

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و هشتم، زمستان ۱۳۹۷

صص ۸۹-۱۰۹

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.67984>

## روند وردایی فرین‌های اقلیمی براساس شاخص‌های ترکیبی تغییر اقلیم در گستره ایران

حسین اسماعیلی - کارشناس ارشد آب‌وهوا شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

احمد روشنی<sup>۱</sup> - دکتری آب‌وهوا شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علیرضا شکبیا - دانشیار سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

فاطمه پرک - دکتری آب‌وهوا شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۷/۶/۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲۳/۷

### چکیده

تغییرات آب‌وهوایی و گرمایش جهانی اثرات بسیار زیادی بر جوامع و بوم سامانه‌ها دارد. شناسایی حوادث فرین آب‌وهوایی در مقیاس مکانی و زمانی، به‌منظور برنامه‌ریزی جهت کاهش آثار سوء و افزایش استراتژی‌های انطباق بسیار حائز اهمیت است. استفاده از شاخص‌های ترکیبی شناخت بهتری از وضعیت روند تغییرات آب‌وهوایی را ارائه می‌دهد. لذا مجموعه‌ای از شاخص‌های ترکیبی ارائه شده توسط گروه بین‌المللی ارزیابی آب‌وهوایی اروپا (ECA&D)، به‌منظور ترسیم بهتر روند فرین‌های آب‌وهوایی در گستره ایران استفاده شده است. بر این اساس داده‌های روزانه ۴۷ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ استخراج و مورد آنالیز قرار گرفت. در این پژوهش شاخص‌های سرد-خشک، سرد-مرطوب، گرم-خشک، گرم-مرطوب، شاخص اقلیم گردشگری و شاخص جهانی حرارتی محاسبه شده است. نتایج این پژوهش نشان دهنده رخداد تغییر اساسی در رفتار مقادیر فرین ترکیبی دما و بارش در سه دهه گذشته است. کاهش در فراوانی حالت‌های سرد و افزایش در فراوانی حالت‌های گرم در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها دیده می‌شود. همچنین، شاخص جهانی دما نیز نشان دهنده افزایش معنی دار فراوانی روزهای با تنش گرمای شدید ( $32-38^{\circ}C$ ) و کاهش معنادار فراوانی روزهای بدون تنش گرمایی ( $9-26^{\circ}C$ ) است که در مقایسه با سایر شاخص‌های ترکیبی دما و بارش از پیوستگی فضایی مناسبی در سطح ایران برخوردار است. روند شاخص اقلیم گردشگری (TCI)، شامل دو زیر مجموعه، تعداد روزهای با  $TCI \geq 60$  و تعداد روزهای با  $TCI \geq 80$  نیز تغییرات مشابهی دارد و پیوستگی ضعیف‌تری را در سطح کشور نشان می‌دهد. بیشینه وردایی معنادار فرین‌های ترکیبی در بخش‌های شمال‌غربی کشور دیده

می‌شود که می‌تواند در برنامه‌ریزی برای کاهش آثار سوء و افزایش سازگاری در کشور مورد توجه قرار گیرد.

**کلیدواژه‌ها:** وردایی و تغییر اقلیم، شاخص‌های ترکیبی، ایران.

#### ۱- مقدمه

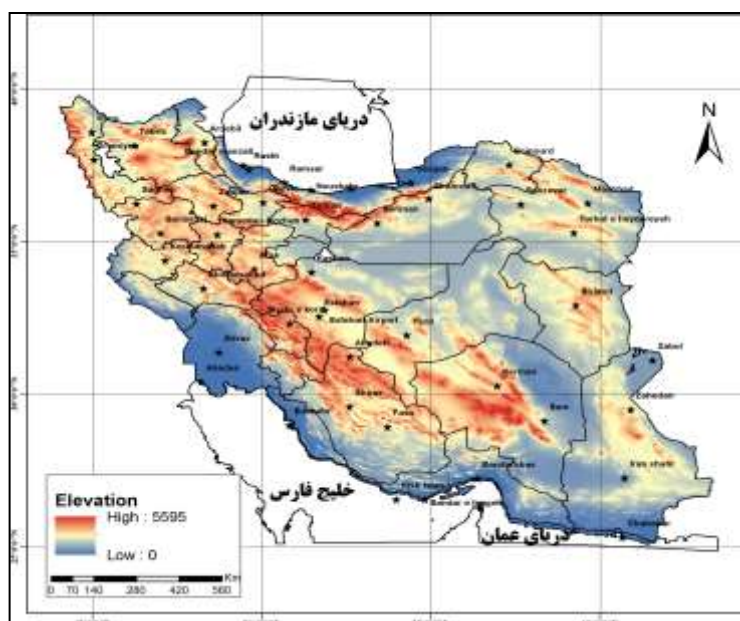
تغییر اقلیم به عنوان یک چالش جهانی است که اثرات آن در مقیاس محلی و بر اساس ویژگی‌های مکانی هر منطقه متفاوت است (Leonard et al., 2014; Filho et al., 2016). در چند دهه گذشته، در بسیاری از نقاط جهان افزایش میانگین دما به یک روند عادی تبدیل شده است. نرخ افزایش دما در سطح خشکی‌ها نسبت به سطح اقیانوس‌ها در هر دو نیمکره بسیار سریعتر بوده است (IPCC, 2007). بیشینه گرمایش سطح زمین از سال ۱۸۵۰ میلادی تاکنون در سه دهه گذشته دیده شده است. در ۱۴۰۰ سال گذشته، دوره ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۲ گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله در نیمکره شمالی بوده است. روند خطی میانگین داده‌های سطح زمین و اقیانوس نشان دهنده افزایش دمای بین ۰/۸۵ تا ۲ درجه سلسیوس در طول دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۸۸۰ است (IPCC, 2013). نحوه برنامه‌ریزی و عملکرد زیرساخت‌های جوامع بشری در ارتباط با غذا، آب، انرژی، مسکن و حمل و نقل به مقادیر فرین متغیرهای هواشناسی بستگی دارد (WMO, 2009). اثرات اقتصادی تغییرات و وردایی فرین‌های آب‌وهوایی و حوادث اقلیمی شدید، به عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های بشر در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی است (CCSP, 2008). گرمایش جهانی باعث افزایش بزرگی و شدت رخدادهای شدید آب‌وهوایی در مناطق مختلف زمین همانند خشکسالی، امواج گرما، سیلابهای گرمسیری، سیل و آتش‌سوزی شده است (Alexander et al., 2005; Leonard et al., 2014; AghaKouchak et al., 2014; Filho et al., 2016; Hao et al., 2013). پیش‌بینی پدیده‌های فرین آب‌وهوا بر اساس شاخص‌های دما و بارش در گزارش پنجم IPCC، نشان دهنده افزایش تعداد و شدت دوره‌های خشک و گرم است (Hao et al., 2013). وابستگی بین بارش و دما، عمدتاً به دلیل روابط ترمودینامیکی بین این دو متغیر، در مطالعات گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Hao et al., 2013). شاخص‌های وردایی و فرین‌های آب‌وهوایی اغلب برای ارزیابی وضعیت آب‌وهوایی یک منطقه بر اساس آستانه‌های مشخص فیزیکی برای یک دوره بلند مدت استفاده می‌شوند (Zhang et al., 2011). هدف اصلی از تجزیه و تحلیل فرین‌ها اغلب توصیف وضعیت ترازمندی و تغییرات سامانه آب‌وهوا، برای یافتن توازن مطلوب در برنامه‌های کلان برای اتخاذ استانداردهای ایمنی بالا و جلوگیری از خسارت عمده به جوامع و بوم سامانه‌ها در اثر حوادث شدید است (WMO, 1983). تأثیر این حوادث می‌تواند ناشی از یک متغیر تنها در یک حالت فرین باشد، اما در بیشتر مواقع رخداد پدیده نتیجه عملکرد ترکیبی از متغیرها است که همه آن‌ها ضرورتاً فرین نیستند (Leonard et al., 2014) ترکیبی از متغیرهایی که منجر به رخداد یک اثر شدید در سامانه

