مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی
سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰ (شماره پیاپی ۶)
صفحات ۷۷-۵۳
DOI:10.22124/gscaj.2021.20765.1116
DOR:20.1001.1.27831191.1400.2.3.3.3

ارزیابی عملکرد الگوریتم بیشینه T و F تاوانیده در کنترل کیفی سری‌های زمانی اقلیمی ماهانه و روزانه در سواحل جنوب‌غربی دریای خزر

ندا اخلاقی ینگجه[۱] دکتر نادر پیرمرادیان[۲*]
دکتر روح‌الله اوجی[۳] دکتر افشین اشرف‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۹

چکیده

با توجه به کاربرد وسیع داده‌های بلند مدت هواشناسی در علوم مختلف و نیاز به پیش‌بینی تغییرات احتمالی آن‌ها در مقیاس‌های محلی و جهانی، اطمینان از صحت و همگنی این‌گونه داده‌ها بسیار مهم است. به منظور کنترل کیفی فراسنج‌های اقلیمی نیمه غربی منطقه خزری در مقیاس روزانه و ماهانه، از آزمون‌های بیشینه T و F تاوانیده در بسته نرم‌افزاری Rhtests استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این بررسی شامل بارش، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و همچنین ساعت آفتابی، طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۷ در ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت و رامسر بود. برآورد داده‌های مفقود، با در نظر گرفتن استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی و با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایگی K انجام شد. در بررسی سری‌های زمانی ماهانه، ۲۳ نقطه تغییر شناسایی شد که در دو مرحله قبل و بعد از بازسازی، همگن‌سازی گردید. روش نرمال استاندارد با شناسایی ۹ نقطه تغییر، از حساسیت کمتری نسبت به روش بیشینه F تاوانیده برخوردار بود. سپس، داده‌های روزانه فراسنج‌های مذکور، مورد آزمون همگنی قرار گرفت که در مجموع با شناسایی ۳۲ نقطه تغییر، همگن‌سازی شد. با این وجود، امکان همگن‌سازی کامل متغیر ساعت آفتابی به‌علت وجود داده‌های مفقود متوالی، میسر نشد. همگن‌سازی داده‌ها باعث تغییر روند ۳۳ درصد از موارد شد. بر اساس نتایج بدست آمده، روش مورد بررسی دارای نتایج قابل قبولی در همگن‌سازی داده‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه بود.

واژگان کلیدی: آزمون همگنی، نرمال استاندارد، فراسنج‌های اقلیمی، سواحل خزری

---

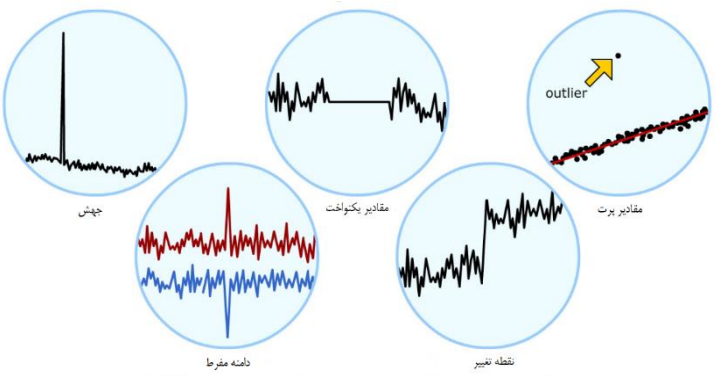
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. * npirmoradian@guilan.ac.ir
۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

مقدمه

به‌منظور انجام پژوهش و همچنین ارزیابی موضوعات مرتبط با اقلیم، به داده‌های بلندمدت و همگن هواشناسی (داده‌های اقلیمی) نیاز است. عواملی مانند دقت اپراتور، ویژگی سنجنده و همچنین شرایط و موقعیت ایستگاه هواشناسی، کیفیت داده‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. این اثر به‌گونه‌ای است که ممکن است خطاهای مرتبط با اندازه‌گیری، بسیار بزرگ‌تر از سیگنال‌هایی باشد که در مطالعات آشکارسازی تغییراقلیم اندازه‌گیری می‌شود (Peterson, 2013). از این رو، بر اساس بند سوم اصول پایه دهگانه سامانه رصد جهانی آب و هوا[1]، ثبت و مراقبت از فراداده[2] که در بر گیرنده جزئیات و تاریخچه شرایط محلی، ابزارها، روش‌های مورد استفاده، الگوریتم‌های پردازش داده‌ها و سایر عوامل مرتبط با تفسیر داده‌هاست نیز همانند خود داده‌ها ضروری است (WMO, 2003). آگاهی از تاریخچه تغییرات احتمالی موارد مذکور در ایستگاه هواشناسی مورد نظر، باعث افزایش اطمینان از نتایج تکنیک‌های آماری به‌کار رفته در کنترل کیفی مقادیر دیده‌بانی خواهد شد. لذا در صورت همگن بودن سری زمانی بلند مدت داده‌ها، تمام تغییرات و نوسانات موجود در سری مذکور را می‌توان ناشی از رفتار طبیعی اتمسفر دانست (WMO, 2002; Conrad and Pollak, 1950). باتوجه به این‌که داده‌های هواشناسی علاوه بر اقلیم‌شناسی و هواشناسی، کاربرد وسیعی در زمینه‌هایی مختلف مانند علوم کشاورزی، مهندسی و هوانوردی دارند، آگاهی از شرایط اندازه‌گیری فراسنج‌های اقلیمی و همگنی آنها برای محققان مذکور دارای اهمیت است. بنابراین بایستی ضمن داشتن دقت کافی در بکارگیری داده‌های اقلیمی، کیفیت داده‌های مذکور را با بکارگیری روش‌های مناسب، مورد بررسی قرار داد. البته باید توجه داشت که اثربخشی این روش‌ها به عواملی همچون نوع، مقیاس زمانی و تغییرپذیری مکانی متغیر اقلیمی بستگی دارد (قاجارنیا و همکاران، ۱۳۹۳؛ خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۵ ;WMO, 2008, 2011؛Ribeiro et al., 2015). به طور مثال ویژگی تغییرپذیری زیاد سری‌های زمانی روزانه موجب شده است که کنترل کیفی داده‌های اقلیمی معمولا در مقیاس ماهانه و سالانه انجام شود (Cao and Yan, 2012). به‌طور کلی، روش‌های همگنی با هدف کنترل و کاهش تغییرات و نوسانات غیر اقلیمی، در سراسر جهان مورد توجه محققان قرارگرفته و مدام در حال ارزیابی و توسعه هستند. همچنان که در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود، نوسانات مذکور شامل مقادیر پرت، مقادیر یکنواخت، جهش، نقطه تغییر و دامنه مفرط است. جهش[3] عبارت است از افزایش و کاهش ناگهانی که در یک سری زمانی رخ می‌دهد. مقادیر یکنواخت[4] در یک سری زمانی، شامل مجموعه داده‌هایی هستند که از نظر آماری دارای توزیع

1. Global Climate Observing System (GCOS)
2. Metadata
3. Spike
4. Flatliners

یکنواخت می‌باشند. نقاط پرت[1] در یک سری زمانی، مقادیری هستند که به طور قابل توجهی با الگوها و روند سایر مقادیر در سری زمانی مذکور متفاوت هستند. دامنه تغییر غیرمنتظره در بخشی از سری زمانی به‌عنوان دامنه مفرط[2] شناخته می‌شود. از نظر آماری، نقطه تغییر[3] به نقطه‌ای اطلاق می‌شود که مشاهدات تا آن نقطه دارای یک توزیع مشخص و پس از آن نقطه دارای توزیع متفاوتی است.



شکل ۱- اثر نوسانات غیراقلیمی بر داده‌های هواشناسی (https://www.climate.gov)

این روش‌ها به‌طور کلی به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. در روش مستقیم، با استفاده از تاریخچهٔ ایستگاه هواشناسی و تطبیق آن با روند تغییرات سری زمانی و در روش غیرمستقیم با توجه به نبود شناسه تاریخی ایستگاه، از آزمون‌های آماری برای کنترل کیفی داده‌ها استفاده می‌شود (Aguilar et al, 2003; Peterson et al, 1998). در طبقه‌بندی دیگری نیز روش همگن‌سازی داده‌های اقلیمی به دو صورت مطلق و نسبی تقسیم می‌شود. در روش مطلق، آزمون‌های آماری روی سری زمانی ایستگاه مورد نظر اعمال می‌شود در حالی‌که در روش نسبی، از یک سری مرجع نیز استفاده می‌شود (Costa and Soares, 2009; Venema et al., 2012). اگرچه کنترل کیفی به صورت نسبی بیشتر توصیه شده اما نتایج آن به کیفیت سری مرجع بستگی دارد (Yozgatligil and Yazici, 2016). در صورتی که ناهمگنی ناشی از تغییرات آب و هوای محلی باشد بهتر است از ایستگاه مرجع همگن در کنترل کیفی داده‌های مورد نظر استفاده کرد. رایج‌ترین روش انتخاب ایستگاه مرجع بررسی همبستگی بین ایستگاه مورد نظر و ایستگاه‌های مجاور و در نهایت انتخاب ایستگاه با بیشترین ضریب همبستگی است. در این صورت، کنترل کیفی داده‌های مورد نظر به صورت نسبی و از طریق روش‌های آماری انجام می‌شود. این درحالی است که

1. Outliers
2. Excessive range
3. Change point

در بیشتر موارد، فراداده قابل استناد و در برخی موارد، ایستگاه مرجع مناسب در دسترس نیست. بنابراین نیاز به روش‌هایی است که بتوان تغییر روند معنی‌دار در سری زمانی را حتی بدون پشتیبانی فراداده و در دسترس نبودن ایستگاه مرجع شناسایی و تصحیح کرد (Wang, 2008a). همچنین، روش‌های کنترل کیفی را از نظر آماری می‌توان در رویکردهای بیزی (نظیر روش‌های رگرسیونی و رگرسیونی چندگانه بیزی) و کلاسیک (از قبیل آزمون‌های نرمال استاندارد، t، F، روش‌های رگرسیونی و آزمون‌های ناپارامتری ویلکاکسون، u مان-ویتنی، پتیت و ...) نیز دسته‌بندی کرد. بر این اساس، امروزه ابزارها و بسته‌های نرم‌افزاری متعددی توسعه یافته‌اند که به آسانی قابل بکارگیری برای داده‌های اقلیمی در مقیاس‌های زمانی مختلف هستند. بسته‌های نرم افزاری RHtests مبتنی بر آزمون‌های بیشینه T و F تاوانیده[1]، یکی از نمونه‌های موفق در این زمینه است که در سال ۲۰۱۲ توسط محیط زیست کانادا جهت کنترل کیفی داده‌های اقلیمی ماهانه و روزانه توسعه یافته و همواره به‌روز رسانی شده است.

