

آشکارسازی تغییرات مخاطره خشکسالی هواشناسی تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: زیر حوضه افین)

غزاله کواکبی^{۱*}، محمد موسوی بایگی^۲، امین علیزاده^۳، ابوالفضل مساعدی^۴ مهدی جباری نوقایی^۵

^۱دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، Gh_kavakebi@yahoo.com

^۲استاد گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، mousavi 500@ yahoo.com

^۳استاد گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، alizade@gmail.com

^۴استاد گروه مرتع و ابخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، mosaedi@yahoo.com

^۵استادیار گروه آمار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد، jabbarinm@um.ac.ir

چکیده

در سراسر جهان، خشکسالی در میان تمام خطرات طبیعی از نظر تعداد افرادی که به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دارند، رتبه اول را دارد. اگر تغییرات شدت و توزیع مکانی بارندگی قابل توجه باشد، ممکن است یکی از جدی ترین خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد. در حال حاضر شواهد قوی در مورد گرمایش جهانی وجود دارد. گرمایش جهانی منجر به تغییر در بارندگی و سایر متغیرهای آب و هوایی خواهد شد. با توجه به اینکه مقادیر شاخص خشکسالی تنها نمایانگر شدت خشکسالی با توجه به مقادیر بارش می باشد، لذا در این مطالعه سعی شده است که تنها وضعیت شدت خشکسالی در نظر گرفته نشود، بلکه مخاطره یک واقعه خشکسالی مطالعه شود. برای این منظور از داده های ایستگاه های باران سنجی و تبخیرسنجی واقع در زیرحوضه افین در طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۹ استفاده شد. به منظور پیش بینی و آشکارسازی تغییرات مخاطره خشکسالی براساس شاخص خشکسالی SPEI در طی دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰)، از یک مدل ترکیبی بدست آمده از سه مدل ریزمقیاس اقلیمی پروژه CORDEX استفاده شد. از جمله نتایج این مطالعه می توان به افزایش تعداد وقایع خشکسالی و همچنین تغییر در طبقات شدت خشکسالی در فصل بهار براساس دو سناریو انتشار RCP45 و ۸,۵ اشاره کرد.

واژه های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، مخاطره خشکسالی، آشکارسازی تغییر اقلیم، CORDEX

Detection of Change of Meteorological Drought Hazard under Climate Change (Case Study: Afin sub-basin)

Ghazale Kavakebi¹, Mohammad Mousavi Baygi², Amin Alizade³, Abolfazl Mosaedi⁴ Mahdi Jabbari Noghabi⁵

¹PH.D Student of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad.

²Professor of Water Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

³Professor of Water Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

⁴Professor of Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources and the Environment, Ferdowsi

⁵University of Mashhad⁵Assistant Professor of Statistics Department, Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Across the globe, drought has highest among in the number of people directly affected by natural hazards. If the intensity and distribution of spatial in rainfall be significant, it may be one of the most serious risks of climate change. There is currently strong evidence of global warming. Global warming will lead to changes in rainfall and other climate variables. the drought index values only represent the severity of drought with respect to rainfall, Therefore, in this study, not

only the drought severity situation has been considered, But also the risk of a drought is studied. For this purpose, the data of rain gauge and evapotranspiration stations located in the Afin sub-basin during the statistical period of 1989-2000 were used. In order to predict and detect drought risk changes based on the SPEI drought index during the upcoming period (220-2100), A combination model of three CORDEX downscaled climatic models was used. One of the results of this study is the increase in the number of drought events as well as changes in drought severity classes in the spring based on both RCP 45 and 85 release scenarios.