آب‌وهوا می‌شوند، به یک رویداد ترکیبی اشاره دارد (Beniston, 2011). شاخص‌های ترکیبی در مطالعات اخیر براساس مقادیر مشترک دما و بارش در شرایط آب‌وهوایی سرد/خشک، سرد/مرطوب، گرم/خشک و گرم/مرطوب تعریف شده‌اند (Beniston et al., 2009; Lopez-Moreno et al., 2011; Hao et al., 2013; Arsenovic et al., 2013). ترکیب حالت‌های مذکور نشان دهنده رخداد تغییری سیستماتیک در همه مکان‌های مورد مطالعه است. کشور ایران نیز به لحاظ شرایط خاص جغرافیایی و قرار گرفتن بخش اعظم آن در ساختار شکننده کمربند بیابانی به شدت از وردایی و تغییرات آب‌وهوایی متأثر می‌باشد. بر این اساس، آگاهی از رخداد وردایی و تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آنها، به‌منظور برنامه‌ریزی جهت مدیریت ریسک در ارتباط با جوامع، بوم سامانه‌ها و زیرساخت‌ها از طریق استراتژی‌های سازگاری و کاهش آثار سوء تغییر اقلیم ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در دهه‌های اخیر اغلب تحلیل‌های بلند مدت تغییر اقلیم بر اساس تمرکز بر وردایی داده‌های دما، بارش و تغییرات در میانگین آنها صورت گرفته است. بیشتر این مطالعات از جمله: Rahimzadeh et al., 2009; Tabari et al., 2011; Parak et al., 2015. بر شاخص‌های فرین منفرد بارش و دما تاکید داشته‌اند و در زمینه سایر شاخص‌های ترکیبی عناصر اقلیمی بررسی علمی صورت نگرفته است. بنابراین، هدف این پژوهش استفاده از مقادیر مشترک و شاخص‌های ترکیبی دما و بارش و سایر متغیرهای آب‌وهوایی، به‌منظور ارائه یک دید کلی نسبت به رفتار حالت‌های خاصی از گرما و رطوبت است که تجزیه و تحلیل آمار هر متغیر به طور جداگانه نمایانگر این دید نمی‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

محدوده فضایی این مطالعه گستره کشور ایران از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۲ درجه شرقی است. به‌منظور بررسی وردایی و تغییر آب‌وهوا براساس شاخص‌های ترکیبی، ۴۷ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (جدول ۱) با پراکنش مناسب در مناطق مختلف آب‌وهوایی (شکل ۱) انتخاب شد. داده‌های دما و بارش روزانه برای این ایستگاه‌ها در دوره آماری سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO)<sup>۱</sup> دریافت شده است. در این راستا سعی شد که در دوره زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۵ بیشترین ایستگاه‌های ممکن که دارای اطلاعات قابل اعتماد، سری زمانی مداوم و همچنین پراکنش نسبتاً مناسب در سطح کشور می‌باشند را مورد بررسی قرار دهیم، به طوری که در تیپ‌های اقلیمی مختلف در کشور حداقل یک ایستگاه در نظر گرفته شود. همچنین، ایستگاه‌هایی دارای داده‌های غیر قابل اعتماد و ناهمگن و یا ایستگاه‌هایی که نیاز به بازسازی داده داشتند حذف گردیدند. به طور مثال ایستگاه دزفول دارای سری زمانی نامناسب و ناهمگن و یا ایستگاه قم که دارای بیش از ۲۵ درصد نقصان داده در این بازه زمانی می‌باشد از مطالعه حذف گردیدند. با لحاظ تمام موارد فوق مجموعاً ۴۷ ایستگاه برای این مطالعه انتخاب شد.

1 IRAN Meteorological Organization



شکل ۱- پراکنش ۴۷ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در سطح کشور

#### ۱-۲- روش شناسی

#### ۱-۱-۲ کنترل کیفی و همگن سازی داده‌ها

به دلیل اهمیت مطالعات تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی جهانی تاکید بر کنترل کیفیت و همگنی داده‌ها قبل از انجام مطالعات دارد (WMO, 2009). از مهمترین عوامل ناهمگنی داده‌ها می‌توان به تغییر در شیوه‌های مشاهده شامل تغییر زمان مشاهده و تغییر در نوع ابزار هواشناسی، تغییر موقعیت ایستگاه، فرمول مورد استفاده برای محاسبه و تغییر در پردازش داده‌ها اشاره کرد (WMO, 2011; Wang et al., 2007; Vincent et al., 2012; Fan & Chen, 2016). در ایران اغلب مطالعات آشکارسازی روند شاخص‌های حدی در تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر براساس مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی انجام شده است. با توجه به اینکه این اندازه‌گیری‌ها معمولاً با خطا و یا محدوده‌هایی از عدم قطعیت همراه هستند (Rahimzadeh et al., 2009)، به همین دلیل سری‌های اقلیمی مورد نظر دچار ناهمگنی به صورت جهش ناگهانی و غیرطبیعی و انحرافات زیادی از واقعیت‌ها در نتایج مربوطه و تفسیرهای غیرواقعی از آنها در مطالعات اقلیمی گردیده است. در این مطالعه، فرایند بررسی کنترل کیفی داده‌ها در برنامه ClimPACT انجام گردید. این برنامه در اولین اجرا مقادیر غیر منطقی از دما و بارش، همچون مقادیر بارش منفی روزانه، کمتر بودن حداکثر درجه حرارت روزانه نسبت به حداقل درجه حرارت روزانه را مشخص می‌کند. همچنین داده‌های پرت شناسایی می‌شود. شایان ذکر است که هر داده پرت بالقوه را می‌توان با استفاده از اطلاعات روز قبل و بعد از این رویداد همراه با دانش تخصصی در مورد شرایط آب‌وهوایی محلی ارزیابی کرد (Alexander et al., 2013). کنترل

کیفی سایر متغیرهای آب‌وهوایی مانند رطوبت، ساعات آفتابی و سرعت باد بوسیله روش‌های آماری در برنامه SPSS انجام شد. در صورت عدم وجود ایستگاه مرجع برای تشخیص ناهمگونی در سریهای زمانی اقلیمی از آزمون  $f$  استفاده می‌شود (WMO, 2011; Wang, 2008; Wang & Fan, 2013). بنابراین در این پژوهش با استفاده از روش حداکثر مجاز  $f$  (PMF)<sup>۱</sup>، همگنی ماهانه داده‌های دما، بارش و سایر متغیرهای هواشناسی با استفاده از نرم افزار RH-test نسخه ۵، بررسی شده است. سپس بر اساس نمودارهای ترسیمی، در صورت عدم وجود جهش در روند سری زمانی، آن سری همگن و در صورت وجود تغییرات مربوط به عوامل ناهمگنی، سری زمانی ناهمگن فرض شده است (Wang & Fan, 2013).

### ۲-۱-۲- شاخص‌های ترکیبی

هدف نمایه‌های تغییر اقلیم به تصویر کشیدن پراکنش زمانی و مکانی تغییر اقلیم می‌باشد. شاخص‌های ترکیبی، مجموعه‌ای از شاخص‌های آماری هستند که می‌توانند طیف وسیعی از ویژگی‌های آب‌وهوا را پوشش دهند و وردایی و تغییرات در شرایط آب‌وهوا را تشخیص دهند. در مطالعه حاضر از ۷ شاخص ترکیبی استفاده شده است که تعاریف آنها در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- لیست شاخص‌های حدی ترکیبی انتخاب شده در این مطالعه (ECA&D)

واحد	تعریف	نام شاخص	
روز	تعداد روزهای با دمای میانگین کمتر از صدک ۲۵ ام میانگین دمای روزانه و بارش کمتر از صدک ۲۵ ام مجموع بارش روزانه	روزهای سرد/خشک	
روز	تعداد روزهای با دمای میانگین کمتر از صدک ۲۵ ام میانگین دمای روزانه و بارش بزرگتر از صدک ۷۵ ام مجموع بارش روزانه	روزهای سرد/مرطوب	
روز	تعداد روزهای با دمای میانگین بزرگتر از صدک ۲۵ ام میانگین دمای روزانه و بارش کمتر از صدک ۲۵ ام مجموع بارش روزانه	روزهای گرم/خشک	
روز	تعداد روزهای با دمای میانگین بزرگتر از صدک ۷۵ ام میانگین دمای روزانه و بارش بزرگتر از صدک ۷۵ ام مجموع بارش روزانه	روزهای گرم/مرطوب	
روز	توضیحات مربوطه در بخش روش شناسی اشاره شده است	میانگین شاخص جهانی حرارتی	
روز	تعداد روزهایی که شاخص اقلیم گردشگری بزرگتر یا مساوی ۶۰ باشد	TCI60	میانگین اقلیمی توریسم
روز	تعداد روزهایی که شاخص اقلیم گردشگری بزرگتر یا مساوی ۸۰ باشد	TCI80	

1 penalized maximal F

چهار ترکیب آب‌وهوایی، سرد-خشک (دمای پایین / بارش کم)، سرد-مرطوب (دمای پایین / بارش زیاد)، گرم-خشک (دمای بالا / بارش کم) و گرم-مرطوب (دمای بالا / بارش زیاد) به عنوان ترکیب مقادیر دما بارش لحاظ می‌شود (ECA&D, 2013). بر اساس گزارش IPCC (2007) مقادیر ۱۰ و ۹۰ درصد به عنوان حوادث فرین معرفی شده است لیکن به منظور قرارگیری طیف وسیع تری از رویدادهای حدی مقادیر در اینجا مقادیر ۲۵ و ۷۵ درصد از داده‌های دما و بارش به عنوان آستانه‌های شاخص‌های ترکیبی دما و بارش در نظر گرفته شده است.