مطالعات متعددی در زمینهٔ کنترل کیفی داده‌های اقلیمی در ایران و جهان با استفاده از روش‌های نرمال استاندارد و همچنین آزمون‌های بیشینه T و F تاوانیده انجام شده است. وانگ و همکاران (2007) آزمون T تاوانیده را به منظور تشخیص تغییر در سری زمانی فاقد فراداده، ارائه کردند. ایشان آزمون مذکور را جهت بررسی همگنی سری زمانی فشار جوی اتمسفری یک ایستگاه هواشناسی در کانادا در مقایسه با روش آزمون همگنی نرمال استاندارد ارزیابی کردند. نتایج این ارزیابی نشان داد که میزان خطای آزمون T تاوانیده به‌طور قابل قبولی برای تمام نقاط تغییر شناسایی شده در طول دوره آماری، توزیع شده است. هر چند روش نرمال استاندارد دارای عملکرد مناسبی در شناسایی نقاط تغییر در دو انتهای سری زمانی بود، ولی عملکرد ضعیفی را در شناسایی نقاط مذکور در نقاط مرکزی نشان داد. در مجموع، روش آزمون T تاوانیده دارای قدرت بالاتری نسبت به تشخیص مقادیر تغییر در سراسر سری زمانی بود. همچنین، Cao و Yan (2012) با تأکید بر لزوم کنترل کیفی داده‌های هواشناسی، با استفاده از دو روش توسعه‌یافته RHtest و MASH همگنی داده‌های دما و سرعت باد را در چین مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آن‌ها بر لزوم تدوین فراداده‌ی مناسب، ایجاد و توسعه روش‌های کنترل همگنی با قابلیت توسعه و به‌روزشدن و کنترل و بازسازی داده‌های صد سال اخیر در چین تاکید داشتند. Marcolini و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی همگنی سری زمانی عمق برف را با استفاده از روش نرمال استاندارد در منطقه ترنتو در شمال شرق ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج بدست آمده، ناهمگنی ۲۰ درصد از داده‌ها مشخص شد. جهت محاسبه شاخص CFFWI (شاخص هوای جنگل کانادا[2])

1. Penalized Maximal F and T (PMF & PMT) Tests
2. Canadian Forest Fire Weather Index

در ۱۶ ایستگاه کانادا، داده‌های روزانه دما، بارش، سرعت باد و رطوبت نسبی با استفاده از بسته نرم‌افزاری RHtest کنترل کیفی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که همگن‌سازی داده‌ها، شاخص‌های مذکور را به میزان ۸/۴-۰/۷ درصد کاهش داده و روند طولانی مدت برخی ایستگاه‌ها را معکوس کرد (Tsinko et al., 2018). همچنین، نتایج حاصل از بررسی کیفیت داده‌های سرعت باد به‌وسیلهٔ بسته نرم‌افزاری Rhtests V4، نشان داد که ۷۷ درصد ایستگاه‌ها در تیانجین در دوره ۲۰۱۴-۱۹۵۱ دارای نقاط تغییر قابل‌توجهی بوده و تعداد آنها در دوره‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۹ و ۱۹۸۹-۱۹۸۸ عمدتا ناشی از تغییر ابزار و جابجایی بوده است (Si et al., 2018).

در ایران نیز مطالعات متعددی به منظور همگن‌سازی داده‌های سالانه و ماهانه متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه بارش و دما انجام گرفته است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ رحیم‌زاده و نساجی، ۱۳۹۳؛ خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۵؛ رضازاده جودی و ستاری، ۱۳۹۵؛ رفعتی و کریمی، ۱۳۹۷؛ بازگیر و همکاران، ۱۳۹۸). این در حالی است که با وجود ناهمگنی نسبتا زیاد داده‌های بلند مدت هواشناسی موجود در کشور و عدم وجود فراداده مستند، تحقیقات کمتری در زمینه آزمون همگنی مقادیر روزانه انجام شده است. دلایل اصلی ناهمگنی داده‌ها در ایران جابجایی و تغییر شرایط محیطی و تأثیر شرایط آب و هوای شهری در برخی ایستگاه‌های نزدیک به شهر (به ویژه در پارامتر دما) بوده و با وجود مطالعات فراوان در زمینه روند حداکثر و حداقل دما و میانگین سالانه دما در کشور، به‌دلیل عدم وجود فراداده‌ی قابل اطمینان و تغییرات ایستگاه‌ها همچنان با عدم قطعیت باقی می‌ماند (Rahimzadeh and Nassaji Zavareh, 2014). در ادامه، به تعدادی از مطالعات صورت‌گرفته با استفاده از روش‌های مورد بررسی در کنترل کیفی داده‌های روزانه اشاره می‌گردد. کوهی و همکاران (۱۳۹۱) از نرم افزار RHtest-dlyPrcp بر مبنای آزمون رگرسیون دو مرحله‌ای برای کنترل کیفی داده‌های بارش روزانه در حوضه کشف‌رود استفاده کردند که متأسفانه اطلاعاتی در زمینه نتایج به‌دست آمده، ارائه نشده است. کنترل کیفی مقادیر حدی دما و بارش روزانه ۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در غرب میانی ایران طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰ با استفاده از الگوریتم بیشینه F تاوانیده از طریق بسته‌های نرم‌افزاری RHtests و RHtest-dlyPrcp مورد آزمون قرار گرفت (اوجی، ۱۳۹۲). بر این اساس، فراسنج‌های اقلیمی مورد بررسی در ایستگاه ایلام به دلیل وجود داده‌های مفقود متوالی، ناهمگن تشخیص داده شدند که از فرایند آنالیز کنار گذاشته شدند. پارامترهای مذکور در سایر ایستگاه‌ها بعد از انجام آزمون‌های همگنی جهت ارزیابی عدم قطعیت ریز مقیاس نمایی مورد استفاده قرارگرفتند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از دو روش مستقیم و غیرمستقیم، همگنی سری زمانی کمینه و بیشینه دما را در ایستگاه‌های هواشناسی ناحیه خزری در مقیاس‌های سالانه و فصلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش، حاکی از تایید ناهمگنی سری‌های زمانی مورد بررسی و نیز حساسیت بیشتر مقادیر دمای کمینه

در این زمینه بود. مهم‌ترین عامل ایجاد ناهمگنی در پژوهش مذکور، جابجایی مکانی ایستگاه‌ها بویژه در ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت و گرگان عنوان شده‌است. رضازاده‌جودی و ستاری (۱۳۹۵)، همگنی مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی را با آزمون نرمال استاندارد و از نظر ایستایی با آزمون من کندال ارزیابی کرده و همگنی سری مورد نظر را تأیید کردند.

در پژوهشی همگنی داده‌های میانگین دما و بارش ماهانه حوضه ناورود با استفاده از آزمون‌های پتیت[1]، نرمال استاندارد[2]، بیشند[3] و ون نیومن[4]، از طریق نرم افزار XLSTAT توسط ستاری و رضازاده‌جودی (۱۳۹۷) مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان‌داد داده‌های مربوط به پارامترهای دما و بارش همگن بوده و حتی داده‌های دما نسبت به بارش دارای همگنی بیشتر بود. رفعتی و کریمی (۱۳۹۷) به منظور بررسی روند تغییرات دما در کشور، میانگین دمای ماهانه ۳۳ ایستگاه همدیدی کشور را با استفاده از آزمون بیشینه F تاوانیده RHtests V4 مورد آزمون همگنی قراردادند. نتایج این بررسی نشان‌داد که ناهمگنی موجود در سری زمانی می‌تواند روند خطی دما را به مقدار زیادی منحرف کند. به نحوی که، روند تغییرات برخی از ایستگاه‌ها بعد از انجام همگنی سری زمانی تغییر یافت. بازگیر و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای همگنی سری‌های زمانی میانگین سالانه‌ی دمای کمینه، بیشینه و بارش ۳۶ ایستگاه همدید کشور در ۶ طبقه اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه مذکور، آزمون‌های نرمال استاندارد، پتی، انحراف تجمعی و راستی آزمایی ورسلی برای تشخیص ناهمگنی داده‌ها انتخاب شدند که نتایج نشان داد ٪ ۹۱/۵ و ٪ ۸۸/۵ از داده های کمینه و بیشینه دما در طبقه غیرهمگن قرار گرفته‌اند.

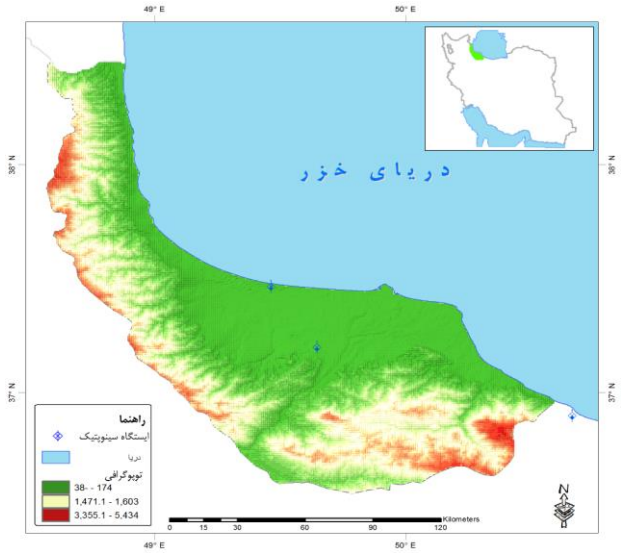
هم‌چنان که اشاره شد، باوجود پیشرفت‌های صورت‌گرفته در روش‌های کنترل کیفی و توسعه نرم‌افزارهای کاربردی در این زمینه، آزمون همگنی داده‌های روزانه در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در کشور کمتر مورد توجه قرارگرفته است. این مسأله می‌تواند موجب افزایش عدم قطعیت و تأثیر منفی بر روی نتایج نهایی شود که ممکن است برنامه‌ریزی‌های آتی را متاثر سازد. علاوه بر این، خطا و عدم قطعیت، دو مفهوم جدایی ناپذیر داده‌های اندازه‌گیری‌شده هستند که همواره بر پژوهش‌ها سایه می‌افکنند. در واقع، خطا تفاوت بین مقدار اندازه‌گیری‌شده با مقدار واقعی است و عدم قطعیت نیز تردیدی است که در مورد اندازه‌گیری وجود دارد. با توجه به این که داده‌ها از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین جنبه‌های مطالعات پژوهشی هستند، اطمینان از کاهش خطاهای احتمالی و عدم قطعیت آن‌ها در هر پژوهش، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، در پژوهش

1. Pettit
2. Standard Normal Homogeneity Test
3. Buishand
4. Von Neumann

حاضر تلاش شده‌است ضمن ارزیابی عملکرد آزمون بیشینه F تاوانیده در نسخه‌های ۴ و ۵ بسته نرم‌افزاری RHtests در کنترل کیفی داده‌های ماهانه و روزانه هواشناسی ایستگاه‌های واقع در بخش غربی سواحل خزری، اهمیت کاربرد داده‌های اقلیمی همگن در مطالعات مختلف و کاهش عدم قطعیت را مورد تأکید قراردهد.

