نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال سیزدهم | شماره پنجاه و دوم | زمستان ۱۴۰۱
وصول: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
صص ۲۰۶-۱۹۳

مطالعه نمایه‌های فرین اقلیمی در استان کهگیلویه و بویراحمد

زهرا قصابی[۱]، حسن صالحی[۲]، سکینه خان سالاری[۳*]
۱ و ۳- استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو
۲- کارشناس اداره کل هواشناسی استان کهگیلویه و بویر احمد

چکیده

گرمایش جهانی باعث احتمال وقوع بیشتر در فراوانی و شدت رویدادهای فرین اقلیمی می‌شود. این تغییرات پیامدهای اساسی اجتماعی و زیست-محیطی را به دنبال دارد. با توجه به اهمیت استان کهگیلویه و بویراحمد از نظر منابع آبی، کشاورزی، صنعتی و انسانی این منطقه برای مطالعه انتخاب شد. به جهت اطمینان از عدم تغییر مکانی و محیطی در ایستگاه‌های مورد بررسی و برخورداری از کیفیت مناسب آماری، داده‌ها و اطلاعات همه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی استان از بدو تاسیس بررسی شد. در نهایت، دو ایستگاه همدیدی یاسوج و دوگنبدان که دارای بیشترین دوره آماری و کمترین داده گمشده منفرد و یا متوالی طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ بودند، انتخاب شدند. نمایه‌های فرین دما و بارش با استفاده از بسته Rclimdex در نرم‌افزار R محاسبه و بررسی گردید. نتایج حاکی از روند کاهشی همه نمایه‌های فرین بارشی در دوره آماری می‌باشد. در ایستگاه دوگنبدان نمایه روزهای با بارش سنگین (بیشتر از ۱۰ میلی‌متر) روند کاهشی معنی‌داری داشته و بقیه تغییرات در سایر نمایه‌ها معنی‌دار نبوده است. در ایستگاه یاسوج نمایه‌های روزهای با بارش سنگین (بیشتر از ۱۰ میلی‌متر) و روزهای تر پی‌درپی دارای روند کاهشی معنی‌دار بودند. فراوانی رویدادهای گرم، نظیر روزهای تابستانی و شب‌های گرم، طول فصل رشد و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما و فراوانی رویدادهای سرد، مانند روزها و شب‌های سرد و روزهای یخبندان طی دوره مطالعاتی به ترتیب روند افزایشی و کاهشی را نشان داد.

کلید واژه‌ها: نمایه‌های فرین بارش، نمایه‌های فرین دما، RClimdex ، استان کهگیلویه و بویراحمد.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۹۸۹۵۵۵۳۸ Email: Khansalari@yahoo.com

مقدمه

دمای جهان طی قرن گذشته در حدود ۰/۷٤ درجه سلسیوس افزایش پیدا کرده است (IPCC, 2007). گرمایش جهانی باعث احتمال بیشتر در فراوانی و شدت رویدادهای فرین اقلیمی می‌شود. رخداد بیشتر روزهای داغ و امواج گرمایی سبب افزایش مرگ و میر، افزایش برخی از بیماری‌ها، افزایش تنش‌های گرمایی انسان و حیوان، جابه‌جایی مناطق مستعد اقلیمی گردشگری و غیره می‌شود. تأثیرات اجتماعی و زیست- محیطی رویدادهای فرین در مقیاس محلی زیاد بوده و می‌تواند مناطق خاصی را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). اثرات گسترده اجتماعی و اقتصادی مقادیر فرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران به دلیل برخورداری از اقلیم بسیار آسیب‌پذیر و شکننده، زیاد است و تغییرات ناگهانی آنها ممکن است رخدادهای ویرانگر را به دنبال داشته باشد. تغییرپذیری مکانی و زمانی از ویژگیهای ذاتی اقلیم ایران به شمار می‌رود و اثرات مخرب آن از جمله سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر در ایران بسیار زیاد بوده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱).

بررسی تغییرات مقادیر فرین منطقه‌ای و جهانی دما و بارش در مناطق مختلف دنیا مانند آمریکا (DeaGaetano, 1996)، کانادا (Bonsal et al. 2001)، استرالیا، نیوزیلند (Plummer et al. 1999)، مغولستان (Dashkhuu et al., 2015) و چین (Zhai et al. 1999) انجام شده است. در مطالعه فریچ و همکاران (Frich et al. 2002)، مشخص شد که تعداد روزهای یخبندان در عرض‌های بالا و میانی نیمکره‌ی شمالی کاهش و طول دوره رویش در مقیاس جهانی به طور میانگین به مدت یک هفته در طول قرن بیستم افزایش داشته است. سانتوس (Santos, 2011) روند یازده نمایه فرین سالانه دما را در ۲۸ ایستگاه هواشناسی ایالت یوتای امریکا در دوره ۱۹۳۰ تا ۲۰۰٦ بررسی کرد و نتیجه گرفت که دما در ایالت یوتا در طول قرن گذشته افزایش یافته است. در این مطالعه مشخص شد که نمایه تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بیش از ۲۵ درجه در اغلب ایستگاه‌های منطقه یوتا افزایش معنی‌دار دارد، همچنین نمایه تعداد شب‌های حاره‌ای و طول دوره گرم در منطقه مورد مطالعه در حال افزایش است. ولی نمایه روزهای یخی، تعداد روزهای یخبندان، طول دوره سرد و میانگین ماهانه تفاضل دمای بیشینه و کمینه کاهش داشت. در مطالعه ونگ و همکاران (Wang et al., 2013) در غرب فلات تبت در دوره ۲۰۱۱-۱۹۷۳، مشخص شد که نمایه‌های تعداد روزهای تابستانی، گرم‌ترین شب و گرم‌ترین روز، شب‌های گرم و روزهای گرم و نمایه طول دوره گرما افزایش یافته‌اند. کگن‌هوف و همکاران (Keggenhoff et al., 2015) تغییرات سالانه و فصلی میانگین دما و ۸ نمایه فرین را روی گرجستان (قفقاز جنوبی) در دوره ۱۹٦۱ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند گرم شدن فزاینده‌ای از سال ۱۹٦۰، بویژه برای نمایه‌های فرین گرم در طول فصل تابستان و پاییز در گرجستان وجود دارد.

سازمان هواشناسی جهانی پروژه‌ی مشترکی بین کمیسیون اقلیم‌شناسی (CCL)، تغییرپذیری و پیش‌بینی‌پذیری اقلیم (CLIVAR) و برنامه تحقیقات اقلیم جهانی (WCRP) به منظور آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آن تعریف کرده است. روش‌های محاسبه‌ی نمایه‌های مختلف با چند نرم‌افزار از جمله ClimDex و RClimDex ارائه شد (Zhang, 2007; Zhang and Yang, 2004).