شاخص جهانی حرارتی (UTCI)<sup>۱</sup> شاخص ترکیبی دیگری است که به بیان تفاوت‌های جزئی در شدت محرک‌های هواشناسی می‌پردازد. برای اندازه‌گیری اثرات ترموفیزیولوژیکی محیط جوی در بیومترولوژی انسان، شاخص UTCI توسط COST 730 توسعه داده شده است. هدف اصلی این شاخص ارائه یک مدل ارزیابی فیزیولوژیکی محیط زیستی می‌باشد تا برنامه‌های مربوط به سلامت و رفاه را در زمینه خدمات آب‌وهوای عمومی، سیستم بهداشت عمومی، طرح‌های پیشگیرانه و تحقیق اثرات آب‌وهوایی افزایش دهد (Broede et al., 2012).

برای محاسبه UTCI، از داده‌های میانگین روزانه سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و میانگین دمای تابشی (MRT) استفاده می‌شود. در همین راستا مدت زمان ساعت آفتابی به منظور تخمین تابش مستقیم خورشیدی (RS) (که به عنوان ورودی برای میانگین دمای تابشی مورد نیاز است)، مورد استفاده قرار گرفت و رطوبت نسبی به منظور برآورد فشار بخار آب بر اساس مقادیر حداکثر و حداقل دمای روزانه استفاده گردید (Lemke & Kjellstrom, 2012). میانگین دمای تابشی (MRT) از دمای هوا، دمای جهانی و سرعت باد محاسبه گردید.

دمای جهانی از مقدار تابش مستقیم خورشیدی (RS) بدست می‌آید و اگر RS را نداشته باشیم، می‌توان آن را با فرمول آنگستروم محاسبه کرد (۱):

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad (1)$$

در جایی که داده‌های تابش خورشیدی واقعی در دسترس نیستند و هیچ کالیبراسیون انجام نشده است، برای پارامترهای  $a_s$  و  $b_s$  به ترتیب مقادیر ۰,۲۵ و ۰,۵۰ توصیه می‌شود (FAO, 1998). در این معادله  $n$ ، زمان واقعی تابش آفتاب [ساعت] و  $N$ ، حداکثر مدت ممکن ساعات آفتابی در روز [ساعت] است. پارامتر حداکثر مدت ممکن ساعات آفتابی در روز ( $N$ ) و زاویه ساعت غروب آفتاب  $\omega_s$ ، به ترتیب از معادله ۲ و ۳ محاسبه می‌شود:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (2)$$

$$\omega_s = ar \cos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (3)$$

1 Universal Thermal Climate Index

عرض جغرافیایی  $\varphi$ ، که به صورت رادیان بیان می‌شود برای نیمکره شمالی مثبت و برای نیمکره جنوبی منفی در نظر گرفته می‌شود. تبدیل از دیسمال دیگری به رادیان و انحراف خورشیدی ( $\delta$ )، توسط فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \frac{\pi}{180} [\text{decimal degrees}] \quad (4)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} j - 1.39\right) \quad (5)$$

تابش فرازمینی،  $R_a$  برای هر روز سال و برای عرض جغرافیایی مختلف می‌تواند از ثابت خورشیدی، انحراف خورشیدی و زمان در سال به وسیله فرمول زیر محاسبه شود:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (6)$$

در این معادله  $G_{sc}$  برابر  $0.820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$  می‌باشد، و نسبت معکوس زمین-خورشید،  $d_r$  از معادله ۷ ارائه شده در ذیل محاسبه می‌شود.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} j\right) \quad (7)$$

و بر همین اساس میانگین دمای تابشی ( $MRT$ ) از معادله ۸ محاسبه می‌گردد:

$$MRT = [(GT + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v^{0.6} (GT - Ta)]^{1/4} - 273 \quad (8)$$

در این معادله به منظور تبدیل رطوبت نسبی به فشار بخار آب از معادله ۹ استفاده گردید.

$$P(\text{hpa}) = RH / 100 \times 6.105 \exp(17.27Ta / (237.7 + Ta)) \quad (9)$$

سپس بر اساس فرمول تجربی بیان شده در معادله ۱۰ گرمای جهانی ( $GT$ ) محاسبه گردید

$$GT(^{\circ}\text{C}) = Ta + 0.0175SR - 0.208v \quad (10)$$

و در نهایت، شاخص  $UTCI$  توسط معادله رگرسیون که در سایت [WWW.UTCI.org](http://WWW.UTCI.org) در دسترس می‌باشد محاسبه گردید. کلاس‌های رده بندی  $UTCI$  در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- طبقه بندی  $UTCI$

$UTCI(^{\circ}\text{C})$	طبقه بندی تنش
$46 >$	تنش حداکثر گرما
$38-46$	تنش گرمای خیلی شدید
$32-38$	تنش گرمای شدید
$26-32$	تنش گرمای متوسط
$9-26$	بدون تنش حرارتی

## ادامه جدول ۳

$UTCI(^{\circ}C)$	طبقه بندی تنش
۰-۹	تنش کمی سرد
-۱۳-۰	تنش سرد متوسط
-۱۳-۲۷	تنش سرمای شدید
-۲۷-۴۰	تنش سرمای خیلی شدید
< -۴۰	تنش حداکثر سرما

شاخص اقلیم گردشگری ( $TCI$ ) نشان دهنده ارزیابی کمی از آب و هوای جهان برای اهداف گردشگری و شاخص کاملی از رفاه اقلیمی گردشگران است. این شاخص در ابتدا در سال ۱۹۸۵ توسط میکزکوفسکی<sup>۱</sup>، به عنوان یک شاخص اقلیم گردشگری که از چندین عامل آب و هوایی استفاده می کند معرفی شد.

$$TCI = 2(4CID + CIA + 2R + 2S + W) \quad (11)$$

$CID$  شاخص آسایش روزانه شامل متغیرهای میانگین حداکثر دمای هوا و میانگین حداقل رطوبت نسبی است.  $CIA$  شاخص آسایش شبانه روزی است که شامل متغیرهای میانگین دمای هوا و میانگین رطوبت نسبی می باشد. همچنین،  $R$  بارندگی (میلی متر)،  $S$  زمان تابش آفتاب روزانه ( $h$ ) و  $W$  میانگین سرعت باد ( $m/s$ ) است. با استفاده از یک سیستم رتبه دهی استاندارد ارزش  $TCI$  بین مقدار ۱۰۰ (ایده آل) تا ۱۰ (غیر ممکن) متفاوت است (جدول ۴).

جدول ۴- طبقه بندی  $TCI$  (میکزکوفسکی، ۱۹۸۵)

$TCI$	درجه
۹۰-۱۰۰	ایده آل
۸۰-۸۹	عالی
۷۰-۷۹	خیلی خوب
۶۰-۶۹	خوب
۵۰-۵۹	قابل قبول
۴۰-۴۹	حاشیه ای
۳۰-۳۹	نامطلوب
۲۰-۲۹	بسیار نامطلوب
۱۰-۱۹	بشدت نامطلوب
< ۱۰	غیر ممکن

1 Mieczkowski



## ۲-۱-۳- آزمون من‌کندال و روش رگرسیون خطی

اگر چه آزمون‌های پارامتریک مثل آزمون  $t$  برای مقایسه نمونه‌ها قوی‌تر است، اما برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی از آزمون من‌کندال با فرض نفی "عدم وجود روند در سری زمانی" استفاده شده است چرا که این آزمون بر پایه رتبه داده‌ها در سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند استوار می‌باشد. آزمون ناپارامتریک من‌کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) و سپس توسط کندال (۱۹۷۵)<sup>۱</sup> بسط و توسعه یافت. آزمون غیر-پارامتری من‌کندال برای تعیین اینکه آیا روند در سطح ۰,۰۵ معنی دار بود یا خیر ( $\alpha < 0.05$ ) مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش روند تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد و روند تغییرات شاخص‌های ترکیبی حدی بر حسب روز در دهه محاسبه شده است. روند شاخص ترکیبی ( $y_j$ ) با استفاده از معادله رگرسیون خطی کمترین مربعات مدل (معادله 12) به دست آمده است:

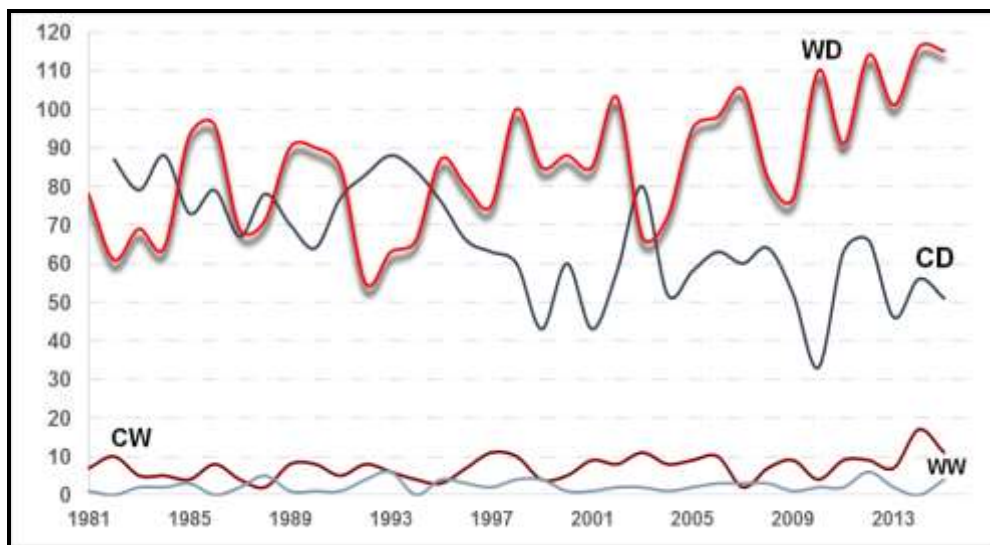
$$y_j = a + 0.1b_j + e_j \quad j = 1, \dots, n \quad (12)$$

در این جا  $y_j$  مقدار شاخص در سال  $j$  است و  $e_j$  به عنوان باقی مانده با میانگین صفر است. ضریب رگرسیون  $b$  تغییرات را در هر دهه را نشان می‌دهد.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- شاخص‌های مشترک دما و بارش

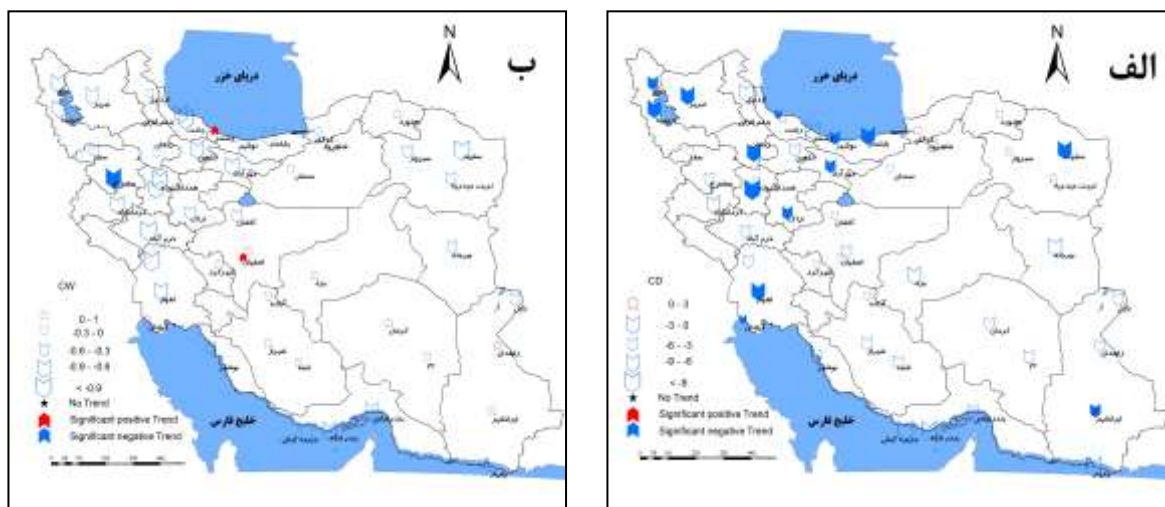
بیشتر رویدادهای فرین آب‌وهوایی، نتایج ترکیب متغیرهای اقلیمی هستند. به عنوان مثال، دمای بالا همراه با کاهش بارندگی باعث وقوع امواج گرما و خشکسالی می‌شود. تغییرات در بازه‌های آستانه برای چهار حالت بارندگی ( $WW$  و  $WD$ ,  $CW$ ,  $CD$ ) در ایستگاه هواشناسی رامسر در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که فراوانی وقوع هر حالت متفاوت است و از سال ۱۹۹۸ حالت‌های خشک دارای فراوانی وقوع بیشتری می‌باشد (شکل ۲). همچنین انطباق مشخصی بین منحنی شاخص‌های ترکیبی بارش و دما مشاهده می‌شود. تغییرات دراز مدت در سری سالانه بارش و درجه حرارت بر اساس مشاهدات زمینی در اشکال ۳ تا ۷ ارائه شده است.



شکل ۲- آستانه فرین چهار حالت مقایسه دما و بارش (CD; WD; CW; WW) برای ایستگاه رامسر در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۵ {روز در سال}

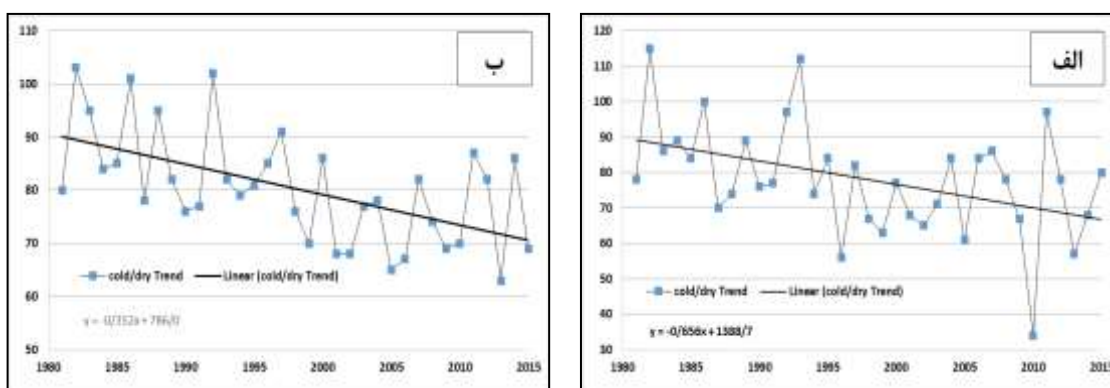
### ۳-۱-۱- شاخص روزهای سرد و خشک (CD) و روزهای سرد و مرطوب (CW)

روند سالانه شاخص ترکیبی CD براساس داده‌های دما و میزان بارش برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران در شکل ۳ الف نشان داده شده است. این شاخص در بیشتر ایستگاه‌ها از روند کاهشی برخوردار است. نرخ تغییرات این شاخص در دوره مطالعاتی براساس موقعیت مکانی ایستگاه بین ۱۰-۱ روز در هر دهه تا ۱ تا ۳ روز در هر دهه با کاهش روبه‌رو بوده است. در پانزده ایستگاه که بیشتر در شمال غرب کشور قرار دارند روند منفی معنی‌دار مشاهده می‌شود و سایر ایستگاه‌ها روند معناداری ندارند. بیشینه کاهشی معنادار این شاخص در ایستگاه تبریز در حدود ۶/۵- روز در هر دهه و کمینه منفی معنادار این شاخص در ایستگاه آبادان حدود ۳/۵- روز در هر دهه رخ داده است (شکل ۴). در این شاخص روندهای مثبت بصورت پراکنده در ایستگاه‌های: ایستگاه‌های شهرکرد، سبزوار، گرگان، رشت و تربت حیدریه دیده می‌شود. دامنه تغییرات روند افزایشی در شاخص CD سالانه بین ۳ روز در هر دهه در ایستگاه شهرکرد تا ۰,۳ روز در هر دهه در ایستگاه سبزوار متفاوت است.



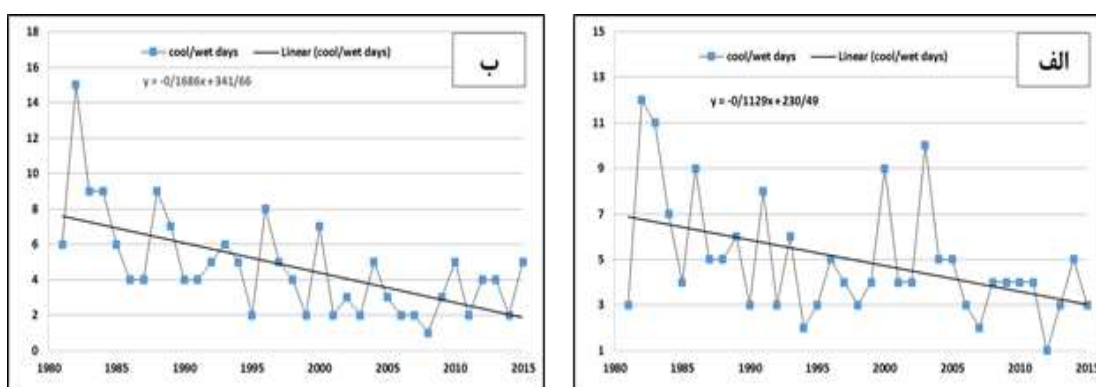
شکل ۳- روند شاخص روزهای سرد و خشک (الف) و شاخص روزهای سرد و مرطوب (ب) در دوره آماری {روز در دهه} ۱۹۸۱-۲۰۱۵

سری زمانی این شاخص در برخی مناطق مانند خرم آباد و بجنورد از روند بسیار ضعیف و غیر قابل تشخیص برخوردار است. همچنین، در ایستگاه‌های قرار گرفته در نواحی ساحلی دریای خزر و خلیج فارس روندهای روزانه بالاتری دیده می‌شود. نتایج بدست آمده برای این شاخص با نتایج مطالعات در اروپا منطبق می‌باشد ( Beniston, 2009).