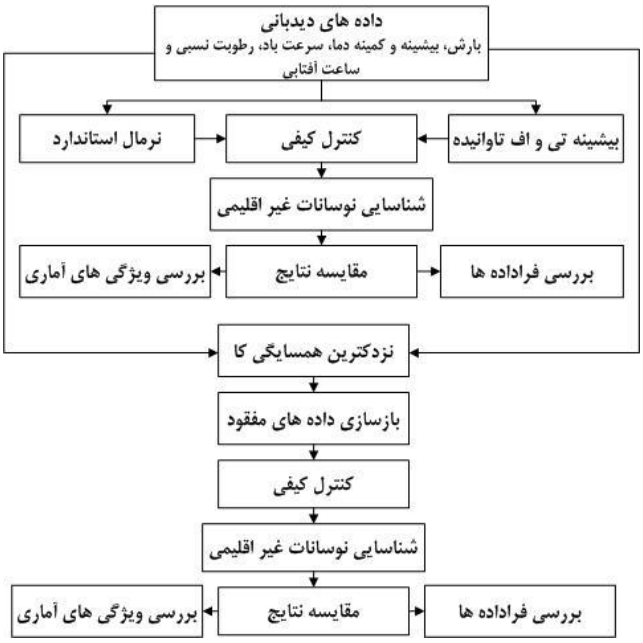
روش‌شناسی و منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در بخش غربی سواحل جنوبی دریای خزر (شکل ۲) است که با اقلیم کاملا متفاوت نسبت به سایر مناطق کشور، دارای سری زمانی نسبتا طولانی هستند.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

به دلیل پیچیدگی توپوگرافی و مجاورت با دریا، خروجی مدل‌های گردش عمومی جهت پیش‌نگری تغییرات اقلیمی در این منطقه، از عدم قطعیت نسبتا بالایی برخوردار است. بنابراین، دسترسی به سری زمانی آماری طولانی مدت و قابل اعتماد در منطقه، حائز اهمیت است. در این پژوهش، پس از بررسی طول دوره آماری و درصد داده‌های مفقود ایستگاه‌های واقع در منطقه، ایستگاه‌های هواشناسی فرودگاه رشت، بندرانزلی و رامسر به منظور انجام کنترل کیفی انتخاب و مورد آزمون همگنی قرار گرفتند. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این بررسی، شامل داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد، ساعات آفتابی و همچنین رطوبت نسبی طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۷۹ بود. با هدف تبیین تلاش انجام شده در این پژوهش، طرحواره روش پژوهش در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳- طرح‌واره روش پژوهش

در بررسی تاریخچه ایستگاه‌های مورد مطالعه، همچنان که در جدول (۱) نیز مشاهده می‌شود، مقادیر مفقود داده‌های مذکور در همه ایستگاه‌های مورد بررسی بر اساس استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، کمتر از ۱۰ درصد کل داده‌ها بود (Szentimrey et al., 2017).

جدول ۱- تاریخچه ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	تاریخ تاسیس	تغییرات ایستگاه		درصد داده‌های مفقود					
		تاریخ جابجایی	میزان جابجایی	بارش	بیشینه دما	کمینه دما	سرعت باد	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی
بندرانزلی	۱۳۲۷	۱۹۸۲ یا ۱۹۸۳	۷۰ متر به طرف شمال ۲ متر کاهش ارتفاع	۱/۶۲	۴/۲۲	۸/۶۱	۰/۱۵	۰/۰۹۸	۸/۸۲
رشت	۱۳۳۰	۱۹۶۹ ۱۹۶۹ و ۲۰۰۴	تغییر مکان به فرودگاه در حدود ۵ کیلومتر و ۱۰۰ متر به طرف شمال ۷۰۰ متر به طرف شرق	۱/۹۲	۳/۴۸	۵/۴۵	۰/۵۶	۰/۳۳	۸/۱۶
رامسر	۱۳۳۴	بدون تغییر مکان		۱/۷۲	۳/۱۳	۲/۸۶	۲/۷	۰/۰۷۷	۹/۹۸

روش‌های کنترل کیفی

آزمون‌های بیشینه T و F تاوانیده

آزمون‌های بیشینه T و F تاوانیده (PMT, PMF) (Wang et al., 2007; Wang, 2008a; 2008b) که از طریق بسته‌های نرم‌افزاری RHtest و RHtest-dlyPrcp (Wang and Feng, 2015) در محیط R در دسترس هستند، به منظور کنترل کیفی و همگن‌سازی داده‌های اقلیمی ماهانه و روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. آزمون‌های مذکور در دو حالت نسبی (PMT) و مطلق (PMF) برای شناسایی نقاط تغییر چندگانه دارای فراداده و همچنین بدون پشتیبانی فراداده اعمال می‌شوند. به نحوی که آزمون PMT برای داده‌های دارای توزیع تقریباً گوسی و با استفاده از داده‌های همگن ایستگاه مجاور به‌عنوان سری زمانی مرجع به‌کار می‌رود (Wang et al., 2007). به منظور تعیین سطح معنی‌داری آماری نقاط تغییر شناسایی شده در این روش، از آزمون t استیودنت استفاده می‌شود. در حالیکه آزمون PMF برای شناسایی نقاط مذکور بدون سری زمانی مرجع (Wang, 2008b)، مورد استفاده قرارگرفته و جهت تعیین سطح معنی‌داری آن نیز از آزمون F معمولی استفاده می‌شود. در نسخه ۵ بسته مذکور، امکان تعدیل انطباق چندکی نقاط تغییر شناسایی‌شده در سری‌های زمانی ماهانه (و سالانه) به داده‌های روزانه (و ساعتی) مرتبط با آن‌ها وجود دارد(Wang et al, 2010; Vincent et al., 2012). همچنین، خودهمبستگی سری زمانی با یک گام تاخیر، در این روش مورد آزمون قرار می‌گیرد که میزان هشدار نادرست را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. چرخه سالانه و خودهمبستگی با یک تاخیر (و روند خطی سری زمانی پایه، در مواقعی که کنترل کیفی بدون ایستگاه مرجع انجام می‌گیرد) به ترتیب برای تمام نقاط تاخیر شناسایی‌شده، مدلسازی می‌شود (Wang, 2008a). سری زمانی با تصحیح میانگین و همچنین سری اصلاحی از طریق انطباق چندکی به همراه نمودارها و برازش رگرسیونی، در خروجی نهایی قابل مشاهد خواهد بود. شایان ذکر است که بسته نرم‌افزاری RHtests_dlyPrcp (Wang and Feng, 2015) مقادیر غیر صفر بارش را با استفاده از مناسب‌ترین تبدیل باکس-کاکس، نرمال می‌نماید. شناسایی نقاط تغییر ناشناخته در این بسته، از طریق آزمون PMF و تعیین سطح معنی‌داری بوسیله آزمون F معمولی انجام می‌گیرد.

آزمون نرمال استاندارد

این آزمون یکی از رایج‌ترین آزمون‌های بررسی همگنی سری زمانی بوده و نسبت به نقاط تغییر در ابتدا و انتهای سری حساس است. فرض صفر این آزمون مبنی بر همگنی سری زمانی بوده و در مقابل فرض یک آن، بیانگر وجود حداقل یک نقطه در سری زمانی است که میانگین قبل و بعد آن

نقطه دارای مقدار μ_1 و μ_2 باشد. برای انجام این آزمون از سری استاندارد شده Z_i استفاده می‌شود. سپس دنباله T_k براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$T_k = K\bar{Z}_k^2 + (n\text{-}k)\,\bar{Z}_{n-k}^2 \qquad k = 1, 2, \ldots, n\text{-}k \qquad i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۱)$$

در رابطه مذکور $\bar{Z}_k$ میانگین k داده اول و $\bar{Z}_{n\text{-}k}$ میانگین n-k داده باقی‌مانده است (Alexandersson, 1986). از این آزمون جهت همگن‌سازی داده‌های سالانه و ماهانه اقلیمی در مطالعات مختلف استفاده می‌شود (Ribeiro et al, 2015). در پژوهش حاضر برای بررسی همگنی داده‌ها با روش آزمون نرمال استاندارد از افزونه XLSTAT در نرم افزار Excel استفاده شد.

بازسازی داده‌های مفقود

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی K[1]، رایج‌ترین روش مبتنی بر مشاهده و یادگیری نمونه است. به نحوی که نسبت به نوفه (نویز) مقاوم بوده و در مواردی که طول دوره داده آموزشی زیاد باشد، بسیار کاراست. نزدیک‌ترین همسایگی در این روش، از تجمع مقادیر K همسایه نزدیک به عنوان مقادیر ورودی استفاده شده و بر اساس بسط فاصله گاور[2] (Gower, 1971) اختلاف برای نزدیک‌ترین همسایه، محاسبه می‌شود. میانگین وزنی هر متغیر، نشان‌دهنده اهمیت آن بوده و اختلاف بین دو مشاهده نیز میانگین وزنی هر متغیر است. بنابراین اختلاف بین مشاهده iام و jام را می‌توان به شرح رابطه (۲) تعریف کرد (Kowarik and Templ, 2016).

$$d_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^{p} \omega_k \delta_{i,j,k}}{\sum_{k=1}^{p} \omega_k} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، ω_k وزن و $\delta_{i,j,k}$ سهم متغیر kام است. برای متغیرهای پیوسته از تقسیم قدرمطلق اختلاف بر محدوده کلی استفاده می‌شود (رابطه ۳).

$$\delta_{i,j,k} = \frac{|x_{i,k} - x_{j,k}|}{r_k} \qquad (۳)$$

که $x_{i,k}$ مقدار kامین متغیر از iامین مشاهده و r_k محدوده kامین متغیر است. در مورد متغیرهای ترتیبی، ابتدا باید به متغیرهای عددی صحیح تبدیل‌شده (رابطه ۴) و سپس قدرمطلق اختلاف بر محدوده محاسبه تقسیم شود.

$$\delta_{i,j,k} = \begin{cases} 0 & x_{i,k} = x_{j,k} \\ 1 & x_{i,k} \neq x_{j,k} \end{cases} \qquad (۴)$$

1. K-Nearest Neighbors Algorithm (KNN)

۲. Gower Distance: یک مقیاس اندازه گیری که می تواند برای محاسبه فاصله بین دو موجودیت با ویژگی‌های مرکب از مقادیر عددی و همچنین گروهبندی‌شده مورد استفاده قرار گیرد.