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه بررسی تغییرات نمایه‌های فرین اقلیمی در مناطق مختلف کشور انجام شده است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، نشان دادند که در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ نمایه‌های فرین همچون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنهٔ تغییرات شبانه‌روزی دما در اغلب نقاط کشور دارای روند منفی است؛ اما نمایه‌های روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم در اغلب نقاط کشور روند افزایشی داشته‌اند. رضایی بنفشه خواه و همکاران (۱۳۹۰)، تغییر عناصر اقلیمی حوضه دریاچه‌ی ارومیه را با استفاده از داده‌های دمای بیشینه و کمینه و بارندگی روزانه ٤ ایستگاه در دوره ۲۰۰٦-۱۹۸٤ بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که شرایط اقلیمی در طی دوره‌ی مطالعه در منطقه تغییر یافته است، طوری‌که افزایش تعداد روزهای تابستانی و شب‌های گرم معنی‌دار بوده، و تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به طور معنی‌داری کاهش یافته است. مجموع بارندگی سالانه، تعداد روزهای بارانی(بیش از ۲ میلی‌متر) و تعداد روزهای بارندگی سنگین (بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر) نیز کاهش معنی‌داری داشته

است. همچنین تعداد روزهای متوالی مرطوب بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه تغییرپذیری فرین‌های دما در ایران در دوره‌ی ۱۹۶۱-۲۰۰۶ نتیجه گرفتند که نمایه‌های میانگین کمینه و بیشینه، شب‌های گرم، شب‌های گرمسیری و تداوم دوره‌های گرم روند افزایشی را در کل کشور دارند و نمایه‌های محدوده دمای روزانه و تداوم دوره‌های سرد در اغلب نقاط کشور دارای روند منفی هستند. آنها در نهایت بیان کردند که دما در بیشتر مناطق کشور در حال افزایش است و مقدار این افزایش در مناطق مرکزی که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک هستند از شدت بیشتری برخوردار است.

جهان‌بخش‌اصل و همکاران (۱۳۹۳)، روند تغییرات ۲۷ نمایه دما و بارش‌های فرین را طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۶۱ در تبریز بررسی کردند. نتایج نشان داد که طی نیم سده گذشته، روند نمایه‌های مربوط به روزهای تابستانی، شب‌های حاره‌ای و شب‌های گرم به طور معنی‌داری افزایشی بوده و نمایه‌های روزهای یخی و روزهای سرد دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشد. در نمایه‌های تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیش از ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر، روزهای تر متوالی، مجموع بارش روزهای تر و مجموع بارش مواقعی که بارندگی بیش از صدک ۹۵ و ۹۹ است، روند نزولی معنی‌دار دیده شد. کوزه گران و موسوی بایگی (۱۳۹٤) نیز در پژوهشی روند رویدادهای فرین اقلیمی را در شمال شرق ایران بررسی کرده و نتیجه گرفتند که نمایه‌های فرین گرم روند افزایشی دارند و این روند برای نمایه‌هایی مانند روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای، روزها و شب‌های گرم معنادار بود. در حالیکه نمایه‌های فرین سرد در دوره‌ی مطالعه روند کاهشی دارند که نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادها و روزها و شب‌های سرد است. روند کاهشی بارش در بررسی همه نمایه‌های بارش در کلیه ایستگاه‌ها وجود داشت. عرفانیان و همکاران(۱۳۹٦) فراوانی نمایه‌های فرین اقلیمی در استان خراسان رضوی را در دوره بازگشت‌های مختلف با تداوم‌های مختلف برآورد کردند. در بررسی مقادیر فرین دما و بارش در ۳۳ ایستگاه هواشناسی کشور با استفاده از نرم افزار Rclimdex روشن شد که نمایه‌های بارش روزانه ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر و مجموع بارش سالانه و نمایه‌های تعداد روزهای یخبندان و روزهای متوالی خشک و دوره‌های سرمای متوالی در کشور عموماً روند کاهشی داشتند؛ اما نمایه‌های بیشترین بارش یک روزه و تعداد روزهای گرم و شب های گرم حاره‌ای و نمایه‌های مربوط به بیشینه و کمینه دما و دوره‌های متوالی گرم در بیشتر ایستگاه-ها روند افزایشی داشتند. قصابی و همکاران (۱۳۹۹) توزیع زمانی و مکانی رخداد فراسنج‌های فرین استان مازندران را شناسایی کرده و روند نمایه‌های فرین فراسنج‌های دما و بارش را مطالعه کردند. بررسی نمایه‌های فرین فراسنج دما روشن کرد که فراوانی روزهای یخبندان در نواحی مرتفع استان مازندران بیشتر است، نمایه‌های کمینه دمای روزانه، روزها و شب‌های سرد با افزایش ارتفاع در استان رابطه مستقیمی دارند. میانگین دماهای بیشینه و تعداد روزها و شب‌های گرم در نواحی ساحلی- جلگه‌ای شرق استان بیشترین مقدار را دارد و به سوی نواحی مرتفع و غربی استان کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که توزیع دما در استان مازندران با توپوگرافی منطقه همخوانی مناسبی دارد. بررسی نمایه‌های بارندگی روشن کرد که از نواحی ساحلی- جلگه-ای غرب استان به سمت ارتفاعات و شرق استان، از میزان و شدت بارش‌ها کاسته می‌شود.

هدف پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات نمایه‌های فرین دما و بارش مطابق با استاندارد تعریف شده CCL/CLIVAR، در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. در ادامه پس از معرفی منطقه مورد مطالعه، داده‌ها و روش کار این پژوهش به نتایج کاربردی می‌پردازیم.

مواد و روش کار

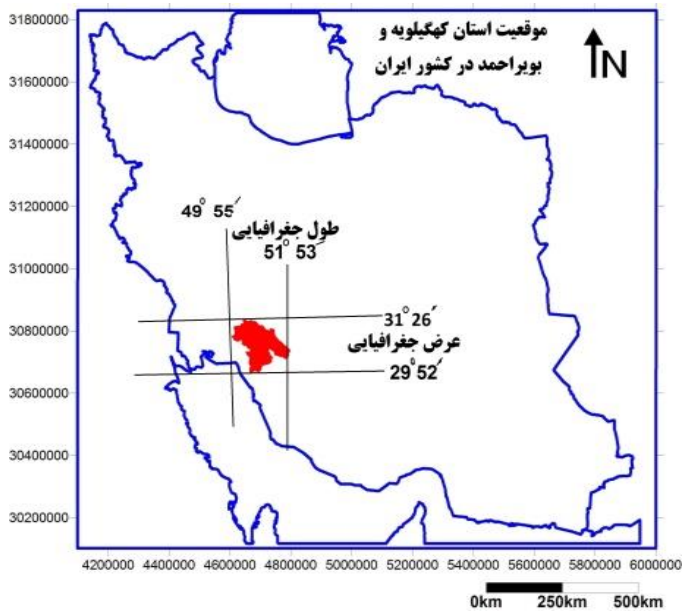
منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب‌غرب ایران واقع شده است و از نظر منابع آبی، کشاورزی، صنعتی و انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است. مساحت استان ۱۵۵۰٤ کیلومترمربع است که حدود یک درصد مساحت کل کشور را در برمی‌گیرد. این استان در طول جغرافیایی ٤۹ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲٦ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). بلندترین نقطه‌ی استان قله دنا با ارتفاع ٤٤۰۹ متر و پست‌ترین نقطه‌ی آن چره‌زن در جنوب‌غربی بی‌بی حکیمه

در شهرستان گچساران است که ۱۹۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