شکل ۴- سری زمانی شاخص CD برای ایستگاه‌های تبریز (الف) و آبادان (ب) برای دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۵ (روز / سال).

همانگونه که اشاره شد شاخص  $CW$  به عنوان تعداد روزهای با  $T25 / p75$  تعریف می شود. نتایج آزمون‌های آماری در سری  $CW$  سالانه در دوره‌های سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. بجز ناحیه جنوبی کوه‌های زاگرس (جنوب غرب کشور) و برخی مناطق کوچک پراکنده که دارای روند مثبت ضعیف می‌باشند، سایر نقاط کشور از روند منفی برای شاخص  $CW$  برخوردار هستند. روند معنادار تنها در دو ایستگاه رامسر و سنندج دیده می‌شود. تعداد روزهای سرد/مرطوب در هشت ایستگاه (۱۷ درصد کل ایستگاه‌ها) افزایش یافته است، و روند کاهشی نیز در سایر ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. بیشینه روند منفی شاخص  $CW$  در نیمه شمالی کشور و بطور پراکنده در بخش‌های جنوبی و به ویژه جنوب شرقی کشور دیده می‌شود. بیشینه روند منفی در ایستگاه سنندج در حدود  $-۱/۳۸$  روز در هر دهه و در ایستگاه همدان (فرودگاه) با مقدار حدود  $-۱/۱۲$  روز در هر دهه است (شکل ۵). روند مثبت در سایر ایستگاه‌ها بسیار ضعیف است و هیچ روند قابل تشخیصی وجود ندارد. به عبارت دیگر، روندها از نظر مکانی بسیار پراکنده هستند. به طور کلی بیشتر ایستگاه‌ها در دو شاخص  $CD$  و  $CW$  روندهای منفی را تجربه کرده‌اند. نتایج این شاخص‌ها با مطالعه توسط هائو و همکاران (۲۰۱۳) در مورد منطقه خاورمیانه مطابقت دارد.

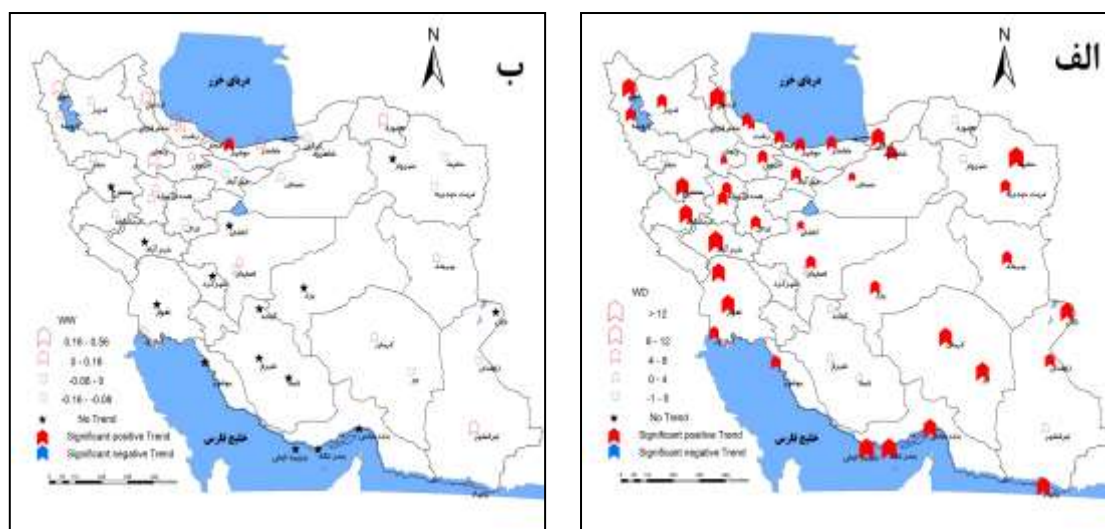


شکل ۵- سری زمانی شاخص  $CW$  در ایستگاه‌های همدان (الف) و سنندج (ب) برای دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۵ (روز / سال).

### ۳-۱-۲- شاخص روزهای گرم و خشک (WD) و روزهای گرم و مرطوب (WW)

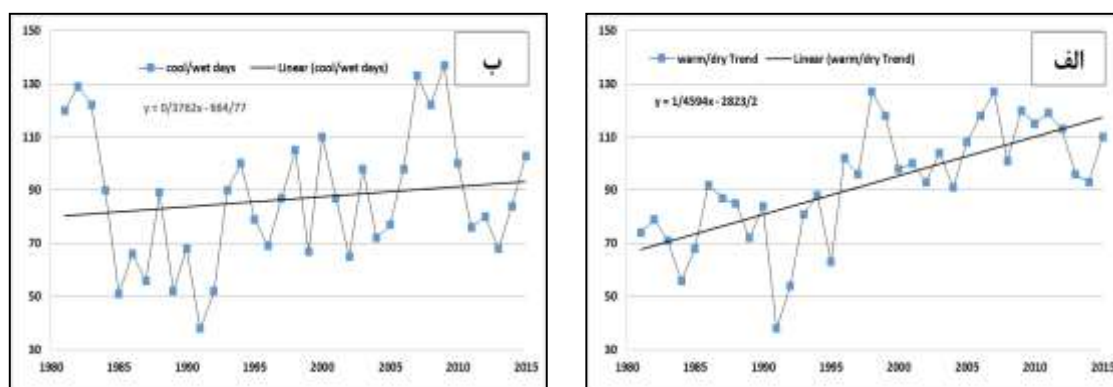
بر اساس نتایج بدست آمده، روند شاخص روزهای گرم/خشک (WD) افزایش قابل توجهی در سراسر کشور دارد. نتایج نشان می‌دهد که در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در این شاخص روندهای افزایش دارند (شکل ۶، الف). بر همین اساس، این روندهای افزایشی بیشتر در مناطق کوهستانی، خشک و نیمه خشک آب‌وهوایی دیده می‌شود. نرخ تغییر روند سالانه این شاخص بین  $+۳/۷$  روز در هر دهه در ایستگاه چابهار تا  $+۱۴/۵$  روز در هر دهه در ایستگاه جزیره کیش متفاوت می‌باشد (شکل ۷). این روندهای افزایشی با نتایج به دست آمده برای بسیاری از

نقاط جهان، از جمله آفریقای مرکزی، شرق استرالیا و بخش‌های روسیه مطابقت دارد (Hao et al., 2013). بجز ایستگاه شهرکرد، واقع در جنوب غرب کشور، بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور دارای روند افزایشی در شاخص WD می‌باشد (شکل ۶ الف). شایان ذکر است که این ایستگاه در سایر مطالعات از جمله: Parak et al., 2015 و Alijani et al., 2103 رفتار مشابهی داشته است که یافتن دلیل آن نیاز به تحقیق و بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر دارد.



شکل ۶- روند شاخص روزهای گرم و خشک (الف) و شاخص روزهای گرم و مرطوب (ب) در دوره آماری {روز در دهه} ۱۹۸۱-۲۰۱۵

سری زمانی فراوانی و روند روزهای گرم/خشک (WD) را برای ایستگاه‌های کیش و چابهار در شکل ۷ نشان داده شده است. مقدار روند افزایشی در ایستگاه کیش بیشتر از ایستگاه چابهار است. اهمیت فرین‌های روزهای گرم و خشک در این است که به دلیل ارتباط فراوانی این روزها با وقوع موج‌های گرما و خشکسالی که می‌توانند آسیب‌های شدید محیط زیست و اجتماعی را ایجاد کنند نگران کننده است (Hao et al., 2013) که اثرات آن می‌تواند به دلیل گرمایش جهانی، شهرنشینی و یا افزایش آتروسل تشدید شوند. به طور کلی، این روندهای مثبت در همراهی با یافته‌های IPCC (2013) (گرمای دوره‌ای از سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۲ بسیار بالاتر از هر دوره ۳۰ ساله در ۱۶۰۰ سال گذشته در نیمکره شمالی است)، در بیشتر ایستگاه‌ها بدست آمده است.