یکی دیگر از انواع متغیرها، متغیرهای نیمه پیوسته هستند. سهم این‌گونه متغیرها به صورت ترکیبی از سهم متغیرهای اسمی و پیوسته محاسبه می‌شود که δ_k مقدار خاص برای kامین متغیر است (رابطه ۵).

$$\delta_{i,j,k}=\begin{cases}0 & X_{i,k}=\delta_k, X_{j,k}=\delta_k\\ 1 & X_{i,k}\neq\delta_k, X_{j,k}=\delta_k\\ 1 & X_{i,k}=\delta_k, X_{j,k}\neq\delta_k\\ \dfrac{|x_{i,k}-x_{j,k}|}{r_k} & X_{i,k}\neq\delta_k, X_{j,k}\neq\delta_k\end{cases} \quad (۵)$$

در این مطالعه برای بررسی احتمال تغییر در توزیع و همچنین روند سری‌های زمانی مورد بررسی‌به‌واسطه همگن‌سازی آنها به ترتیب از نمودار چندکی و آزمون من‌کندال استفاده شد. نمودار چندکی می‌تواند به‌عنوان یک روش‌غیرپارامتری برای‌مقایسه توزیع دو نمونه‌از داده‌ها استفاده شود. در نمودار فوق اگر توزیع به‌صورت خطی باشد نقاط روی یک خط قرار خواهند گرفت اما لزوما روی $Y = X$ نیست (Helsel and Hirsch, 2002). به طورکلی این روش قوی‌تر از روش‌های معمول مانند هیستوگرام دو نمونه است. وجود یا نبود روند در یک سری زمانی نیز به‌طور کلی به دو روش پارامتریک و ناپارامتریک قابل‌بررسی است. آزمون من‌کندال[1] از رایج‌ترین روش‌های ناپارامتریک بررسی روند سری زمانی است که مورد تأیید سازمان جهانی هواشناسی نیز می‌باشد. روش مذکور ابتدا توسط من (Mann, 1945) ایجاد و سپس توسط کندال (Kendall, 1975) توسعه یافت. این آزمون به دو روش آماره تاو[2] و نموداری، استفاده می‌شود که در این تحقیق از روش آماره تاو با استفاده از بسته نرم‌افزاری "Kendall" در محیط R استفاده شد. تاو کندال (Kendall, 1938 and Kendall, 1975) میزان یکنواختی رابطه بین x و y را می‌سنجد که مبتنی‌بر رتبه داده‌ها بوده و در برابر مقادیر پرت پایدار است. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱+ متغیر بوده (Helsel and Hirsch, 2002) و هرچه مقدار قدرمطلق آن نزدیک به‌یک باشد رابطه قوی‌تر است.

$$T=\frac{S}{n(n-1)/2} \quad (۶)$$

نتایج و بحث

زمان رخداد تغییر در سری زمانی ماهانه فراسنج‌های مورد بررسی در سه ایستگاه رشت، انزلی و رامسر، قبل از انجام کنترل کیفی داده‌های روزانه، با استفاده از نسخه ۴ بسته RHtests و نیز با استفاده از آزمون نرمال استاندارد، در جدول (۲) قابل مشاهده است. همچنان که ملاحظه می‌شود، سری‌های زمانی بارش و دمای کمینه هر سه ایستگاه بوسیله هر دو روش همگن تشخیص داده شده‌اند. همچنین، روش‌های مذکور در ناهمگنی سه متغیر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت

1. Mann-Kendall Test
2. Tau

باد نیز دارای عملکرد مشابهی هستند. با این وجود، روش نرمال استاندارد با توجه به ماهیت آن، در هر سری زمانی فقط قادر به شناسایی یک نقطه تغییر بوده، درحالی‌که تعداد نقاط تغییر مشخص شده با استفاده از RHtests در مواردی به چند مورد (مثلا ۵ مورد برای سرعت باد ایستگاه انزلی) می‌رسد. عملکرد روش‌های یاد شده در مشخص‌نمودن نقاط شکست دمای بیشینه انزلی و رامسر متفاوت است. به نحوی که بر اساس جدول (۲) روش نرمال استاندارد دارای حساسیت لازم برای آشکارسازی نقاط تغییر سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۸۲ در ایستگاه‌های انزلی و رامسر نبوده است. مقایسه تاریخ نقاط تغییر بدست‌آمده با فراداده‌ی هر ایستگاه نشان داد تاریخ وقوع نقطه تغییر به ترتیب برای رطوبت نسبی و سرعت باد ایستگاه انزلی و رشت با تاریخ جابجایی ایستگاه‌های مذکور همخوانی دارد. با این وجود، در اغلب موارد نیز نقاط تغییر به‌وسیله فراداده موجود پشتیبانی نمی‌شوند، در حالی‌که احتمال نسبتا بالایی در خصوص غیر اقلیمی بودن نوسانات مذکور وجود دارد. زیرا، اولا توسط هر دو روش همگنی بکار گرفته شده برای سری زمانی ماهانه، به‌عنوان نقطه تغییر تشخیص داده شده‌اند (مثلا سرعت باد دسامبر ۲۰۰۷ در ایستگاه انزلی).

جدول ۲- زمان رخداد تغییر در سری زمانی ماهانه قبل از کنترل کیفی داده‌ها (دو رقم سمت راست اعداد نشان‌گر ماه و چهار رقم سمت چپ نشان‌گر سال است).

ایستگاه	روش	بارش	کمینه دما	بیشینه دما	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی	سرعت باد
انزلی	SNHT	همگن	همگن	همگن	۱۹۹۴۰۳	*۲۰۱۴۱۱	❋۲۰۰۷۱۲
	Rhtests	همگن	همگن	۱۹۸۷۰۲	۱۹۸۳۱۱ ۱۹۹۱۱۱	۱۹۸۰۱۱ *۲۰۱۵۰۳	۱۹۸۰۰۱ ۲۰۰۱۱۱ ۲۰۰۵۱۰ ❋۲۰۰۷۱۲ ۲۰۰۸۱۲
رامسر	SNHT	همگن	همگن	همگن	❋۱۹۹۵۰۹	❋۲۰۱۴۱۱	*۱۹۹۶۰۵
	Rhtests	همگن	همگن	۱۹۸۲۰۱	۱۹۹۰۰۳ ❋۱۹۹۵۰۹	۱۹۸۰۱۱ ❋۲۰۱۴۱۱	*۱۹۹۶۰۶ ۲۰۰۴۰۱
رشت	SNHT	همگن	همگن	همگن	❋۱۹۸۱۱۲	*۲۰۱۵۰۱	*۲۰۰۴۱۲
	Rhtests	همگن	همگن	همگن	❋۱۹۸۱۱۲ ۱۹۸۹۰۴	۱۹۸۰۱۱ *۲۰۱۵۰۳	۱۹۸۲۱۱ *۲۰۰۵۰۱

❋ نقاط تغییر مشترک شناسایی شده توسط دو روش

همچنین، نوسان مذکور در ایستگاه‌های مجاور مشاهده نشده‌اند. در حالی‌که به نظر می‌رسد هر گونه نوسان خیلی شدید در یک سری زمانی که ممکن است توسط روش‌های کنترل کیفی به‌عنوان نقطه تغییر شناسایی شوند، احتمالا توسط سامانه‌های قوی جوی متاثر شده باشند. بنابراین انتظار می‌رود در مقیاس همدیدی در یک فاصله زمانی کوتاه در ایستگاه‌های مجاور نیز قابل مشاهده

باشند. بر این اساس، در این پژوهش با در نظر گرفتن احتمال تاثیرپذیری نقاط مذکور از دقت سنجنده، دیده‌بان و یا مجاورت با عوارض طبیعی و غیر طبیعی، به‌عنوان نقاط تغییر در نظر گرفته و سری زمانی همگن شد.

پس از مشخص شدن نقاط تغییر یادشده در سری زمانی ماهانه و معرفی این نقاط به‌عنوان نقاط تغییر مستند برای داده‌های روزانه، بررسی دقیق فراداده ایستگاه‌های یاد شده (جدول ۱) و همچنین بررسی کارشناسی شواهد آماری و گرافیکی، کنترل کیفی آن‌ها انجام شد. به‌طوری که مرحله اول کنترل کیفی مقادیر روزانه با استفاده از نسخه ۵ بسته نرم‌افزاری مذکور طی دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۷ نشان داد که اکثر متغیرهای اقلیمی (غیر از دمای کمینه و بارش ایستگاه انزلی و همچنین دمای بیشینه و بارش ایستگاه رشت) در ایستگاه‌های مورد بررسی، همگن نیستند. در این مرحله از کنترل کیفی، در مجموع ۳۲ نقطه تغییر شناسایی شد که غالبا مربوط به بازه زمانی ۱۹۷۹-۱۹۸۹ بودند. بیشترین تعداد نقاط تغییر معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) در سری زمانی فراسنج‌های سرعت باد و رطوبت نسبی مشاهده شد. همچنان که اشاره شد، بسته نرم‌افزاری مذکور بر اساس رویکردهایی نظیر اصلاح چندکی یا اصلاح میانگین[1]، مقادیر همگن‌سازی شده‌ای را جهت تصحیح نقاط تغییر طی بازه زمانی قبل از تاریخ تغییر ارائه می‌کند. مقادیر مذکور به تفکیک ایستگاه و متغیر مورد نظر با استفاده از معیارهای مرکزی و پراکندگی مقایسه شده و مناسب‌ترین شبیه‌سازی برای آن‌ها انتخاب و جایگزین مقادیر اولیه شد. به‌طوری که واریانس و میانگین آن دارای کمترین اختلاف با داده‌های اصلی بوده و بیشترین تفاوت را با سایر مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای فراسنج مذکور در ایستگاه مورد نظر داشته‌باشد. سپس مقادیر تصحیح‌شده به‌عنوان داده‌های کنترل کیفی‌شده در مرحله اول، جهت بازسازی مقادیر مفقود مورد استفاده قرارگرفت. پس از بازسازی داده‌ها به روش نزدیک‌ترین همسایگی K، دوباره کنترل کیفی انجام شد.