داده‌ها

هنگام استفاده از داده‌های روزانه یک ایستگاه باید مطمئن بود که علاوه بر اینکه ایستگاه تغییر مکانی و محیطی جدی نداشته باشد، آمار آن از کیفیت مناسب نیز برخوردار باشد (رحیم زاده و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین باید از ایستگاه‌هایی که دارای کمترین داده گمشده منفرد و یا متوالی هستند و خللی در آنالیز داده‌های آنها ایجاد نمی‌شود، استفاده کرد. بدین منظور، داده‌های دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه و بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان کهگیلویه و بویراحمد از بدو تاسیس از سازمان هواشناسی کشور تهیه و بررسی شد. ایستگاه‌های یاسوج در اقلیم سرد و دوگنبدان در اقلیم گرم که از دوره آماری مناسبی برخوردار بودند، برای این مطالعه انتخاب شدند. داده‌های کنترل کیفی شده در بازه زمانی ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۸ انتخاب گردید. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد در ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های منتخب

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری
دوگنبدان	° ۵۰/۸۱	° ۳۰/۳٤	٦۹۹/۵	۱۹۸٦-۲۰۱۸
یاسوج	° ۵۱/۵۵	° ۳۰/٦۹	۱۸۳۷	۱۹۸٦-۲۰۱۸

نمایه‌های فرین دما

نمایه‌های فرین مبتنی بر داده‌های بلندمدت و همگن وضعیت رویدادهای فرین را بیان می‌کنند (Peterson at al., 1997). این نمایه‌ها جنبه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم و تأثیرات آن را نمایش می‌دهند (Frich et al. 2002). شبکه پشتیبانی اقلیم اروپا (ECSN) پشتیبان بزرگترین پروژه ی ارزیابی اقلیمی اروپا در سال ۲۰۰۰ بود که اغلب این نمایه‌ها را معرفی نموده است. تیم کارشناسی ETCCDM نمایه‌های فرین را در پنج گروه دسته‌بندی کرده است که عبارتند از نمایه‌های فرین مبتنی بر صدک‌ها، فرین مطلق، فرین آستانه‌ای و نمایه‌های دیگر. فهرست نمایه‌های فرین دما همراه با تعاریف آن‌ها در جدول ۲ ارائه گردیده است. نمایه‌های شب‌های سرد، شب‌های گرم، روزهای سرد و روزهای گرم نمایه‌های فرین مبتنی بر صدک‌ها هستند. نمایه‌های فرین مطلق شامل بالاترین و پایین‌ترین دماهای بیشینه و کمینه در یک سال، فصل و یا ماه هستند. نمایه‌های فرین آستانه‌ای شامل

نمایه‌هایی است که با تعداد روزهایی که دما از یک آستانه ثابت عبور می‌کند، بیان می‌گردند (تعداد سالانه روزهای یخبندان، تعداد سالانه شبهای حاره‌ای، تعداد سالانه روزهای تابستانی و تعداد سالانه روزهای یخی). نمایه‌های فرین دوره‌ای شامل نمایه‌های طول مدت سرما و گرما، طول دوره رویش که بیانگر دوره‌های خیلی گرم، خیلی سرد، خیلی مرطوب، خیلی خشک و یا دوره‌های رویش هستند.

جدول ۲- نمایه‌های فرین دما توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCl/CLIVAR

یکا	نام توصیفی	تعریف	نام نمایه
روز	روزهای یخبندان	تعداد روزهای با دمای حداقل روزانه کمتر از صفر درجه	FD
روز	روزهای تابستانی	تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بیش از ۲۵ درجه	SU
روز	روزهای یخی	تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه کمتر از صفر درجه	ID
روز	شب‌های حاره‌ای	تعداد روزهای با دمای حداقل روزانه بیش از ۲۰ درجه	TR
روز	طول فصل رشد	تعداد روزهای بین اولین دوره با حداقل ٦ روز متوالی، که دمای میانگین روزانه بیشتر از ۵ درجه باشد و اولین دوره ٦ روزه در نیمه دوم سال با دمای میانگین روزانه کمتر از ۵ درجه سلسیوس	GSL
درجه سلسیوس	گرم‌ترین روز	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Maximum Tmax)	TXx
درجه سلسیوس	گرم‌ترین شب	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Maximum Tmin)	TNx
درجه سلسیوس	سردترین روز	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (Minimum Tmax)	TXn
درجه سلسیوس	سردترین شب	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Minimum Tmin)	TNn
روز	شب‌های سرد	تعداد روزهای با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره	TN10p
روز	روزهای سرد	تعداد روزهای با دمای حداکثر کمتر از صدک دهم دوره	TX10p
روز	شب‌های گرم	تعداد روزهای با دمای حداقل بیشتر از صدک نودم دوره	TN90p
روز	روزهای گرم	تعداد روزهای با دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم دوره	TX90p
روز	نمایه طول مدت گرما	تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آنها بیشتر از صدک نودم دوره باشد	WSDI
روز	نمایه طول مدت سرما	تعداد روزهایی که حداقل ٦ روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره باشد	CSDI
درجه سلسیوس	دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما	میانگین اختلاف دمای بیشینه و کمینه روزانه	DTR

نمایه‌های فرین بارش

فهرست نمایه‌های فرین بارش همراه با تعاریف آن‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده است. نمایه‌های فرین بارش مبتنی بر صدک‌ها شامل بارش روزهای خیلی تر و بارش روزهای بسیار تر هستند. نمایه‌های فرین مطلق شامل بیشترین مقدار بارش در دوره یک روزه، با نام حداکثر بارش یک روزه و بیشترین مقدار بارش در پنج روز پی در پی با نام حداکثر بارش پنج روزه است. نمایه‌های فرین آستانه‌ای شامل نمایه‌هایی است که با تعداد روزهایی که بارش از یک آستانه ثابت عبور می‌کند، بیان می گردند (روزهای با بارش سنگین، روزهای با بارش خیلی سنگین و تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از حد دلخواه کاربر). نمایه‌های فرین دوره‌ای شامل نمایه‌های طول مدت بارش یا خشکی با نام‌های روزهای خشک پی‌درپی و روزهای تر پی‌درپی می‌باشد. نمایه‌های جمع کل بارش روزهای تر و نمایه ساده شدت روزانه از دیگر نمایه‌های فرین بارش هستند.

جدول ۱- نمایه‌های فرین بارش توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCl/CLIVAR

نام نمایه	تعریف	نام توصیفی	یکا
RX1day	بیشترین مقدار بارش در دوره یک روزه	حداکثر بارش ۱ روزه	میلی‌متر
RX5day	بیشترین مقدار بارش در پنج روز پی در پی	حداکثر بارش ۵ روزه	میلی‌متر
SDII	میانگین بارش در روزهای با مقدار بارش بیش از یک میلی‌متر (روز تر)	نمایه ساده شدت روزانه بارش	میلی‌متر در روز
R10mm	تعدادروزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتراز۱۰ میلی‌متر	روزهای با بارش سنگین	روز
R20mm	تعدادروزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتراز۲۰ میلی‌متر	روزهای با بارش خیلی سنگین	روز
Rnnmm	تعدادروزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشترازحد دلخواه کاربر		روز
CDD	بیشترین تعداد روزهای پی‌درپی با بارش روزانه کمتر از یک میلی‌متر	روزهای خشک پی‌درپی	روز
CWD	بیشترین تعداد روزهای پی‌درپی بارش روزانه بیشتر از یک میلی‌متر	روزهای تر پی‌درپی	روز
R95pTOT	مقدار بارش حاصل از روزهای با بارش روزانه بیش از صدک ۹۵ ام دوره	بارش روزهای خیلی تر	میلی‌متر
R99pTOT	مقدار بارش حاصل از روزهای با بارش روزانه بیش از صدک ۹۹ ام دوره	بارش روزهای بسیار تر	میلی‌متر
PRCPTOT	جمع بارش در روزهای با بارش روزانه مساوی یا بیش از یک میلی‌متر	بارش روزهای تر	میلی‌متر