Keywords: Meteorological Drought, Hazard Dought, Detection of Climate Change, CORDEX

۱ - مقدمه

خشکسالی به عنوان پیچیده ترین، اما کمتر شناخته شده ترین خطر در میان تمام خطرات طبیعی است که نسبت به هر خطر طبیعی دیگر، بیشتر مردم را تحت تاثیر قرار می دهد. در سراسر جهان، خشکسالی در میان تمام خطرات طبیعی از نظر تعداد افرادی که به طور مستقیم تحت تاثیر قرار دارند، رتبه اول را دارد (pandy et al, 2012). مدل های آب و هوایی و مشاهدات ماهواره هر دو نشان می دهد که مقدار کل آب در اتمسفر با سرعت ۷٪ در هر واحد کلوین گرمایش سطحی، افزایش خواهد یافت، این در حالی است که مدل های آب و هوایی پیش بینی می کنند که بارش های جهانی به میزان بسیار کمتر، حدود ۱ تا ۳ درصد در هر کلوین افزایش پیدا می کند. اگر تغییرات شدت و توزیع مکانی بارندگی قابل توجه باشد، ممکن است یکی از جدی ترین خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد. (Farnj J et al, 2007). در حال حاضر شواهد قوی در مورد گرمایش جهانی وجود دارد و بر اساس بسیاری از شواهد متعدد، گروه بین دولتی تغییرات آب و هوایی^{۳۰} نتیجه گرفته است که بیشترین افزایش در دمای هوا در سطح جهانی از اواسط قرن ۲۰م به دلیل افزایش در غلظت گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت انسانی می باشد. گرمایش جهانی منجر به تغییر در بارندگی و سایر متغیرهای آب و هوایی خواهد شد (Pittock, 2003). خشکسالی اغلب به عنوان پدیده آب و هوایی در نظر گرفته می شود. این پدیده از کمبود بارش در مکان و زمان مشتق می شود. تأثیر خشکسالی بر کشاورزی، دسترسی به آب و فعالیت های اجتماعی و اقتصادی منطقه، به عوامل فیزیولوژیکی، محیطی و اجتماعی بستگی دارد. وائو و ویلهایت (۲۰۰۴) ریسک خشکسالی را برای ذرت و سویا در نبراسکا بررسی نمودند. آن ها از داده های هفتگی در طی فصل رشد و دوره های قبل از کشت به عنوان عاملی تاثیرگذار در ریسک استفاده کردند. در این مطالعه، ریسک با روش چند متغیره آماری حساب شد. در انتها، نقشه ریسک پس از اعتبارسنجی، با استفاده از نرم افزار GIS رسم شد. تاثیر کم تغییر آب و هوا بر روی محصول، از نتایج این مطالعه می باشد. شهید و بهراون (۲۰۰۸) در مطالعه ای به ارزیابی ریسک در بخش غربی بنگلادش پرداختند. آن ها در مطالعه ای خود روشی برای ارزیابی مکانی ریسک خشکسالی در بنگلادش را نشان دادند. در واقع یک چارچوب مفهومی که تاکید بر نقش مخاطره و آسیب پذیری در تعیین ریسک دارد. در ابتدا شاخص خشکسالی SPI در محیط GIS به منظور نشان دادن مخاطره خشکالی در گام های زمانی مختلف تهیه شد. سپس عوامل کلیدی اجتماعی و فیزیکی که آسیب پذیری خشکسالی را در بافت بنگلادش تعریف می کنند شناسایی و نقشه های مربوط به موضوعی در سطح منطقه آماده شد. نقشه ترکیبی آسیب پذیری از تجمع نقشه های موضوعی اجتماعی و فیزیکی تهیه شد. بدین ترتیب ریسک به عنوان یک محصول از ادغام مخاطره و آسیب پذیری محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که خشکسالی بیشترین خطر را برای مناطق شمالی و شمال غربی نگلادش را دارا می باشد. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۵)، ریسک خشکسالی هواشناسی را محاسبه نموده اند. آن ها در مطالعه ای خود ریسک را به صورت احتمال عبور از یک پدیده بحرانی، در مدت زمان معین تعیین نموده اند. براساس این تعریف، دوره بازگشت و ریسک تداوم خشکسالی در چهار ایستگاه قدیمی، تهران، مشهد، اصفهان و بوشهر که بیش از ۱۰۰ سال داده بارندگی دارند، مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها با در نظر گرفتن بارندگی مربوط به هر یک از سطوح احتمال و کسر آن از مقادیر بارندگی سالانه، سال های کمبود را مشخص و تداوم های خشکسالی را به ازای سطوح احتمال مذکور را در طول دوره خشکسالی تعیین نمودند. سپس دوره بازگشت و ریسک

³⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007

خشکسالی به ازای سطوح مختلف احتمال خشکسالی و تداوم‌های مربوطه را تعیین کردند. شرافت و همکاران (۱۳۹۳) مطالعه‌ای در زمینه ریسک و مدیریت آن انجام دادند. در این مطالعه که یک مطالعه کیفی می‌باشد به بیان تعاریفی همچون تعریف ریسک (مفهومی فراتراز مخاطره)، ریسک؛ مفهومی علمی و اجتماعی، طبقه‌بندی ریسک، مدیریت بخشی، عامل افزایش ریسک، ساختار مدیریت ریسک، تحلیل ریسک و ارزیابی ریسک پرداخته شده است. در این مطالعه اعلام شد که در حال حاضر به‌منظور سازگاری با بحران آب موجود در کشور و مدیریت پایدار تأمین و توزیع آب، اعمال شیوه‌های مدیریتی صحیح مبتنی بر اصول پایداری یکی از اساسی‌ترین نیازها می‌باشد. به‌منظور طراحی و پیاده‌سازی رویکردهای مدیریتی مناسب، در ابتدا نیاز است که مخاطرات موجود در هر بخش شناسایی شده و ریسک‌های منتج از آنها در تمامی حوزه‌ها اعم از مدیریت آب، منابع طبیعی، محیط‌زیست، اقتصاد، مدیریت شهری و... بررسی گردند. پس از شناسایی ریسک‌ها، مدیران و تصمیم‌گیران بایستی قادر باشند سطح پذیرش آنها را تعیین نمایند. به این معنا که میزان تطبیق و سازگاری با ریسک‌های موجود و سطوح پذیرش این ریسک‌ها از جانب مصرف‌کنندگان باید تعیین شود. آقاییان و همکاران (۱۳۹۴) در چند نمونه از اقلیم کشور ارزیابی کمی از خشکسالی ارائه دادند. در واقع، هدف از این مطالعه کمی کردن ریسک خشکسالی کشاورزی و مقایسه آن بر اساس نوع محصول و نوع اقلیم می‌باشد. جهت دستیابی به این مهم از مفهوم کمی ریسک که عبارت است از حاصلضرب میزان بلیه در آسیب پذیری استفاده گردیده است. آن‌ها به‌منظور کمی کردن بلیه، از شاخص خشکسالی RDI و SPI استفاده کردند. به‌منظور کمی‌سازی آسیب‌پذیری با توجه به اینکه اثرات خشکسالی در نهایت بر روی عملکرد محصول خواهد بود بنابراین عملکرد محصول می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری محصولات در برابر خشکسالی باشد.

با توجه به اینکه مقادیر شاخص خشکسالی تنها نمایانگر شدت خشکسالی با توجه به مقادیر بارش می‌باشد، لذا در این مطالعه سعی شده است که تنها وضعیت شدت خشکسالی در نظر گرفته نشود، بلکه مخاطره یک واقعه خشکسالی مطالعه شود. براساس تعریف، مخاطره یک خشکسالی، عبارت است از احتمال وقوع هر واقعه خشکسالی در شدت آن خشکسالی (ساکریس و همکاران، ۲۰۰۷ و جوردن، ۲۰۱۱). در این مطالعه وضعیت مخاطره خشکسالی برای دوره پایه و زمان آتی به صورت یک مطالعه موردی در زیرحوضه آبریز افین انجام شده است.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه آبریز افین، واقع در بین عرض‌های ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی تا ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی تا ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه ۶۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد. این زیرحوضه در حوضه اسفدن واقع شده است. اسفدن از سمت شمال شرقی با روزن و پس از آن با نمکزار خواف و از سمت شمال غربی به قائن، از سمت جنوب شرقی به شاهرخت و از سمت جنوب غربی به سده و پس از آن بیرجند در ارتباط است. متوسط بارندگی در منطق حدود ۱۵۶/۴ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه، ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، به دو دسته داده‌های مشاهداتی و داده‌های دوره آتی حاصل از مدل‌های اقلیمی دسته بندی می‌شود. به منظور محاسبه شاخص خشکسالی SPEI نیاز به داده‌های بارش و داده‌های دمایی می‌باشد. چرا که اساس محاسبه شاخص SPEI اختلاف میان بارش و تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک موجود نمی‌باشد، لذا دستیابی به برخی از پارامترهای لازم برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل فائو امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین در این مطالعه از روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل استفاده شد. بنابراین داده‌های مورد استفاده، بارش، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و متوسط دما در ارتفاع ۲ متری سطح زمین در مقیاس ماهانه می‌باشد. دوره آماری این مطالعه برای دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۵ می‌باشد. برای دستیابی به داده‌های آتی چهار پارامتر مذکور، از خروجی‌های ریزمقیاس شده پروژه CORDEX استفاده شد. دوره بررسی برای آینده، ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ می‌باشد.

