.

منابع

- جهانگیری، زهره و فاطمه رحیم زاده، ۱۳۸۴: ضرورت قابل اعتماد بودن اطلاعات هواشناسی در مسائل اقلیم و تغییر اقلیم. نیوار، شماره ۵۶ و ۵۷ ص ۹۱–۱۰۵.
- رحیم‌زاده، فاطمه و احمد عسگری، ۱۳۸۳: نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه روزی دما در کشور، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، ص ۱۷۱–۱۵۳.
- رحیم زاده، ف.، هدایتی دزفولی، ا.، پوراصغریان، آ.، ۱۳۹۰. ارزیابی روند و جهش نمایه های حدی دما و بارش در استان هرمزگان. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صفحات ۹۷–۱۱۶.
- رفعتی، س.، و کریمی، م.، ۱۳۹۷، بررسی همگنی داده های اقلیمی و روند تغییر دما. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صص ۲۱۴–۱۹۹.
- Alexanderson, H. and Moberg, A., 1997, Homogenization of Swedish temperature data. Part I: "A homogeneity test for linear trends, Int. J. of Climatology, 17, 25–34.
- Begert, M., Schlegel, T. and Kirchhofer, W., 2005, Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology* 25: 65–80.
- Buishand, J.A., 1982, some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrology* 58, 11–27.
- Göktürk, O. M., Bozkurt, D., Sen ö. L. and Karaca, M., 2008, Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*. 22, 3210–3218
- Jiang, Y., Luo, Y., Zhao, Z. and Tao, S., 2010, Changes in wind speed over China during 1956–2004. *Theor. Appl. Climatol.*, 99, 421–430, doi: 10.1007/s00704-

Investigation of wind speed homogeneity in Iran weather stations

Mohammad Moradi^{1,*}, Abbas Ranjbar Saadat Abadi², Ebrahim Fattahi², Fatemeh Rahimzadeh¹

Assistant Prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research (ASMERC), Tehran, Iran

Associate Prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research (ASMERC), Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: moradim36@gmail.com

Received: 21 April 2018, accepted: 3 August 2018

ABSTRACT

In this paper, the homogeneity of the annual wind speeds average time series was investigated and categorized using the standard normal homogeneity test and cumulative deviation test in thirty-one Iranian weather stations during the period of 1981-2015. The results of the cumulative deviation test on the annual average wind speed time series confirmed the homogeneity only for the Ahvaz, Ardebil, Qazvin, and Isfahan stations. The stations were categorized to the following groups, using different statistical methods:

- 1- There were weak heterogeneities in the wind speed records for Ilam, Bushehr, Arak, Karaj, Tehran, Shiraz, Kerman, Birjand, and Bojnood stations.
- 2- There were moderate heterogeneities in the wind speed records for Sanandaj, Kermanshah, Zanjan, Yasouj, Qom, Mashhad, Zahedan, and Bandar Abbas stations.
- 3- There were high heterogeneities in the wind speed records for Urmia, Tabriz, Tehran, Hamedan, Branch, Rasht, Sari, Yazd, Gorgan and KhoramAbad stations.

The results of the SNHT test on the annual average wind speed time series indicated that wind speed has decreased in Bojnood and Shiraz stations by a moderate amount. In addition, the annual average wind speed time series of the Urmia, Khorramabad Bushehr, Semnan, Gorgan, and Birjand stations experienced a significant jump that shows the increasing trend of wind speed in the mentioned stations.

Moreover, some jumps in data values with moderate intensities were observed in Sanandaj, Zanjan, Qom, Kermanshah, Tabriz, Hamadan, Yasouj, Mashhad, Rasht, Karaj, Sari, Yazd, Kerman, and Bandar Abbas Stations. The investigations showed that in Tabriz, Mashhad, Khorramabad, Gorgan, Tehran, and Urmia stations with observed moderate and high heterogeneities, the starting time of heterogeneity and their jumps are similar. At these stations, the starting year of the detected jump did not correspond to the year of their relocations; therefore, the wind speed jump couldn't be explained by the relocation of the station. It appears that the sudden increase in wind speed was created by altering the wind measurement instruments or changing the unit of wind speed which are not recorded in the metadata of these stations. It is likely that the heterogeneity and the trend of the annual average wind speed time series of the weather stations were the result of the inaccuracies of the land cover as well as urbanization growth in the vicinity of the stations.

Keywords: Wind speed jump, cumulative deviations test, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Metadata.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Moradi, M.; Ranjbar Saadat Abadi, A.; Fattahi, E.; Rahimzadeh, F., (2018). Investigation of wind speed homogeneity in Iran weather stations. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(2): 146-162.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