آزمون من‌کندال

به منظور بررسی وجود روند و معنی‌داری آن از آزمون ناپارامتریک من‌کندال استفاده شد. این آزمون توسط من (Mann, 1945) و سپس کندال (Kendall, 1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مراحل انجام این آزمون به این شرح است که ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر محاسبه (رابطه ۱) و تابع علامت اعمال (رابطه ۲) و پارامتر S (رابطه ۳) استخراج می‌شود.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=K+1}^{n} \operatorname{sign}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

که n تعداد مشاهدات سری، Xj و Xk به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند.

$$\operatorname{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

$$VAR(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (۳)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده شده، m عرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل دو داده هم رتبه وجود دارد و t بیانگر فراوانی داده‌های با رتبه یکسان است. سپس استخراج آماره Z به کمک رابطه ٤ انجام می‌شود.

$$z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & if \quad s > 0 \\ 0 & if \quad s = 0 \\ \dfrac{s+1}{\sqrt{var(s)}} & if \quad s < 0 \end{cases} \quad (٤)$$

در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

نتایج

نمایه‌های فرین دما و بارش در ایستگاه‌های دوگنبدان و یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد محاسبه شد. معنی‌داری روند نمایه‌های فرین در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ محاسبه و ارایه گردید. محاسبه روند برخی از متغیرهای هواشناسی، مانند روزهای یخبندان (FD) و روزهای یخ (ID) که امکان تکرار عدد صفر برای آنها، بویژه در مناطق گرم و خشک زیاد است، بی‌معناست (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج کلی حاصل از بررسی روند نمایه‌های فرین به شرح زیر است.

جداول ٤ و ٥ شیب (z) تغییرات نمایه‌های فرین دما و بارش را در ایستگاه‌های دوگنبدان و یاسوج نشان می‌دهد. در این جداول اعدادی که به صورت پررنگ نوشته شده‌اند، دارای روند معنی‌دار هستند (P-Value<0.05). اعداد منفی بیانگر روند کاهشی و اعداد مثبت، نشان دهنده‌ی روند افزایشی هستند. نمایه‌های روزهای تابستانی (SU25)، شب‌های حاره‌ای (TR20)، طول فصل رشد (GSL) و نمایه گرم‌ترین روز (TXx) در بین نمایه‌های فرین دمایی ایستگاه دوگنبدان روند افزایشی معنی‌داری داشته‌اند. در ایستگاه دوگنبدان همه نمایه‌های فرین بارشی روند کاهشی نشان می‌دهند. در این میان نمایه روزهای با بارش سنگین بالای ۱۰ میلی‌متر (R10mm) روند کاهشی معنی‌داری داشته و بقیه تغییرات در سایر نمایه‌ها معنی‌دار نبوده است. در ایستگاه یاسوج، نمایه‌های روزهای تابستانی (SU25)، طول فصل رشد (GSL)، گرمترین روز (TXx) و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) روند معنی‌دار افزایشی داشته‌اند. همچنین تمام نمایه‌های فرین بارشی روند کاهشی نشان می‌دهند و نمایه‌های روزهای با بارش سنگین بالای ۱۰ میلی‌متر (R10mm) و روزهای تر پی‌درپی (CWD) دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده‌اند.

جدول ٤: شیب (z) تغییرات نمایه‌های فرین دما (اعدادی که دارای روند معنی‌دار هستند (P-Value<0.05) به صورت پررنگ مشخص شده‌اند)

	SU25	ID0	TR20	FD0	GSL	TXx	TXN	TNX	TNN	DTR
دوگنبدان	+0.80	0.00	1.17	0.02	0.03	0.05	0.00	0.05	-0.01	-0.01
یاسوج	0.46	-0.01	-0.19	0.32	1.02	0.04	0.06	-0.02	0.05	0.08

جدول ٥: شیب (z) تغییرات نمایه‌های فرین بارش (اعدادی که دارای روند معنی‌دار هستند (P-Value<0.05) به صورت پررنگ مشخص شده‌اند)

	rx1day	rx5day	sdii	R10mm	R20mm	R25mm	cdd	CWD	R95p	R99p	PRCPTOT
دوگنبدان	-0.58	-0.79	-0.04	-0.15	-0.04	-0.06	-1.43	-0.01	-0.93	-1.36	-4.12
یاسوج	0.01	-1.03	-0.02	-0.30	-0.16	-0.11	-0.12	-0.06	-1.58	-0.28	-6.87

الف) نمایه‌های فرین دما

روزهای تابستانی (SU25):

نمایه تعداد روزهای تابستانی (SU25) که بصورت تعداد روزهای با دمای بیشینه روزانه بیش از ۲۵ درجه سلسیوس تعریف می‌شود، بیانگر روند افزایشی معنی‌داری در دوره مطالعاتی در هر دو ایستگاه است (شکل ۲).

روزهای یخی (ID):

در ایستگاه دوگنبدان در طول دوره آماری روز یخی مشاهده نشد. اما این نمایه در ایستگاه یاسوج روند منفی دارد که معنی‌دار نیست (جدول ٤).

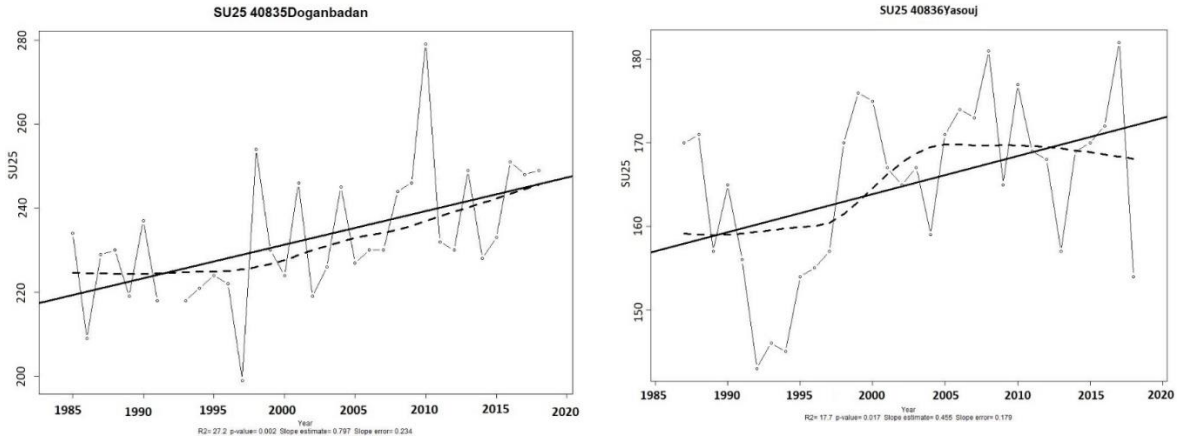
تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20):

بررسی نمایه شب‌های حاره‌ای یا تعداد روزهای با دمای کمینه روزانه بیش از ۲۰ درجه سلسیوس در دوره مطالعاتی بیانگر روند افزایشی معنی‌دار در ایستگاه دوگنبدان است و در ایستگاه یاسوج اگرچه روند کاهشی دارد ولی روند تغییرات آن معنی‌دار نیست. بیشترین تعداد شب‌های حاره‌ای به تعداد ۱٤۹ شب در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ در ایستگاه دوگنبدان رخ داده است (شکل ۳).