جدول ۳- تعداد نقاط تغییر در سری زمانی ماهانه قبل و بعد از بازسازی

ایستگاه	بارش		بیشینه دما		کمینه دما		سرعت باد		رطوبت نسبی		ساعت آفتابی	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
بندرانزلی	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۶	۰	۵	۰	۱	۱
رشت	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۴	۰	۲	۰	۱	۲
رامسر	۱	۰	۲	۰	۲	۰	۲	۰	۳	۰	۱	۱

بر اساس نتایج بدست آمده، تغییر معنی‌دار قابل توجهی در داده‌های مذکور غیر از ساعات‌آفتابی مشاهده نشد (جدول ۳)؛ که حاکی از عملکرد مناسب روش مذکور در بازسازی داده‌های مفقود منطقه مورد بررسی است.

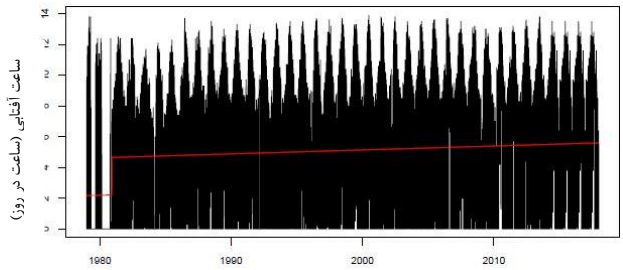
1 .QM-adjust & Mean-adjust

جدول ۴- نقاط تغییر پارامتر ساعات آفتابی پس از بازسازی

ایستگاه	تاریخ نقطه تغییر	سطح معنی‌داری	آزمون بیشینه F تاوانیده	فاصله اطمینان
بندرانزلی	۱۹۸۰۱۱۳۰	۰/۹۵	۲۰۷/۳۸۶۴	۴۱/۳۷۷۱ – ۴۴/۴۳۱۳
رشت	۱۹۷۹۰۹۳۰	۰/۹۵	۴۰/۵۴۹۰	۲۷/۲۹۲۰ – ۲۹/۰۷۷۷
	۱۹۸۰۱۰۰۲	۰/۹۵	۲۰۶/۰۵۴۱	۳۹/۷۲۸۴ – ۴۲/۴۸۵۶
رامسر	۱۹۸۰۱۱۳۰	۰/۹۵	۶۵۷/۸۷۶۶	۴۱/۹۰۸۸ – ۴۵/۰۶۸۴

* (دو رقم سمت راست ستون تاریخ، نشان‌گر ماه و چهار رقم سمت چپ نشان‌گر سال است).

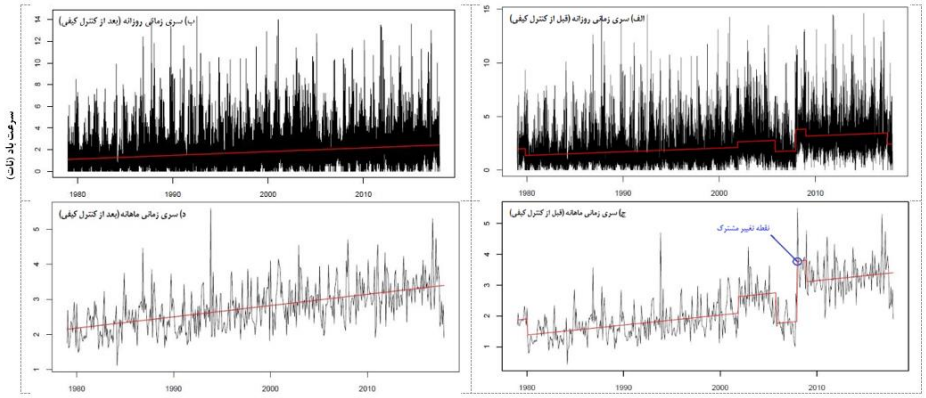
همچنان که در نتایج گرافیکی ارائه شده از کنترل کیفی نهایی پارامتر ساعات آفتابی مربوط به ایستگاه انزلی (شکل ۴) نیز مشاهده می‌شود، یک نقطه تغییر در تاریخ ۳۰ نوامبر ۱۹۸۰ ساعت آفتابی این ایستگاه شناسایی شده است. نقطه مذکور بر اساس آزمون بیشینه F تاوانیده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده (جدول ۴)، تغییر محسوسی در روند این سری ایجاد کرده است. بررسی دقیق سری زمانی مذکور جهت تشخیص اقلیمی یا غیر اقلیمی بودن نقطه تغییر نشان داد که وجود داده‌های مفقود طی یک دوره متوالی (جدول ۱) باعث این تغییر شده است. به نحوی که مقایسه و بررسی داده‌های اولیه ایستگاه و داده‌های بازسازی شده در حوالی تاریخ مذکور نشان داد که در سال ۱۹۸۰ برای دوره طولانی (ماه سوم تا اواسط ماه دهم) مقادیر صفر یا مفقود، نیمه‌ی دوم ماه دهم دارای مقادیر بزرگتر یا مساوی صفر، ماه یازدهم مقدار صفر و سپس برای ماه دوازدهم مقادیر بزرگتر مساوی صفر ثبت شده است.



شکل ۴- خروجی گرافیکی کنترل کیفی نهایی ساعت آفتابی مربوط به ایستگاه بندر انزلی

این مسأله نشان می‌دهد که در صورت وجود مقادیر مفقود متوالی در سری زمانی، استفاده از روش‌های بازسازی جهت تکمیل آن می‌تواند باعث تغییر روند معنی‌دار و ایجاد هشدار غلط توسط روش‌های همگن‌سازی در نتایج تحقیقات شود. بنابراین همچنان که اشاره شد، نتایج حاصل از کنترل کیفی داده‌های ساعات آفتابی چندان مطلوب نبوده و همچنان دارای نقطه تغییر باقی ماند. نتایج حاصل از کنترل کیفی قبل و بعد از بازسازی پارامتر سرعت باد ایستگاه بندرانزلی در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل‌های (الف و ب) در شکل مذکور، به سری زمانی روزانه و شکل‌های (ج و د)

نیز به دادهای ماهانه آن اختصاص دارد که بر اساس روش‌های بیشینه T و F تاوانیده، مورد آزمون قرار گرفته است. لازم به ذکر است که سری زمانی ماهانه سرعت باد علاوه بر روش یاد شده، با استفاده از روش نرمال استاندارد نیز آزمون شد. همچنان که در شکل نیز قابل مشاهده است، روش‌های بیشینه F تاوانیده و نرمال استاندارد به ترتیب ۵ و ۱ نقطه تغییر را در سری زمانی ماهانه شناسایی کرده‌اند.

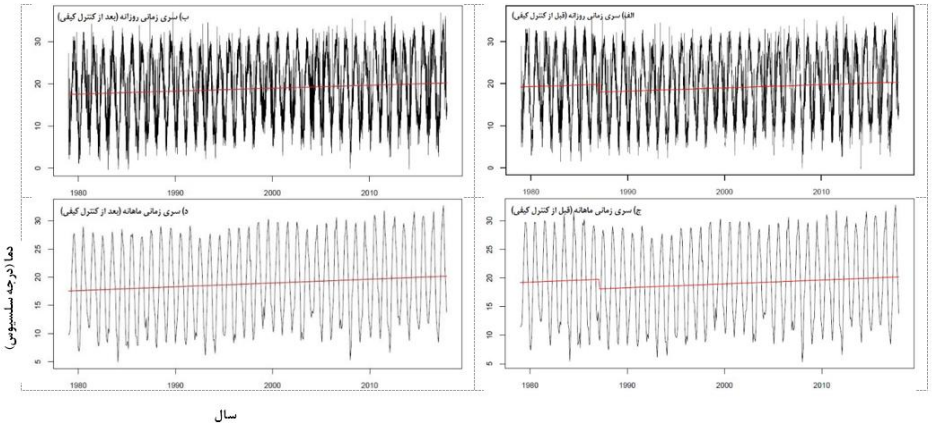


شکل ۵- کنترل کیفی پارامتر سرعت باد برای ایستگاه بندرانزلی

لذا در گام نخست، نقطه مشترک شناسایی شده توسط هر دو روش در دسامبر ۲۰۰۷ (جدول ۲) بعنوان نوسان غیر اقلیمی در داده‌ها پذیرفته شد. گام دوم اعتبارسنجی، بر اساس کارشناسی ماهیت فراسنج اقلیمی مورد بررسی در منطقه صورت گرفت. بطوریکه، بررسی شاخص‌های مرکزی، پراکندگی و گشتاوری سرعت باد در ایستگاه‌های مورد بررسی (با ضریب چولگی ۱.۷، ضریب کشیدگی ۵.۷ و ضریب تغییرات ۷۵ درصد) ، گویایی توزیعی چوله به راست، کشیده‌تر از حالت نرمال و دارای نوسان ماه به ماه نسبتا بالاست. بر این اساس، با مراجعه به سری زمانی، مشخص است که طی ماه‌های پایانی و آغازین سال بویژه دسامبر و ژانویه، سرعت و شدت بادها از مداومت بیشتری برخوردار است. گام نهایی بررسی نیز به مقایسه نتایج آزمون در ایستگاه‌های مجاور اختصاص یافته و در صورت تکرار نوسانات در ایستگاه‌های مجاور، الگوهای جوی حاکم در اطراف نقطه تغییر شناسایی شده به منظور آگاهی از دلایل هواشناختی آن، مورد واکاوی قرار گرفت. از این رو، بواسطه همخوانی شدت تغییر ایجاد شده با نوسانات سرعت باد منطقه طی بازه زمانی مورد نظر، غیر اقلیمی بودن نقطه تغییر شناسایی شده اکتبر ۲۰۰۵ در ایستگاه انزلی مورد تردید قرار گرفته و به‌عنوان نوسان اقلیمی پذیرفته شد. درحالیکه بررسی نقشه آنومالی سرعت باد در سایر نقاط تغییر، اقلیمی بودن آنها را تقریبا دور از انتظار نشان داد.