شکل ۷- سری زمانی شاخص WD در ایستگاه‌های جزیره کیش (الف) و چابهار (ب) برای دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۵ (روز / سال)

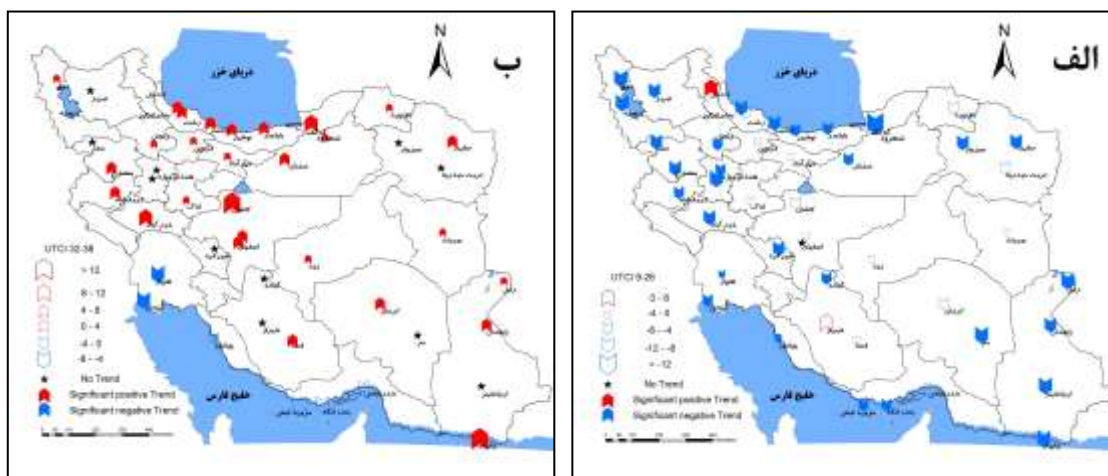
روند شاخص روزهای گرم/ مرطوب (WW) در شکل ۶ الف نشان داده شده است. نتایج رگرسیون خطی نشان می‌دهد که در طی ۳۵ سال گذشته حدود ۴۲ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه در شاخص مذکور دارای روند مثبتی هستند. اما بیشتر روندها معنادار نبوده و به طور کلی ضعیف می‌باشند. روند بیشینه این شاخص در ایستگاه نوشهر در کرانه دریای کاسپین با مقدار  $+0,56$  در هر دهه دیده می‌شود. این شاخص در نواحی ساحلی خلیج فارس و جنوب غرب از روند خاصی برخوردار نیست. به طور کلی اگر کشور را به وسیله یک خط فرضی شمال شرقی- جنوب غربی به دو قسمت تقسیم شده تصور کنیم، ما روند مثبت این شاخص را در شمال خط مشاهده می‌کنیم (شکل ۶، ب). در مجموع، شدت شاخص روزهای گرم و مرطوب به ویژه در عرض جغرافیایی بالا افزایش یافته است، که با روند مشاهده شده در سایر نقاط نیمکره شمالی در مقیاس جهانی انطباق دارد (Hao et al., 2013; Beniston, 2009).

نتایج ما نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌های دوره آماری مورد مطالعه، ایستگاه‌هایی همچون رامسر، نوشهر، رشت، واقع در منطقه دریای خزر، فراوانی روزهای گرم/مرطوب را تجربه کرده‌اند در حالی که سایر ایستگاه‌ها حتی چندین سال بدون هیچ روز گرم/مرطوبی را تجربه نکرده‌اند. بر همین اساس در ایستگاه‌های واقع در نواحی جنوبی کشور، تعداد روزهای گرم/مرطوب در بیشتر سال‌های مورد بررسی بسیار اندک و حتی برابر صفر بوده است. دلایل احتمالی رخداد این الگوها ممکن است ناشی از گرمایش جهانی باشد که به نظر می‌رسد مناطق مرطوب را مرطوب‌تر و مناطق خشک را خشک‌تر می‌سازد (Romm, 2015)، اما اثرات آن در هر بخش از کشور به اشکال مختلف ظاهر می‌شود. مقایسه نتایج بدست آمده برای دو شاخص روزهای گرم و خشک و گرم و مرطوب نشان دهنده رفتار

مشابهی بین این دو شاخص است، اما بزرگی و میزان انسجام فضایی شاخص روزهای گرم و مرطوب نسبت به شاخص روزهای گرم و خشک بسیار کمتر است.

### ۳-۲- شاخص جهانی حرارتی (UTCI)

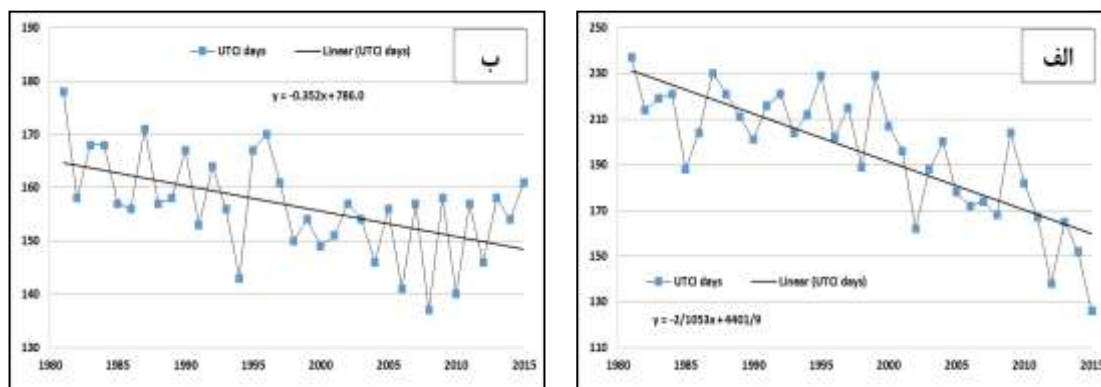
نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر مساحت کشور، در فراوانی روزهای با تنش سرد کاهش و در فراوانی روزهای با تنش گرم افزایش را تجربه کرده است و بنابراین شرایط آسایش حرارتی دارای روندهای متفاوتی می‌باشد. روزهای بدون تنش حرارتی در ۴۵ ایستگاه (۹۵ درصد ایستگاه‌ها)، دارای روند کاهشی است که در بیشتر ایستگاه‌ها معنی‌دار است (شکل ۸، الف). نرخ کاهش این شاخص در کل کشور از حدود ۴- روز در هر دهه در ایستگاه اهواز تا حدود ۲۰- روز در هر دهه در ایستگاه گرگان متفاوت می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در دهه‌های گذشته روند کاهشی در طبقه بدون تنش حرارتی در نواحی شمال، شمال‌غرب و جنوب شرقی ایران نسبت به سایر مناطق قوی‌تر بوده است. در ایستگاه‌های قرار گرفته در رشته کوه زاگرس روند منفی به دست آمده چندان قوی نمی‌باشد. بر اساس نتایج تنها روند مثبت در این شاخص در محدوده طبقه بدون تنش حرارتی در ایستگاه‌های اردبیل و شیراز مشاهده می‌شود (شکل ۹).



شکل ۸- روند شاخص جهانی روزهای گرم در کلاس بدون استرس حرارتی (الف) و شاخص جهانی روزهای گرم در کلاس ۳۲-۳۸ درجه سانتی گراد (ب) در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۵ (روز در دهه)

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۸ (ب)، شاخص سالانه تنش شدید گرما (۳۲-۳۸ درجه سلسیوس) تقریباً در کل کشور افزایش یافته است. نرخ روند افزایشی این شاخص بین ۰٫۵+ در ایستگاه زنجان تا ۱۷٫۳+ روز در هر دهه در ایستگاه چابهار متغیر می‌باشد. در کمتر از یک پنجم کشور، از جمله مناطق جنوب و جنوب‌غربی، روند منفی و یا

روند نزولی در این طبقه (تنش شدید گرما) تجربه کرده‌اند، این در حالی است که بیشتر این ایستگاه‌ها از جمله اهواز، آبادان، بوشهر، فسا، جزیره کیش، بندر لنگه و بندرعباس روند افزایشی در تنش گرمایی را در طبقه بالاتر یعنی در طبقه تنش بسیار شدید گرما (۳۸-۴۶ درجه سلسیوس) نشان می‌دهند. در مجموع، در مقایسه با شاخص‌های ترکیبی دما و بارش، شاخص UTCI نشان دهنده افزایش فراوانی حالت‌های گرم است. در این شاخص‌ها افزایش تنش‌های گرم و کاهش در تنش‌های سرد قابل مشاهده است. گرمایش جهانی با افزایش دمای متوسط زمین در طول زمان باعث شده تا امواج گرما شدیدتر از میانگین افزایش یابند و بازه زمانی آنها طولانی‌تر شده و مناطق با مقیاس بزرگ را پوشش دهند. در نتیجه این رویداد، در سال‌های اخیر، افزایش شدت خشکسالی و افزایش فراوانی موج‌های گرمایی در بسیاری از نقاط جهان مشاهده شده است (روم، ۲۰۱۵). نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که عرض جغرافیایی و توپوگرافی نقش مهمی در توزیع شاخص UTCI بازی می‌کنند. شاخص UTCI سالانه با کاهش عرض‌های جغرافیایی در سراسر ایران، افزایش تنش گرمایی را نشان می‌دهد.