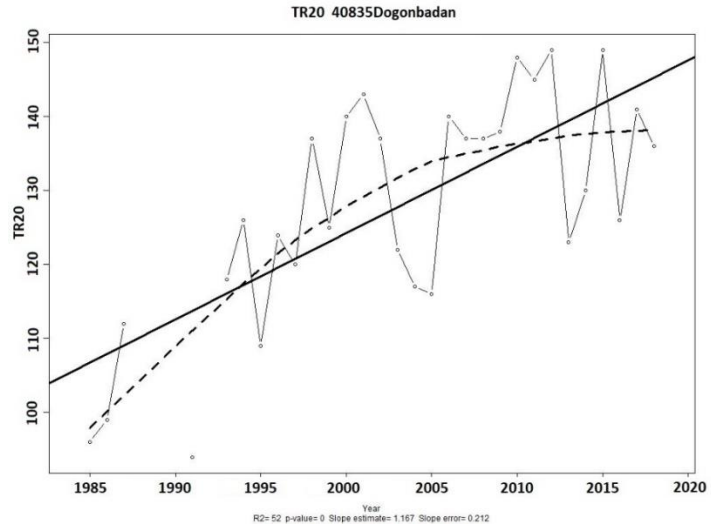
تعداد روزهای یخبندان (FD):

ایستگاه دوگنبدان، با توجه به اقلیم حاکم در آن منطقه در طول دوره آماری دمای صفر را تجربه نکرده است، از این رو محاسبه روند این نمایه برای این ایستگاه بی‌مفهوم است. در ایستگاه یاسوج روند روزهای یخبندان افزایشی بوده اما معنی‌دار نیست (شکل ٤). روند مثبت در تعداد روزهای یخبندان یاسوج بر خلاف الگوی گرمایش جهانی بوده و قابل توجه است.

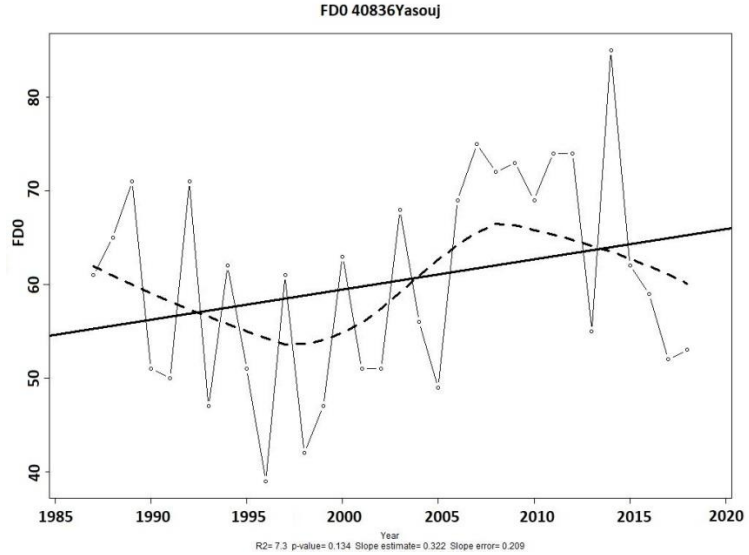
الف) ب)



شکل ۲- روند تغییرات نمایه تعداد روزهای تابستانی در ایستگاههای الف) یاسوج و ب) دوگنبدان



شکل ۳- روند تغییرات نمایه شب‌های حاره‌ای در ایستگاه دوگنبدان



شکل ٤- روند تغییرات نمایه تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه یاسوج

طول دوره رویش (GSL)

نمایه طول دوره رویش یا طول فصل رشد بصورت تعداد روزهای بین اولین دوره با حداقل ٦ روز متوالی، که دمای میانگین روزانه بیشتر از ۵ درجه سلسیوس باشد و اولین دوره ٦ روزه در نیمه دوم سال با دمای میانگین روزانه کمتر از ۵ درجه سلسیوس تعریف می‌شود. تفسیرهای متفاوتی از این نمایه وجود دارد و مشاهده ۳٦۵ روز طول دوره رویش در دوره آماری یا طول دوره‌های کمتر از ۳٦۵ روز نیز در طی دوره آماری وجود دارد. طول دوره رویش ایستگاه دوگنبدان در سال ۱۹۸۵، ۳٦۱ روز و در بقیه سال‌ها بیش از ۳٦٤ روز بوده است. در ایستگاه یاسوج، مقدار این نمایه از ۲٦٤ روز در سال ۱۹۹۲، تا ۳٦٤ روز در سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۷ متفاوت بوده و طی دوره آماری ۱۹۸٦–۲۰۱۸ روند افزایشی معنی‌دار نشان داده است (شکل ۵). بنابراین نمی‌توان تغییرات واقعی طول دوره رویش گیاهان این منطقه را با این نمایه بیان نمود.

بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXx)

نمایه گرمترین روز یا بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، در هر دو ایستگاه روند افزایشی معنی‌داری نشان می‌دهد (شکل ٦).

کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)

روند تغییرات نمایه سردترین روز یا کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه در هر دو ایستگاه مثبت بوده ولی معنی‌دار نیست (جدول ٤). شکل ۷ روند تغییرات این نمایه را در ایستگاه یاسوج نشان می‌دهد.

بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)

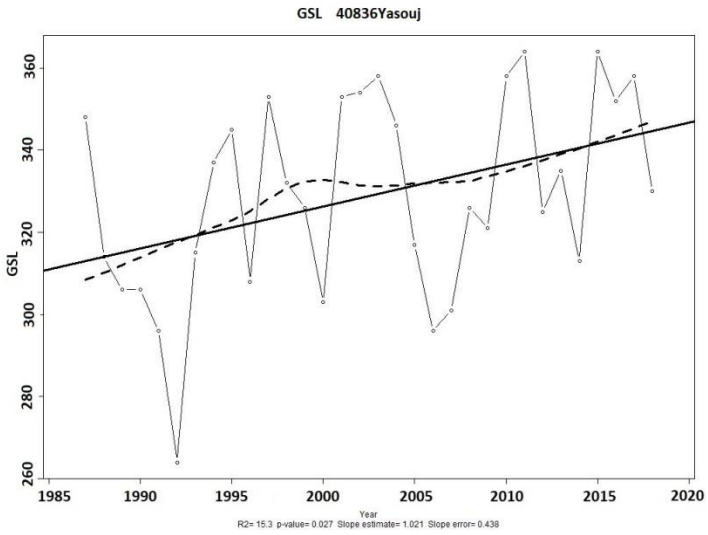
نمایه گرم‌ترین شب یا بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه در ایستگاه دوگنبدان روند مثبت و در ایستگاه یاسوج روند کاهشی نشان می‌دهد که در هیچ‌یک معنی‌دار نیست (جدول ٤). شکل ۸ تغییرات این نمایه را نشان می‌دهد.

کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn)

نمایه سردترین شب یا کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه در ایستگاه دوگنبدان روند کاهشی و در ایستگاه یاسوج روند افزایشی نشان می‌دهد که در هیچ‌یک معنی‌دار نیست (جدول ٤). در شکل ۹ تغییرات این نمایه ارائه شده است.