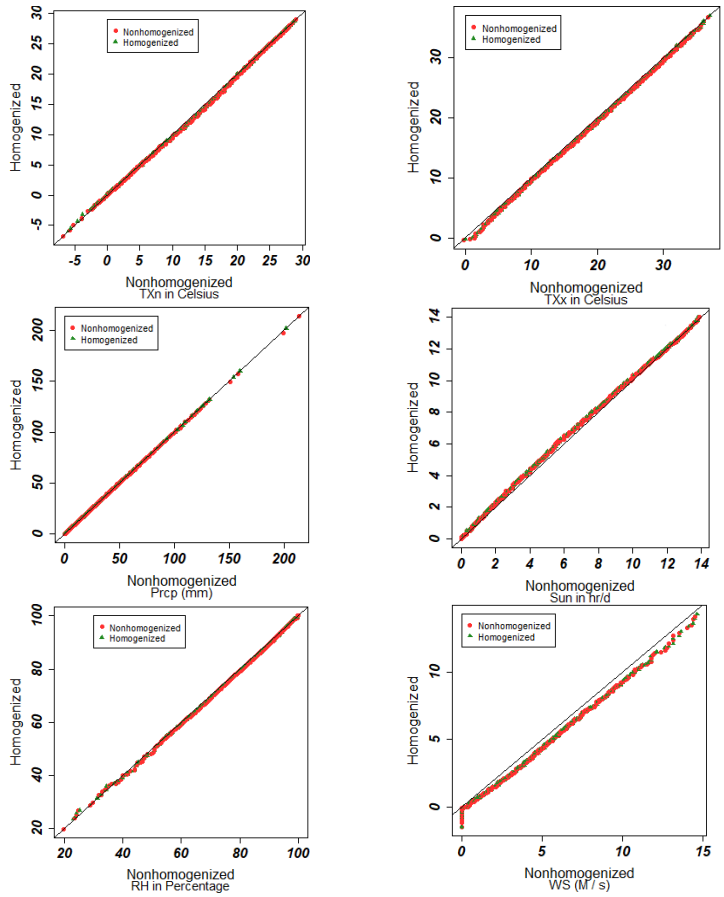
با در نظر گرفتن موارد مذکور و در صورت تأیید همه شرایط مورد نظر، نقطه تغییر شناسایی شده به‌عنوان نوسان غیر اقلیمی شناخته شده و بر این اساس، سری زمانی همگن‌سازی شد. در غیر این صورت، نقاط تغییر غیر اقلیمی مشکوک، به‌عنوان هشدار غلط در نظر گرفته و جهت جلوگیری

از احتمال ارائه نتایج گمراه کننده در پژوهش از لیست نقاط موجود، حذف شد. بر این اساس، کنترل کیفی داده‌های ماهانه و روزانه میانگین سرعت باد انزلی به ترتیب منجر به شناسایی ۴ و ۵ نقطه تغییر توسط بسته نرم‌افزاری RHtest شد که در مرحله پایانی، همگن‌سازی شد.



شکل ۶- کنترل کیفی پارامتر بیشینه دما برای ایستگاه بندرانزلی

نتایج گرافیکی کنترل کیفی بیشینه دمای ایستگاه انزلی با استفاده از آزمون F تاوانیده در شکل (۶) مشاهده می‌شود. نمودارهای ردیف بالا در این شکل، مربوط به داده‌های روزانه و نمودارهای پایین نیز مربوط به کنترل کیفی در مقیاس ماهانه است. همچنان که مشاهده می‌شود، در مرحله اول کنترل کیفی داده‌های ماهانه، ۱ نقطه تغییر شناسایی شده است که نقطه مذکور در سری زمانی روزانه نیز منعکس شده است. در حالی که بر اساس آزمون نرمال استاندارد، سری زمانی ماهانه داده‌های مذکور همگن تشخیص داده شده‌اند. بررسی دقیق این مسئله نشان داد که، آزمون نرمال استاندارد از حساسیت لازم جهت آشکارسازی نقطه تغییر بویژه در مناطق مرکزی سری زمانی مورد بررسی برخوردار نیست. بطورکلی در روش‌های کنترل کیفی و بازسازی داده‌های اقلیمی، با استفاده از یک سری روش‌های آماری، داده‌ها آنالیز و اصلاح می‌شوند. بنابر این، ممکن است داده‌های کنترل کیفی شده از داده‌های اصلی فاصله گرفته و به عبارتی ویژگی‌های آماری سری زمانی مورد بررسی تغییر کند. لذا در ادامه، ویژگی‌های آماری سری زمانی (شامل توزیع، روند و چندک‌ها) بعد از کنترل کیفی، بررسی و با داده‌های خام مقایسه شد. به منظور مقایسه توزیع آماری سری زمانی روزانه قبل و بعد از همگنی، از نمودار چندکی استفاده شد. داده‌های اولیه در این شکل با رنگ قرمز و داده‌های کنترل کیفی شده‌ی نهایی نیز با رنگ سبز مشخص شده است.



شکل ۷- نمودار چندکی مربوط ایستگاه بندر انزلی (Prcp: بارش، TXx: بیشینه دما، TXn: کمینه دما، WS: سرعت باد، RH: رطوبت نسبی، Sun: ساعات آفتابی)

به منظور اجتناب از طولانی شدن بحث، نمودار چندکی پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، بیشینه و کمینه دما و بارش مربوط به ایستگاه انزلی در شکل (۷) ارائه شده است. انطباق مناسب مقادیر مذکور در این شکل، حاکی از عملکرد مناسب روش‌های بازسازی و کنترل کیفی داده‌ها ضمن حفظ ماهیت اصلی آن‌ها است. همچنین جهت بررسی وجود یا عدم تغییر روند هر سری زمانی در اثر کنترل کیفی و بازسازی داده‌ها از آزمون من-کندال استفاده شد. آزمون مذکور برای داده‌های خام و نیز داده‌های همگن، قبل و بعد از بازسازی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اجرا شد. نتیجه آزمون من کندال در جدول (۵)، حاکی از تغییر جهت یا شدت روند سری زمانی ماهانه اغلب متغیرهای مورد بررسی بعد از همگن‌سازی داده‌ها است. برای مثال، سری زمانی بیشینه دمای ایستگاه انزلی پیش از انجام همگنی فاقد روند معنی‌دار بوده، درحالیکه همگن‌سازی داده‌ها منجر به آشکار شدن روند معنی‌دار افزایشی در این سری شد. متغیر رطوبت نسبی نیز در

ایستگاه‌های انزلی و و رامسر قبل از کنترل کیفی دارای روند منفی معنی‌دار نسبتا ضعیف بود که بعد از انجام همگنی فاقد معنی‌داری است.

جدول ۵- نتایج بررسی روند سری زمانه ماهانه در دوره مورد بررسی طی فرآیند همگن‌سازی و بازسازی بر اساس آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ایستگاه	پارامتر	داده‌های اولیه		روند پس از همگن‌سازی		روند پس از بازسازی	
		معنی‌داری	ضریب کندال	معنی‌داری	ضریب کندال	معنی‌داری	ضریب کندال
بندرانزلی	بارش	۰/۸۱۸	-۰/۰۰۷	۰/۸۱۷	-۰/۰۰۷	۰/۸۰۷	۰/۰۰۸
	بیشینه دما	۰/۲۴۲	۰/۰۳۶	۰/۰۰۵	۰/۰۸۷	۰/۰۰۷	۰/۰۸۴
	کمینه دما	۰/۰۱۷	۰/۰۷۴	۰/۰۱۷	۰/۰۷۴	۰/۰۱۴	۰/۰۷۶
	سرعت باد	۰/۰۰۰۱	۰/۵۲	۰/۰۰۰۱	۰/۴۶۳	۰/۰۰۰۱	۰/۴۸
	رطوبت نسبی	۰/۰۰۲	-۰/۰۹۵	۰/۲۲۸	-۰/۰۳۷	۰/۲۸	-۰/۰۳۳
	ساعات آفتابی	۰/۹۹۵	۰	۰/۴۱۰	-۰/۰۲۶	۰/۰۰۴	۰/۰۹
رشت	بارش	۰/۶۷۱	-۰/۰۱۳	۰/۶۷۱	-۰/۰۱۳	۰/۸۱۰	-۰/۰۰۷
	بیشینه دما	۰/۲۸۴	۰/۰۳۳	۰/۳۴۵	۰/۰۲۹	۰/۲۸۲	۰/۰۳۳
	کمینه دما	۰/۰۷۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۰۵	۰/۰۸۶
	سرعت باد	۰/۰۰۰۱	۰/۱۹۲	۰/۳۹۴	-۰/۰۲۶	۰/۲۱۷	۰/۰۳۸
	رطوبت نسبی	۰/۱	-۰/۰۵۱	۰/۲۵۳	-۰/۰۳۵	۰/۲۴۱	-۰/۰۳۶
	ساعات آفتابی	۰/۹۵۳	۰/۰۰۲	۰/۸۶۶	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۱۳۷
رامسر	بارش	۰/۵۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۶۶	۰/۰۵۷	۰/۰۰	۰/۱۱
	بیشینه دما	۰/۰۷۶	۰/۰۵۵	۰/۲۷۲	۰/۰۳۴	۰/۲۶۶	۰/۰۳۴
	کمینه دما	۰/۰۰۲	۰/۰۹۸	۰/۰۲۱	۰/۰۷۲	۰/۰۱۵	۰/۰۷۵
	سرعت باد	۰/۰۰۰۱	۰/۳۴۷	۰/۰۰۸	۰/۰۸۳	۰/۰۱۷	۰/۰۷۴
	رطوبت نسبی	۰/۰۰۰۱	-۰/۲۵۷	۰/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۶۹۳	-۰/۰۱۲
	ساعات آفتابی	۰/۳	۰/۰۳۲	۰/۳	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰۱	۰/۱۶۱

* رنگ‌بندی نشان دهنده سطح معنی‌داری است. (رنگ قرمز: فاقد معنی‌داری، رنگ زرد: معنی‌داری با عدم قطعیت، رنگ سبز: معنی‌دار)

مهم‌ترین تغییرات در روند داده‌ها مربوط به فراسنج باد بود، به نحوی که سری زمانی مذکور قبل از انجام همگنی، در هر سه ایستگاه دارای روند معنی‌دار است. این در حالی است که روند

افزایشی متغیر مذکور در ایستگاه انزلی بعد از همگن‌سازی همچنان حفظ شده، اما در ایستگاه‌های رامسر و رشت به ترتیب فاقد روند معنی‌دار و با تضعیف روند همراه است. بازسازی فراسنج اقلیمی ساعت آفتابی در ایستگاه‌های رشت و رامسر باعث ایجاد روند مثبت معنی‌دار غیر اقلیمی در سری زمانی مذکور شده است.