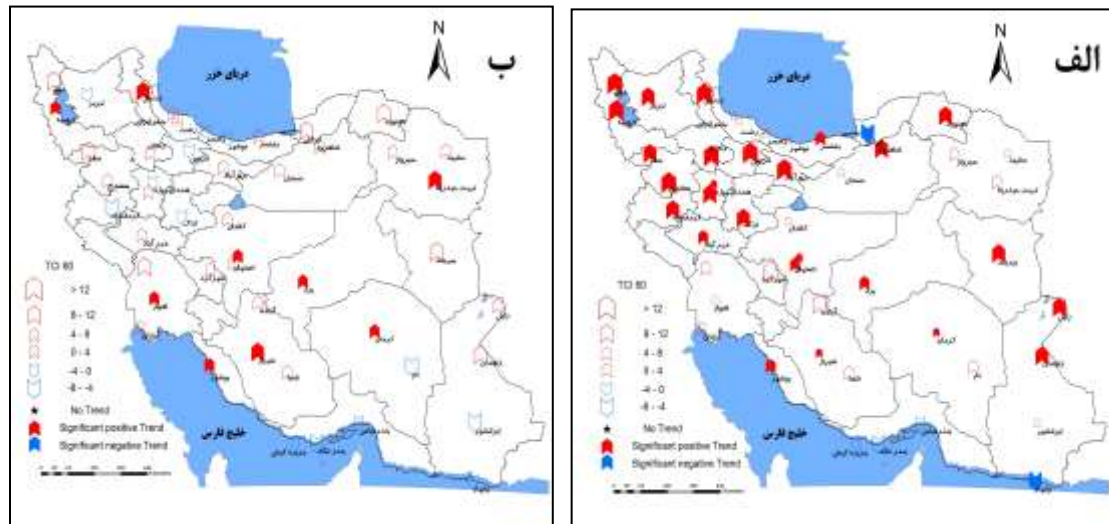
شکل ۹- سری زمانی شاخص بدون استرس حرارتی (۲۶-۹ درجه سانتی گراد) در ایستگاه‌های گرگان (الف) و اهواز (ب) برای دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۵ (روز / سال)

### ۳-۳- شاخص اقلیم گردشگری (TCI)

روند شاخص اقلیم گردشگری (TCI)، از جمله تعداد روزهای با  $TCI \geq 60$  و تعداد روز با  $TCI \geq 80$  در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بیشتر روندهای سالانه در شاخص‌های  $TCI_{80}$  و  $TCI_{60}$  افزایشی هستند. مقدار روند مثبت در سری  $TCI_{60}$  بین  $1/6$  روز در هر دهه در ایستگاه رشت تا  $16$  روز در هر دهه در ایستگاه اردبیل متفاوت می‌باشد. به طور کلی بزرگترین مقادیر این شاخص را می‌توان در استان‌های واقع در شمال غرب کشور مشاهده



کرد. همچنین، بیشینه روند منفی معنی‌دار در ایستگاه چابهار (جنوب‌شرقی کشور) با مقدار ۸- روز در هر دهه و سپس در گرگان دیده شده است.



شکل ۱۰- روند شاخص‌های اقلیم گردشگری ( $TCI \geq 60$ ) (الف) و ( $TCI \geq 80$ ) (ب) در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۱ {روز در دهه}

مقایسه شاخص‌های  $TCI_{60}$  و  $TCI_{80}$  بیانگر این است که شاخص  $TCI_{80}$  دارای توزیع نامنظم‌تر روندهای مثبت و منفی در کشور می‌باشد. بیش از ۷۵ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور، افزایش سالانه شاخص  $TCI_{80}$  را نشان می‌دهند که ۱۷ درصد از آنها دارای روند افزایش معنادار می‌باشند (شکل ۱۰، ب). بزرگ‌ترین روند مثبت قابل توجه در شاخص  $TCI_{80}$  در ایستگاه اردبیل نشان دهنده افزایش ۱۰ روز در هر دهه است. حدود بیست درصد از ایستگاه‌ها، عمدتاً در شمال‌غرب و جنوب‌شرقی کشور، دارای روند منفی هستند. بزرگ‌ترین روند منفی در ایستگاه ایرانشهر با کاهش ۲/۲- روز در هر دهه رخ داده است. به طور کلی، سازوکارهای مختلف فیزیکی از جمله تغییرات در پوشش ابر و یا تغییرات بارش و تغییرات در توازن انرژی می‌تواند در این روندها تاثیرگذار باشند که تعیین اثرات هر یک از این عوامل نیازمند بررسی‌ها و مطالعات علمی بیشتری است.

در زمینه موضوع تغییر اقلیم و فرین‌های آب‌وهوایی پژوهش‌های بسیاری در شاخه‌های مختلف، به ویژه در اقلیم‌شناسی انجام شده است. نگاهی به مطالعات گذشته در این زمینه، مشخص می‌سازد که شاخص‌های ترکیبی به لحاظ اینکه پارامترهای اقلیمی را به صورت مشترک مورد ارزیابی قرار می‌دهد بیش از سایر شاخص‌های تغییر اقلیم دارای اهمیت می‌باشند. چرا که نتایج این شاخص‌ها امکان تحلیل و ارزیابی رخدادهای حدی تحت عنوان پیامد حاصل از تغییر اقلیم در کشور را فراهم می‌سازد و بر همین اساس می‌توان عوامل متأثر و پارامترهای مختلف اقلیمی

شرکت کننده در رخدادهای حدی، متناسب با نواحی مختلف کشور را شناخت و به وسیله آنها تصویر جامعی از روندهای گذشته و درصد احتمال وقوع آن در آینده ارائه نمود. زیرا تحت تأثیر پیامدهای تغییر اقلیم، فراوانی و شدت رخدادهای حدی در نواحی مختلف کشور می‌توانند روندهای متفاوتی را تجربه کنند، به طوری که برخی نواحی روند افزایشی و برخی دیگر روند کاهشی داشته باشند.

#### ۴- جمع بندی

امروزه به طور فزاینده‌ای محققان و متخصصان در حال توسعه شاخص‌های ترکیبی آب‌وهوایی به منظور ارزیابی چند بعدی تغییر اقلیم می‌باشند. به همین خاطر در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از مجموعه شاخص‌های ترکیبی آب‌وهوایی و تمرکز بر رخدادهای فرین شناخت خوبی از وضعیت روند فرین‌های آب و هوایی به دست آید. این شاخص‌ها برای داده‌های روزانه بارش و دما در ۴۷ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۱ محاسبه و تحلیل شده‌اند.

نتایج حاصل از آزمون‌های آماری نشان دهنده وجود روند تغییرات سالانه و منسجمی در شاخص‌های ترکیبی دما و بارش (با استفاده از مقادیر ۲۵ و ۷۵ درصد) است. به طور کلی روند فرین‌های ترکیبی نشان می‌دهد که در بیش از ۸۰ درصد از ایستگاه‌ها فراوانی حالت‌های گرم مرتبط با امواج گرمایی افزایش و فراوانی حالت‌های سرد کاهش یافته است لیکن میزان انسجام فضایی این شاخص‌ها بر اساس موقعیت مکانی هر ایستگاه متفاوت می‌باشد. بر همین اساس، شاخص ترکیبی روزهای سرد و خشک (CD) در بیش از ۹۰ درصد سطح کشور روند کاهشی قابل توجه با نرخ تغییرات یک تا بیش از ده روز در هر دهه را نشان می‌دهد که در حدود ۳۵ درصد از ایستگاه‌ها این روند معنی‌دار (سطح اطمینان ۹۵ درصد) می‌باشد. در شاخص روزهای سرد و مرطوب (CW) نیز روند کلی در سطح کشور یک روند کاهشی را نشان می‌دهد. البته این روند در اکثریت ایستگاه‌ها روند معناداری نمی‌باشد. شاخص ترکیبی روزهای گرم و خشک سالانه (WD)، در بیش از ۹۷ درصد ایستگاه‌ها از روند مثبت افزایشی برخوردار است که در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌شود. مقدار روند شاخص ترکیبی WD سالانه از  $+۳/۷$  روز در هر دهه در ایستگاه چابهار تا  $+۱۴/۵$  روز در هر دهه در ایستگاه جزیره کیش متغیر می‌باشد. به غیر از چند ایستگاه مانند: شهرکرد، بیشتر ایستگاه‌ها در شاخص‌های ترکیبی دما و بارش روندهای مشابهی را نشان می‌دهند. شاخص روزهای گرم و مرطوب (WW) در بیش از نیمی از کشور هیچ روندی را نشان نمی‌دهد. در بقیه ایستگاه‌ها این شاخص دارای روند مثبت افزایشی با نرخ تغییرات بسیار کم می‌باشد که بیشتر روندها معنادار نیستند.