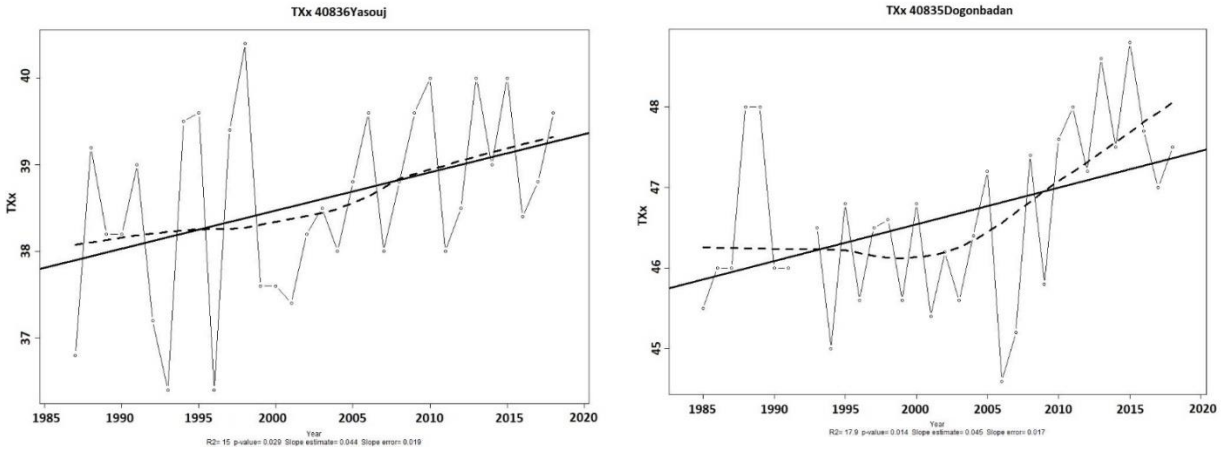
دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR)

روند تغییرات نمایه دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما یا میانگین اختلاف دمای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه یاسوج افزایشی و معنی‌دار است (شکل ۱۰). اما این نمایه در ایستگاه دوگنبدان کاهشی است هرچند روند تغییرات آن معنی‌دار نیست (جدول ٤).

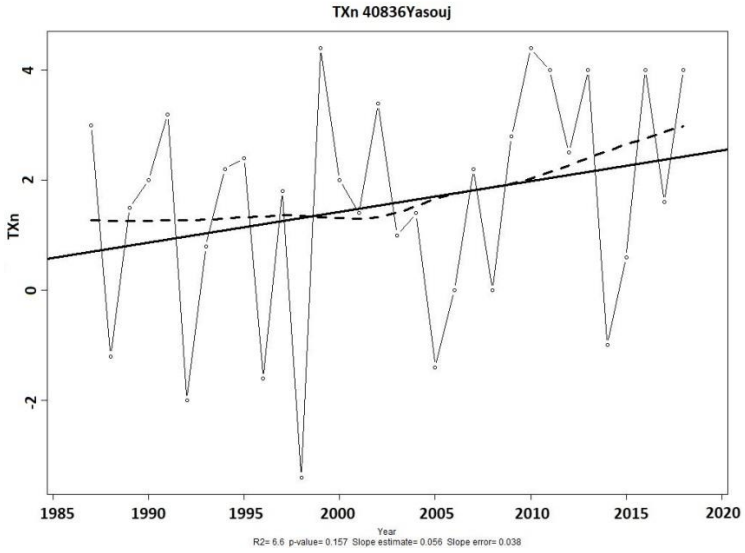


شکل ۲–روند تغییرات نمایه طول فصل رشد در ایستگاه یاسوج در دوره آماری

الف) ب)

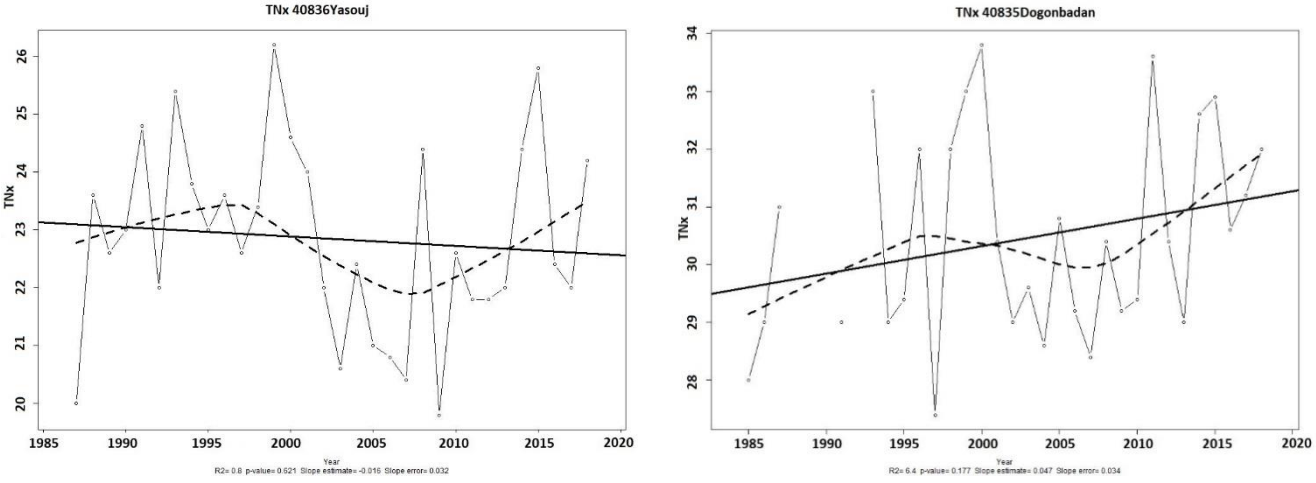


شکل ۳-روند تغییرات نمایه بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج



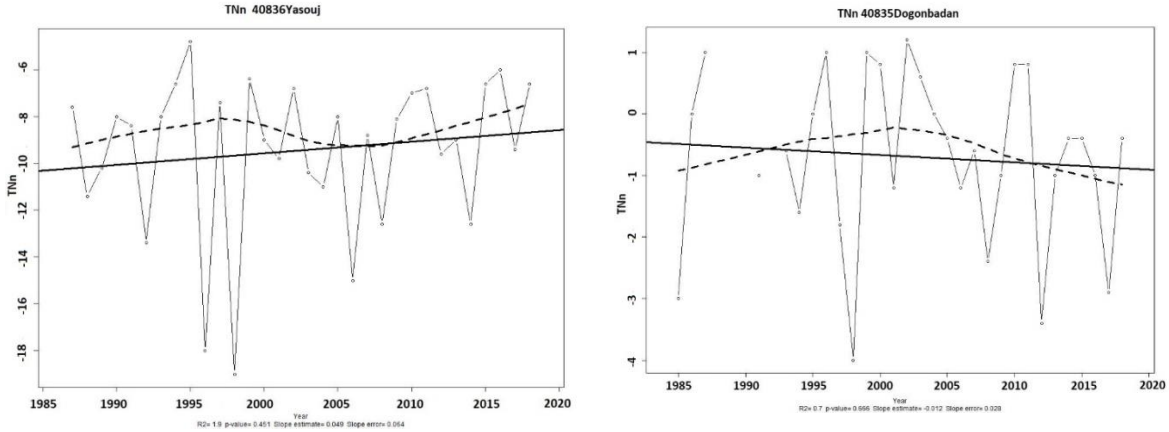
شکل ٤- روند تغییرات نمایه کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه در ایستگاه یاسوج