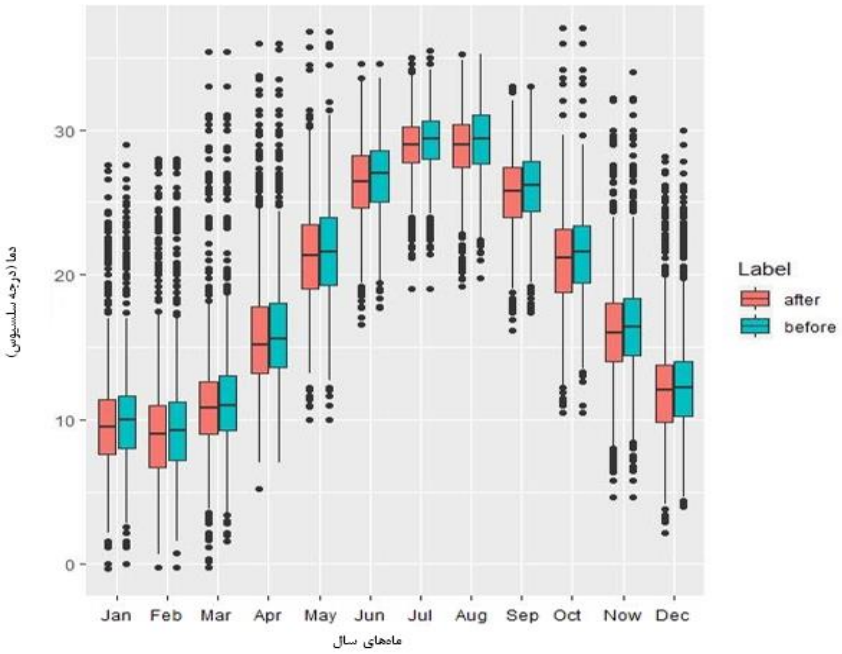
جدول ۶- نتایج آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد در بررسی نقاط تغییر سری زمانی روزانه در دوره مورد بررسی طی فرآیند همگن‌سازی و بازسازی

ایستگاه	پارامتر	داده‌های اولیه		روند پس از همگن‌سازی		روند پس از بازسازی	
		معنی‌داری	ضریب کندال	معنی‌داری	ضریب کندال	معنی‌داری	ضریب کندال
بندرانزلی	بارش	۰/۰۰	۰۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲
	بیشینه دما	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۴۸	۰/۰۰
	کمینه دما	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰
	سرعت باد	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۶
	رطوبت نسبی	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۲۰
	ساعات آفتابی	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۷
رشت	بارش	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲
	بیشینه دما	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۶	-۰/۰۱
	کمینه دما	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰
	سرعت باد	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۷
	رطوبت نسبی	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۵۶	۰/۰۰
	ساعات آفتابی	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۳
رامسر	بارش	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲
	بیشینه دما	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۹
	کمینه دما	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۰۰
	سرعت باد	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۶
	رطوبت نسبی	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱
	ساعات آفتابی	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳

* رنگ قرمز: فاقد معنی‌داری، رنگ زرد: معنی‌داری با عدم قطعیت، رنگ سبز: معنی‌دار

لذا همچنان‌که پیش‌تر نیز اشاره شد، در نظر گرفتن استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی در زمینه بازسازی داده‌های مفقود و انجام آزمون‌های همگنی باعث جلوگیری از نتایج گمراه‌کننده در تحقیقات خواهد شد. بررسی روند روزانه، با توجه به تغییرپذیری بالای داده‌ها در این مقیاس، با

پیچیدگی بیشتری همراه است. چرا که نوسانات روزانه فراسنج‌های اقلیمی، ممکن است منجر به ایجاد نویز در شناسایی روند شده و نتایج نهایی را تحت تاثیر قرار دهد. بر اساس جدول (۶)، مشخص‌ترین تغییر روند مربوط به متغیر اقلیمی رطوبت نسبی است که قبل از انجام همگنی در هر سه ایستگاه دارای روند معنی‌دار مثبت است؛ در حالی که روند مذکور بعد از همگن‌سازی، صرفا در ایستگاه انزلی دیده می‌شود و در سایر ایستگاه‌ها فاقد روند بوده و یا تضعیف شده است. عدم وجود روند معنی‌دار بعد از بازسازی داده‌ها، گویای عملکرد مناسب روش نزدیک‌ترین همسایگی K در بازسازی است.



شکل ۸- نمودار بیشینه دما ایستگاه انزلی قبل و بعد از همگن‌سازی

جهت بررسی میزان تغییرات ویژگی‌های آماری سری‌های زمانی دارای نقاط تغییر معنی‌دار، شاخص‌های مرکزی و پراکندکی آنها با داده‌های اولیه مورد مقایسه قرار گرفت. چندک‌ها و دامنه تغییرات دمای بیشینه روزانه انزلی قبل و بعد از همگنی به تفکیک ماه‌های مختلف سال، با استفاده از نمودار جعبه‌ای در شکل (۸) نشان داده شده است. بر این اساس، دامنه تغییرات مقادیر همگن شده، کمتر تحت‌تأثیرقرار گرفته است. به طوری که مقادیر کمینه دمای بیشینه در اغلب ماه‌های سال، به جز ماه‌های فوریه، مارس و دسامبر که دارای ۱/۸۲ درجه کاهش بودند، بدون تغییر باقی مانده‌اند. همچنین مقادیر بیشینه دمای بیشینه در ماه‌های ژانویه و جولای به ترتیب ۱.۱۹ و ۰.۲۶ درجه سلسیوس کاهش یافته و در بقیه ماه‌ها بدون تغییر بودند. بطور کلی، چارک اول و دوم بیشتر از چارک سوم تحت‌تأثیرقرار گرفته و در مجموع،

مقادیر آنها پس از همگن‌سازی کاهش یافته‌اند. بیشترین کاهش چارک اول و دوم به ترتیب در ماه‌های هفتم (۰/۵۶ کاهش) و ششم (۰/۷۶ کاهش) اتفاق افتاده است. در مجموع، با وجود روند مثبت معنی‌دار بیشینه دمای انزلی، بررسی شاخص‌های مرکزی و پراکندگی آن بیان‌گر کاهش میانگین بیشینه دما در اثر فرآیند همگن‌سازی توسط RHtest بود.

نتیجه‌گیری

باتوجه به ضرورت مدل‌سازی و همچنین نیاز به برآورد دقیق‌تر روند تغییرات احتمالی فراسنج‌های بلندمدت اقلیمی تحت‌تأثیر پدیده گرمایش جهانی، امروزه استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه و ساعتی به‌جای مقادیر ماهانه و سالانه در علوم مختلف، گسترش بیشتری یافته است. از این رو کنترل کیفی و همگن‌سازی داده‌ها به‌عنوان مهم‌ترین منبع عدم قطعیت در تحقیقات پیش‌رو به منظور کاهش عدم قطعیت نتایج، از اهمیت بسزایی برخوردار است. علی‌رغم وجود ایستگاه‌های متعدد سنجش متغیرهای هواشناسی در کشور (شامل ایستگاه‌های همدید، اقلیم‌شناسی و کشاورزی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو در کنار ایستگاه‌های سازمان انرژی‌های نو و غیره)، متاسفانه اغلب به دلیل وجود داده‌های مفقود متوالی، کوتاه بودن طول دوره آماری و عدم دسترسی به فراداده مناسب، برای اهداف اقلیمی قابل استفاده نیستند. لذا، بکارگیری روش‌های بازسازی و همگنی داده‌ها در این زمینه ضرورت می‌یابد. از این رو، فراسنج‌های اقلیمی (بارش، دماهای حدی، میانگین سرعت باد و ساعت آفتابی) ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت و رامسر با بکارگیری الگوریتم بیشینه T و F تاوانیده در بسته نرم‌افزاری RHtest، مورد آزمون کنترل کیفی قرار گرفتند. در فرایند انجام تحقیق، با بکارگیری دستورالعمل‌ها و استانداردهای سازمان هواشناسی جهانی جهت شناسایی منابع احتمالی ایجاد ناهمگنی در سری زمانی، تلاش شد تا حد ممکن از عدم قطعیت آن کاسته شود.

نتایج مرحله اول کنترل کیفی، حاکی از ناهمگنی اغلب فراسنج‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی بود که در مجموع به شناسایی ۳۲ نقطه تغییر در سری زمانی روزانه منجر شد. به منظور اعتبار سنجی روش مذکور، نتایج بدست آمده از این روش در مقیاس ماهانه، با خروجی آزمون نرمال استاندارد مقایسه شد. مقایسه نتایج، نشان داد که آزمون نرمال استاندارد در شناسایی نقاط تغییر غیر اقلیمی از حساسیت کمتری برخوردار است که با نتایج بدست آمده از مطالعه وانگ و همکاران (2007) همخوانی دارد. پس از بازسازی داده‌های مفقود به روش نزدیک‌ترین همسایگی K، همگنی داده‌ها مجدد مورد آزمون قرارگرفت. مجموعا، ۸ نقطه از نقاط تغییر غیر اقلیمی شناسایی شده در مرحله اول، از طریق همگن‌سازی به این روش برطرف نشد. پس از بازبینی و مقایسه داده‌های همگن شده و داده‌های اصلی مشخص شد که نقاط تغییر مشاهده شده در این مرحله، بواسطه وجود داده‌های مفقود متوالی در سری زمانی و عدم رعایت استانداردهای هواشناسی جهانی در بازسازی داده‌ها ایجاد شده است. بررسی نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی نقاط تغییر شناسایی شده در مرحله اول و دوم کنترل کیفی، مربوط به

بازه زمانی ۱۹۷۹-۱۹۸۹ است. مقایسه تاریخ نقاط تغییر و متادیتای ایستگاه‌های مورد بررسی، در مواردی حاکی از عدم تطابق تاریخ نقاط تغییر با فراداده موجود (اظهارات شفاهی کارشناسان سازمان هواشناسی) بود. بنابراین، فراداده مستندی مبنی بر انطباق نقاط تغییر مشاهده شده با جابجایی(های) انجام شده یافت نشد و نتایج بدست آمده با یافته‌های پژوهش انجام شده توسط خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) بویژه در مورد دماهای کمینه همخوانی ندارد. در این صورت، مواردی که توسط هر دو روش مورد استفاده برای داده‌های ماهانه (آزمون نرمال استاندارد و الگوریتم بیشینه F تاوانیده) بعنوان نقطه تغییر تشخیص داده شدند، نقطه تغییر غیر اقلیمی معرفی شده و داده‌ها بر این اساس همگن سازی شدند. چرا که در فراداده گزارش‌شده از سازمان هواشناسی، صرفا به تغییرات مکانی ایستگاه‌ها اشاره شده بود؛ در حالیکه عوامل متعددی نظیر تغییر سنجنده‌ها، تغییر اپراتور و دقت وی، تغییر شرایط محیطی ایستگاه از جمله ساخت و ساز، تغییر پوشش گیاهی و غیره ممکن است همگنی سری زمانی را تحت‌الشعاع قرار دهد. به منظور بررسی نتایج حاصل از کنترل کیفی داده‌ها، از شاخص‌های مرکزی، پراکندگی، گشتاوری و همچنین نمودار چندکی و آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. نتایج نهایی، حاکی از عملکرد قابل قبول الگوریتم‌های بیشینه T و F تاوانیده بود که ضمن همگن‌سازی، ماهیت سری زمانی را تغییر نداده اما منجر به تغییر و آشکارسازی روند در برخی پارامترها مثل بیشینه دما، سرعت باد و رطوبت نسبی شد.