همچنین، شاخص جهانی حرارتی نشان دهنده افزایش معنی‌دار فراوانی سالانه روزهای با تنش گرمای شدید ( $32-38^{\circ}C$ ) و کاهش معنادار فراوانی سالانه روزهای بدون تنش گرمایی ( $9-26^{\circ}C$ ) است که در مقایسه با

سایر شاخص‌های ترکیبی دما و بارش از پیوستگی فضایی مناسبی در سطح ایران برخوردار است. روند شاخص اقلیم گردشگری (TCI)، شامل دو زیر مجموعه، تعداد روزهای با  $TCI \geq 60$  و تعداد روزهای با  $TCI \geq 80$  نیز تغییرات مشابهی دارد و پیوستگی ضعیف‌تری را در سطح کشور نشان می‌دهد. بیشینه وردایی معنادار فرین‌های ترکیبی در بخش‌های شمال‌غربی کشور دیده می‌شود. نتایج بدست آمده در شاخص‌های ترکیبی در این مقاله با نتایج حاصل از سایر مطالعات در مناطق دیگر دنیا همچون اروپا و خاورمیانه مطابقت نشان می‌دهد.

در مجموع آنچه که به عنوان یک وجه متمایز این مطالعه با سایر مطالعات می‌توان به آن اشاره کرد این است که بررسی نتایج روندهای فرین‌های ترکیبی به خاطر ارتباط فراوانی آن‌ها با وقوع رخداد‌های فرین همچون گرما و خشکسالی و ... می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای برای کاهش آثار سوء زیست محیطی و مشکلات اجتماعی ناشی از آن و افزایش سازگاری در کشور مورد توجه قرار گیرد.

## منابع

- AghaKouchak A, Cheng L, Mazdiyasi O, Farahmand A., 2014. Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought. *Geophys. Res. Lett.* 41: 8847–8852, doi:10.1002/2014GL062308.
- Alexander L, Yang H, Perkins S., 2013. ClimPACT Indices and software. A document prepared on behalf of The Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Climate Risk and Sector-Specific Climate Indices (ET CRSCI).
- Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahim F, Tagipour A, Kumar Kolli R, Revadekar JV, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez Aguirre JL., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 111: D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
- Alijani, B, Roshani, A, Parak, F and Heidari, R., 2013. Trends in extreme daily temperature using climate change indices in Iran. *Geography and environmental hazards*, 1(2), 28-17. doi: 10.22067/geo.v1i2.18617
- Allen G.R, Pereira S.P, Raes D, Smith M., 1998. Crop evapotranspiration-Guideline for computing crop water requirements. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Natuins.
- Arsenovic P, Tosic I, Unkasevic M., 2013. SEASONAL ANALYSIS OF WARM DAYS IN BELGRADE AND NIS. *J. Geogr. Inst. Cvijic*. 63(4):(1-10). DOI: 10.2298/IJGI1304001A.
- Beniston M. 2011. Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 36, L07707, doi:10.1029/2008GL037119, 2009
- Broede P, Fiala D, Blazejczyk K, Holmer I, Jendritzky G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G., 2012. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol*. 56(3):481–494. doi:10.1007/s00484-011-0454-1
- CCSP. 2008. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. [Thomas R.

- Karl, Gerald A. Meehl, Christopher D. Miller, Susan J. Hassol, Anne M. Waple and William L. Murray (eds.]. Department of Commerce, NOAA's National Climatic Data Center, Washington, D.C., USA, 164 pp.
- Estrella N, Menzel A., 2012. Recent and future climate extremes arising from changes to the bivariate distribution of temperature and precipitation in Bavaria, Germany. *Int. J. Climatol* . 33 1687–95.
- Fan L, Chen D., 2016. Trends in extreme precipitation indices across China detected using quantile regression. *Atmos. Sci. Lett.* 17: 400–406.
- Filho W.L, Musa H, Cavan G, O'Hare P, Seixas J. 2016. *Climate Change Adaptation, Resilience and Hazards*. Springer. DOI 10.1007/978-3-319-39880-8.
- Hao Z, AghaKouchak A, Phillips T. J., 2013. Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. *Environ Res Lett.* doi:10.1088/17489326/8/3/034014.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 966 pp.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M.M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 966 pp.
- Kanji G.K., 2006. *100 STATISTICAL TESTS*. SAGE Publications Ltd, ISBN-13 978 1 4129 2376 7 (Pbk).
- Lemke B, Kjellstrom T., 2012. Calculating Workplace WBGT from Meteorological Data: A Tool for Climate Change Assessment. *IndustrialHealth*.50: 267–278.
- Leonard M, Westra S, Phatak A, Lambert M, Hurk V.D B, McInnes K, Risbey J, Schuster S, Jakob D, Stafford-Smith M., 2014. A compound event framework for understanding extreme impacts. *WIREs Clim Change*.5:113–128. doi: 10.1002/wcc.252.
- Leonard M, Westra S, Phatak A, Lambert M, Hurk, B.V.D, McInnes K, Risbey J, Schuster S, Jakob D, Stafford-Smith M., 2014. A compound event framework for understanding extreme impacts. *WIREs Clim Change*. 5:113–128. doi: 10.1002/wcc.252.
- Liu C, Allan R P, Huffman G J., 2012. Co-variation of temperature and precipitation in CMIP5 models and satellite observations. *Geophysics. Res. Lett.*39 : L13803.
- Lopez-Moreno g J.I, Vicente-Serrano S.M, Moran-Tejeda E, Lorenzo-Lacruz J, KenawyA, Beniston M., 2011. Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*. 77. 62–76.
- Miao C, Sun Q, Duan Q, Wang Y., 2016. Joint analysis of changes in temperature and precipitation on the Loess Plateau during the period 1961–2011. *Climate Dynamics*.47: 3221. doi:10.1007/s00382-016-3022-x
- Mieczkowski Z., 1985. The Tourism Climatic Index: a method of evaluating world climate for tourism. *Can Geogr*29:220–233.
- Pappenberger P, Jendritzky G, Staiger H, Dutra E, Giuseppe F. Di, Richardson D. S, Cloke H. L., 2015. Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol*.59:311–323.

- Parak F, Roshani A, BodaghJamali J., 2015. Trends and Anomalies in Daily Climate Extremes over Iran during 1961–2010. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. ISSN: 2313-8629.
- Project team ECA&D, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI., 2013. EUMETNET/ECSN optional programme: 'European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)' Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), Version : 10.7.
- Rahimzadeh F, Asgari A, Fattahi E., 2009. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *Int. J. Climatol*. 29:329–343.
- Romm., 2015. CLIMATE CHANGE (WHAT EVERYONE NEEDS TO KNOW). Oxford University Press, ISBN-13 978-0190250171.
- Tabari H, ShiftehSomee B, RezaeianZadeh M. 2011. Testing for long-term trends in climatic variables in Iran. *Atmosph. Res*. 100:132 –140.
- Vincent L.A, Wang X.L, Milewska E.J, Wan H, Feng Y, Swail V., 2012. A Second Generation of Homogenized Canadian Monthly Surface Air Temperature for Climate Trend Analysis. *JGR Atmospheres*. 117: D18110, do: 10.1029/2012JD017859.
- Wang X. L. L., 2008. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *J. App. Met. Climatol*. 47: 2423-2444.
- Wang X.L, Wen Q, Wu Y., 2007. Penalized Maximal t Test for Detecting Undocumented Mean Change in Climate Data Series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. DOI: 10.1175/JAM2504.1.
- Wang X.L, Y. Feng, published online July., 2013: RHtestsV4 User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, science and Technology Branch, Environment Canada. 28 pp. [Available online at <http://etccdi.org/software.shtml>, <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.]
- World Meteorological Organization, Geneva., 2011. Guide to Climatological Practices. WMO-No. 100.
- World Meteorological Organization., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72.
- Yue S, Pilon P. and Cavadias G., 2002. Power of teh Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*. 259: 254-271.
- Zhang X, Alexander L, Hegerl G.C, Jones P, Tank A.K, Peterson T.C, Trewin B, Zwiers F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Clim Change*.doi: 10.1002/wcc.147.