الف) ب)

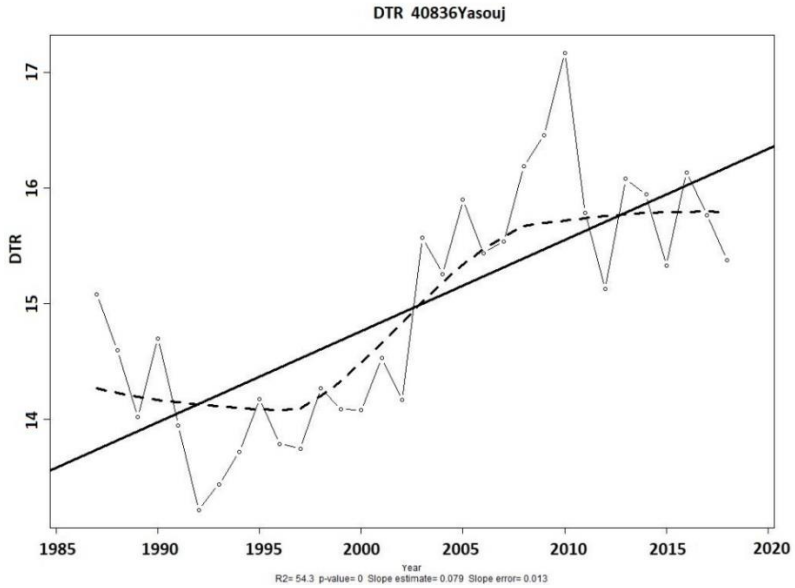


شکل ٥- نمایه بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج

الف) ب)



شکل ٦- تغییرات نمایه کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج



شکل ۷- تغییرات نمایه دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در ایستگاه یاسوج

نمایه‌های فرین بارش

نمایه مقدار سالانه بارش PRCPTOT

این نمایه مجموع بارش در روزهایی که بارش روزانه مساوی یا بیش از یک میلی‌متر بوده را نشان می‌دهد. در هر دو ایستگاه روند منفی داشته (شکل ۱۱) که معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ٤).

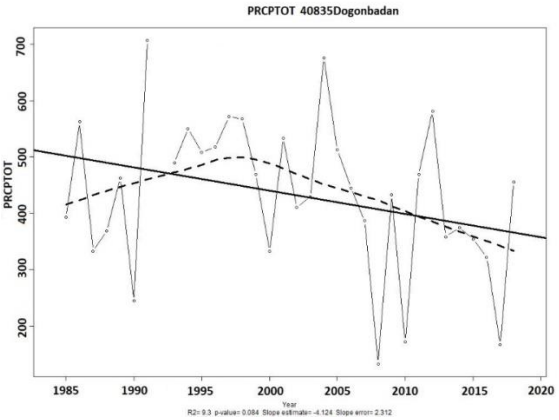
روزهای با بارش سنگین (R10mm)

نمایه روزهای با بارش سنگین که به معنی تعداد روزهای با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر می‌باشد، در هر دو ایستگاه روند کاهشی معنی دار نشان می‌دهد (شکل ۱۲).

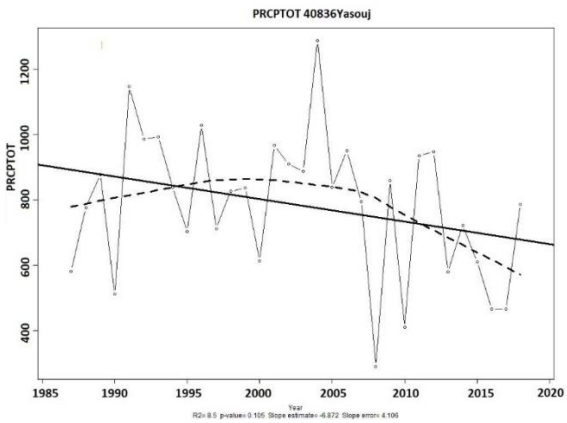
روزهای تر پی‌درپی (CWD)

نمایه روزهای تر پی‌درپی که به معنای بیشترین تعداد روزهای پی‌درپی بارش روزانه بیشتر از یک میلی‌متر می‌باشد در هر دو ایستگاه روند کاهشی نشان می‌دهد که روند تغییرات آن در ایستگاه یاسوج معنی‌دار است، اما در ایستگاه دوگنبدان معنی‌دار نیست (شکل ۱۳).

الف)

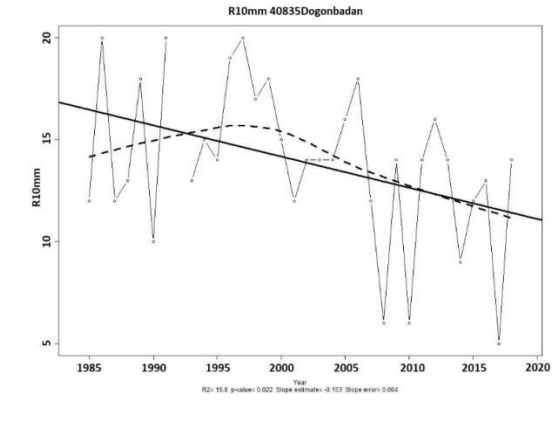


ب)

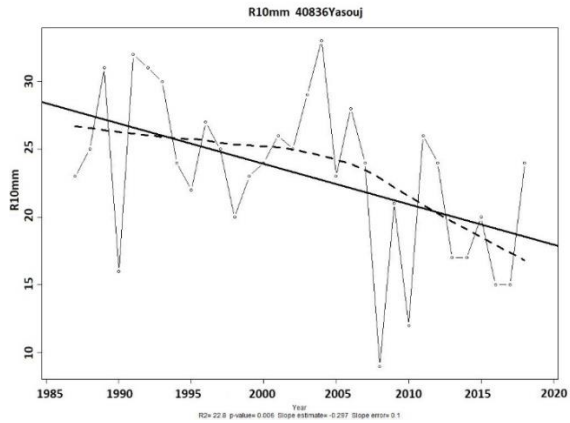


شکل ۸- تغییرات نمایه مقدار سالانه بارش در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج

الف)

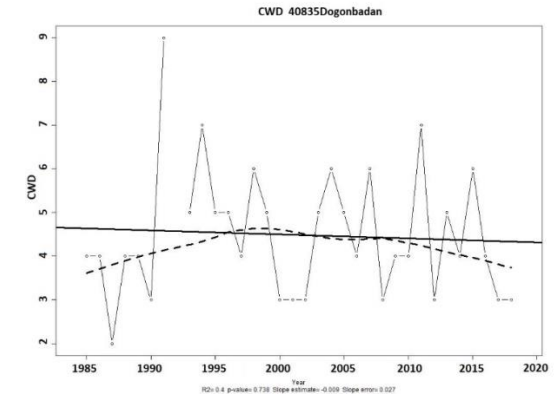


ب)