این یافته با نتایج حاصل از مطالعه انجام شده توسط رفعتی و کریمی (۱۳۹۷) همخوانی دارد. میزان داده‌های مفقود فرایند همگن‌سازی و بازسازی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. چنانچه پارامتر ساعات آفتابی هر سه ایستگاه که دارای بیشترین میزان داده مفقود بود در نهایت همگن نشده و بازسازی داده‌ها نیز منجر به تغییر روند معنی دار سری زمانی شد. نتایج این بررسی نشان داد غالبا ویژگی‌های آماری داده‌ها بعد از بازسازی و همگن‌سازی، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اگرچه در صورت عدم رعایت استانداردها ممکن است نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه داشته باشند، اما در صورت اصلاح نقاط تغییر غیر اقلیمی سری زمانی می‌تواند نقش موثری در کاهش عدم قطعیت آنها ایفا نماید. برای این منظور، ایجاد بانک اطلاعاتی فراداده توسط سازمان هواشناسی کشور که امکان دیجیتالی کردن فراداده‌ها را فراهم کند، گام مثبتی در راستای کاهش عدم قطعیت کنترل کیفی داده‌هاست. چرا که تاریخچه هر ایستگاه می‌تواند بهترین راهنما برای قضاوت در مورد اهمیت و تاریخ احتمالی وقوع نقاط تغییر و پیش‌بینی تأثیر آن بر روند (افزایش یا کاهش) مقادیر پارامتر ها باشد.

منابع

اوجی، روح‌اله (۱۳۹۲). تحلیل عدم قطعیت روش‌های تک ایستگاهی و چند ایستگاهی در ریزگردانی مقادیر حدی دما و بارش غرب میانی ایران. رساله دکتری، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس. ص ۲۱۲ .

بازگیر، سعید؛ عباسی، فائزه؛ اسعدی اسکویی، ابراهیم؛ حقیقت، مسعود و رضازاده، پرویز (۱۳۹۸). تحلیل همگنی داده های دما و بارش در ایران با رویکرد اقلیمی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱(۶): ص ۷۰-۵۱.

خورشیددوست، علی‌محمد؛ رسولی، علی‌اکبر؛ سلاجقه، علی و نساجی زواره، مجتبی (۱۳۹۵). ارزیابی همگنی سری‌های زمانی دمای بیشینه و کمینه سالانه و فصلی (مطالعه موردی ناحیه خزر). *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۷(۲۰): ص ۱۴۹-۱۳۳.

رحیم‌زاده، فاطمه؛ هدایت دزفولی، اکرم و پوراصغریان، آرزو (۱۳۹۰). ارزیابی روند و جهش نمایه های حدی دما و بارش در استان هرمزگان. *مجله جغرافیا و توسعه*. ۲۱: ص ۱۱۶-۹۷.

رحیم‌زاده، فاطمه و نساجی‌زواره، مجتبی (۱۳۹۳). روند و تغییرپذیری دما در ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ پس از تعدیل ناهمگنی‌های غیرطبیعی موجود در داده ها. *نشریه تحقیقات جغرافیایی*، ۴(۲۹)، (پیاپی ۱۱۵): ص ۱۹۶-۱۸۱.

رضازاده‌جودی، علی و ستاری، محمدتقی (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف در بازسازی داده‌های بارش ماهانه. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال ۱۶، شماره ۴۲، ص ۱۷۶-۱۵۵.

رفعتی، سمیه و کریمی، مصطفی (۱۳۹۷). بررسی همگنی داده‌های اقلیمی و روند تغییر دما، *فیزیک زمین و فضا*، شماره ۱، ص ۲۱۴-۱۹۹.

ستاری، محمدتقی و رضازاده جودی، علی (۱۳۹۷). مدل‌سازی رواناب ماهانه با استفاده از روش‌های داده‌کاوی براساس الگوریتم‌های انتخاب ویژگی. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۴(۷): ص ۵۴-۳۹.

قاجارنیا، نوید؛ لیاقت، عبدالمجید و دانش‌کارآراسته، پیمان (۱۳۹۳). صحت‌سنجی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های غیرثبات سازمان هواشناسی و تماب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۱(۴): ص ۱۰۹-۹۱.

کوهی، منصوره؛ موسوی بایگی، محمد؛ فریدحسینی، علیرضا؛ ثنایی‌نژاد، سید حسین و جباری‌نوقابی، هادی (۱۳۹۱). ریزمقیاس‌نمایی آماری و ارایه سناریوهای آتی رویدادهای حدی بارش در حوضه کشف رود. *نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۳(۱۲): ص ۵۳-۳۵.

Aguilar, E., P. Llanso (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. WMO.

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. International Journal of Climatology, 6: 661–675.

Cao, L.J., Z.W. Yan (2012). Progress in research on homogenization of climate data. Adv. Clim. Change Res., 3(2), doi: 10.3724/SP.J.1248.2012.00059.

Conrad, V., L.W. Pollak (1950). *Methods in climatology* (No. QC981 C714 1950).

Costa, A.C., A. Soares (2009). Homogenization of climate data: review and new perspectives using geostatistics. Math. Geosci. 41 (3): 291–305, from https://doi.org/10.1007/s11004-008-9203-3.

Gower, J.C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics, pp. 857–871.

Helsel, D.R., R.M. Hirsch (2002). *Statistical methods in water resources* (Vol. 323). Reston, VA: US Geological Survey.

https://www.climate.gov/maps-data/climate-data-primer/how-do-weather-observations-become-climate-dataKendall, M.G. (1938). A new measure of rank correlation: Biometrika 30: 81-93.

Kendall, M.G. (1975). Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London, 202 p.

Kowarik.A., M. Templ (2016). Imputation with the R Package VIM. Journal of Statistical Software, Volume 74, Issue 7. doi: 10.18637/jss.v074.i07.

Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. Econometrica, 13: 245-259.

Marcolini, G.; A. Bellin, and G. Chiogna. 2017. Performance of the Standard Normal Homogeneity Test for the homogenization of mean seasonal snow depth time series. International Journal of Climatology, 37: 1267-1277.

Peterson, T.C. (2013). Introduction to Quality Control, Nanjing Workshop, Nanjing University, China, 6 March.

Peterson, T.C., D.R. Easterling, T.R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok. I. Auer, R. Boehm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O. Mestre, T. Szentimrey J. Salinger, E.J. Førland, I.H. Bauer, H. Alexandersson, P. Jones, D. Parker (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. Int. J. Climatol., 18: 1493-1517.

Rahimzadeh, F., M. Nassaji Zavareh (2014). Effects of adjustment for non-climatic discontinuities on determination of temperature trends and variability over Iran. Int. J. Climatol. 34: 2079–2096.

Ribeiro, S., J. Caineta, A.C. Costa (2015). Review and discussion of homogenization methods for climate data. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 94, 167-179.

Si. P., Ch. Luo, D. Liang (2018). Homogenization of Tianjin monthly near surface wind speed using RHtestsV4 for 1951–2014. Theor Appl Climatol, 132: 1303–1320.

Szentimrey, T., L. Hoffmann, M. Lakatos (2017). Abstract book. 9th Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and 4th Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology. Hungarian Meteorological Service (OMSZ), Budapest. ISBN 978-963-7702-96-9

Tsinko, Y., A. Bakhshaii, E.A. Johnson, E.Y. Martin (2018). Comparisons of fire weather indices using Canadian raw and homogenized weather data. Agricultural and Forest Meteorology, 262: 110–119.

Venema, V.K.C., O. Mestre, E. Aguilar, I. Auer, J.A. Guijarro, P. Domonkos, et al., (2012). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. Climate Past, 8 (1): 89–115.

Vincent, L.A., X.L. Wang, E.J. Milewska, H. Wan, F. Yang, V. Swail (2012). A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis. J. Geophys. Res.: Atmos. 117 (D18110). https://doi.org/10.1029/2012JD017859.

Wang, X.L. (2008a). Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. J. Appl. Meteorol. Climatol. 47 (9): 2423–2444.

Wang, X.L. (2008b). Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. J. Atmos. Oceanic Tech., 25 (No.3), 368-384. DOI:10.1175/2007/JTECHA982.1.

Wang, X.L., H. Chen, Y. Wu, Y. Feng, Q. Pu (2010). New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. J. Appl. Meteorol. Climatol. 49(12): 2416–2436. https://doi.org/10.1175/2010JAMC2376.1.

Wang, X.L., Q.H. Wen, Y. Wu (2007). Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. J. Appl. Meteor. Climatol., 46: 916–931, https://doi.org/10.1175/JAM2504.1

Wang, X.L., Y. Feng (2015). Overview of the RHtests_dlyPrcp software package for homogenization of daily precipitation. EMS 2015, Sofia, Bulgaria, 7-11.

WMO (2003). Global ozone research and monitoring project, in Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Rep. 47, Geneva.

WMO (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 7th Ed., WMO No. 8, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO (2002). Scientific assessment of ozone depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report no. 47. World Meteorological Organization.

Yozgatligil, C., C. Yazici (2016). Comparison of homogeneity tests for temperature using a simulation study. Int. J. Climatol. 36: 62–81.