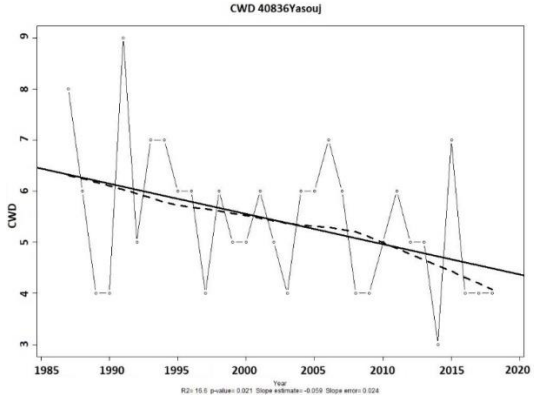


شکل ۹- تغییرات نمایه روزهای با بارش سنگین در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج

الف)



ب)



شکل ۱۰- روند تغییرات نمایه روزهای تر پی‌درپی در ایستگاه‌های الف) دوگنبدان و ب) یاسوج

نتیجه گیری

انسان و محیط زیست اغلب به تغییرات مقادیر بیشینه و کمینه بیش از تغییرات شرایط میانگین واکنش نشان می‌دهند. بنابراین تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر فرین، بیشینه‌ها و کمینه‌ها مهمتر از شرایط متوسط اقلیمی می‌باشد. این مطالعه نمایه‌های فرین سالانه دما و بارش برای استان کهگیلویه و بویراحمد را تحلیل می‌کند که برای دو ایستگاه یاسوج و دوگنبدان در دوره ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۸ انجام

شده است. بررسی روند نمایه‌ها در استان کهگیلویه و بویراحمد در این دوره حاکی از روند کاهشی نمایه‌های فرین بارشی می‌باشد، اگرچه تعداد کمی روند معناداری در طول دوره مورد مطالعه مشاهده شد. بعلاوه، فراوانی رویدادهای گرم نظیر روزها و شب‌های گرم و طول دوره رویش روند افزایشی داشته در حالی‌که فراوانی رویدادهای سرد نظیر روزها و شب‌های سرد، روزهای یخبندان و روزهای یخی کاهشی بوده است و می‌توان با صراحت بیان کرد که مقادیر و رویدادهای فرین مرتبط با دمای کمینه، در مقایسه با دمای بیشینه تغییرات بیشتری پیدا کرده‌اند. نتایج به دست آمده همسو با نتایج هیات بین‌الدول تغییر اقلیم و سایر مطالعات جهانی و ملی (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ علیجانی و همکاران ۱۳۹۱؛ رحیمی و همکاران ۲۰۱۸) است. با توجه به تاثیرتغییرات نمایه‌های فرین دماو بارش در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بشر، مانند انرژی، کشاورزی، بهداشت و محیطزیست، مدیریت منابع آب، طراحی ساختمان و مانند آنها ضرروت دارد که تاثیرات این رویدادهای فرین اقلیمی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست گذاری‌های آینده کشور در بخش‌های مختلف مورد توجه قرارگیرد.

منابع

1. Alijani B., A. Roshani, F. Parak and R. Heydari. 2013. Trends in extreme daily temperature using climate change indices in Iran. Journal of Geography and Environmental Hazards. Vol. 1(2). pp. 17-28.
2. Bonsal B. R., X. Zhang, L. A. Vincent, and W. D. Hogg. 2001. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. Journal of Climate. Vol. 14. pp. 1959-1976.
3. Dashkhuu D., Kim J. P., Chun J. A. and Lee W. S. 2015. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. Weather and Climate Extremes. Vol. 8. pp. 26-33. http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.003i .
4. DeaGaetano A.T., 1996. Recent trends in Maximum and Minimum temperature threshold exceedances in Northern United States. Journal of Climate. Vol. 9(7). pp.1646-1657. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<1646:RTIMAM>2.0.CO;2
5. Erfaniyan, M., Ansari, H., Alizadeh, A. and Banayan Aval, M. 2017. Estimation of Frequency-Continuity-Return Periods of Extreme Climate Indices in Different Parts of Khorasan Razavi Province. Geographical Researches Quarterly Journal. 32(1), 37-50.
6. Frich, P.L., Alexander L., Della- Marta P.M., Gleason B., Haylock M., Klein T.A. and Peterson T.C. 2002. Global changes in climatic extremes during the second half of the 20th century. Climate Research. Vol. 19(3). DOI: 10.3354/cr019193
7. Ghassabi. Z., M. A. Malaki, A. Amiri, M. Pashaeian and R. Yoseefizadeh. 2020. Identification of temporal and spatial distribution of extreme atmospheric indices in Mazandaran province. Journal of Climate Research. Vol 41. pp.119-131.
8. IPCC. 2007. Assessment Report 4, Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC.
9. Jahanbakhsh Asl S., A. M. Khorshiddoost, Y. Din Pazhooh and F. Sarafroozeh. 2015. Trend Analysis and Estimating Return Periods of Extreme Temperature and Precipitation in Tabriz. Geography and Planning. Vol 18. pp. 107-133.
10. Keggenhoff, I. Elizbarashvili M. and king L. 2015. Recent changes in Georgia's temperature means and extremes: Annual and seasonal trends between 1961 and 2010. Weather and Climate Extremes. Vol. 8. pp.34-45. https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.002
11. Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. New York, NY: Oxford University Press.
12. Kouzegaran S. and Mousavi Baygi M. 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. Vol. 29(3). pp. 750-764. DOI: 10.22067/JSW.V0I0.40845.
13. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica 13, 245–259. doi: 10.2307/1907187
14. Peterson T.C. and Vose. R. S. 1997. An overview of the Global Historical

Climatology Network temperature database. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 78. pp. 2837-2850. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2837:AOOTGH>2.0.CO;2

15. Plummer, N. Salinger M.J., Neville N. Suppiah R. Hennessy K.J., Leighton R.M., Trewin B., Page C.M. and Lough J.M. 1999. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zeland during the twentieth century. Climate Change. Vol. 42. pp.183-202.
16. Rahimzade F., A. Asgari, E. Fattahi and N. Omrani. 2009. The trend of extreme temperature climatic indices in Iran during the period 1951-2003. Journal of Geographical Research. Vol 2(93). pp. 119-144.
17. Rahimi M., Mohammadian N., Vanashi A. R. and Whan, K. 2018. Trends in indices of extreme temperature and precipitation in Iran over the period 1960-2014. Open Journal of Ecology. Vol. 8(07), 396.
18. Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E., 2009. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. International Journal of Climatology. Vol. 29. pp. 329–34.
19. Rezaei Banafshe M., F. Sarafroozeh and T.Jalali. 2012. Investigating the trend of extreme temperature and daily rainfall in Urmia lake basin. Geography and planning. Vol. 38. pp. 43-78.
20. Santos C. A. C. D., 2011, Trends in Indices for Extremes in Daily Air Temperature over Utah, USA. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol. 26(1). pp. 19-28.
21. Wang S., Zhang M., Wang B., Sun M. and Li X. 2013. Recent changes in daily extremes of temperature and precipitation over the western Tibetan Plateau, 1973-2011. Quaternary International. Vol. 313-314. pp.110-117. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.03.037
22. Zhang X. and Yang F. 2004. RClimDex (1.0) User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada, Ontario, Canada.
23. Zhai P. Sun A. Ren F., Liu X., Gao B. and Zhang Q. 1999. Changes of climate extremes in China. Climate Change. Vol. 42. pp. 203-218.