روش تحقیق

در ابتدا داده‌های مشاهداتی حاصل از دو ایستگاه باران سنجی (داده های بارش)، دو ایستگاه تبخیرسنجی (داده های متوسط دمای حداقل، حداکثر و ۲ متری از سطح زمین) با استفاده از آزمون‌های آماری پایه، صحت، نرمال بودن، تصادفی بودن و عدم وجود داده پرت در آن‌ها بررسی شد (آزمون‌های انجام شده در این قسمت عبارتند از من- ویتنی، آزمون توالی و گروبز- بک). پس از آن شاخص خشکسالی SPEI محاسبه شد. برای محاسبه مخاطره خشکسالی از روش ذیل استفاده شد:

$$H = P(x)class * I \quad (1)$$

در معادله فوق $P(x)class$ نمایانگر احتمال فوق هر طبقه خشکسالی می‌باشد. برای محاسبه طبقه خشکسالی هر طبقه، با توجه به جدول طبقه بندی خشکسالی و با توجه به اینکه چهار طبقه خشکسالی (خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید) موجود می‌باشد، با استفاده از جدول Z نرمال و با توجه به مقادیر شدت خشکسالی هر طبقه، احتمال وقوع خشکسالی برای هر طبقه محاسبه شد (جدول ۲). I نیز بیانگر شدت خشکسالی SPEI برای هر واقعه خشکسالی می‌باشد. در ادامه مطالعه، برای محاسبه مخاطره خشکسالی دوره آتی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های ریزمقیاس شده خروجی مدل‌های CORDEX استفاده شد. با توجه به اینکه چهار پارامتر مورد نیاز می‌باشد و مطالعه براساس دو سناریوی انتشار RCP45 و RCP85 استوار است، لذا از میان چندین مدل موجود در دامنه MNA این پروژه که مناسب برای منطقه افین می‌باشد سه مدل GFDL-ESM2M، CNRM-CERFAC و ICHEC-EC-EARTH استفاده شد. با توجه به اینکه مقادیر حاصل از این مدل‌ها بخصوص برای پارامتر بارش، بسیار کم برآوردی را نشان دادند، لذا نیاز به تصحیح داده‌ها وجود داشت. بنابراین از روش تغییر فاکتور ضربی برای داده‌های بارش و روش تغییر فاکتور جمعی برای داده‌های بارش استفاده شد. پس از این مراحل، با استفاده از روش بیزین، وزن هر مدل (معادله ۲) برای مدل ترکیبی از سه مدل اقلیمی محاسبه و یک مدل ترکیبی تهیه شد و داده‌های حاصل از این مطالعه ترکیبی برای محاسبه شاخص خشکسالی SPEI و پس از آن برای محاسبه مخاطره خشکسالی استفاده شد.

مقیاس مورد مطالعه، مقیاس فصلی (پاییز، زمستان، بهار) می‌باشد.

لازم به ذکر است که تمامی محاسبات با استفاده از نرم افزار R، انجام شده است. برای استفاده از خروجی‌های مدل‌ها اقلیمی از نرم افزارهای GrADS و NCO تحت سیستم عامل Linux استفاده شد.

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص‌های SPI و SPEI

توصیف وضعیت	طبقات شاخص
رطوبت بسیار شدید	بیشتر از ۲
رطوبت شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

جدول ۲. احتمال وقوع طبقات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی SPEI

اختصار	نام کامل	توصیف وضعیت	طبقات شاخص	مقدار احتمال طبقه
M	Midl	خشکسالی خفیف	۰ تا ۰/۹۹-	۰/۳۱۵۹
Mu	Medum	خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-	۰/۰۹۰۶
S	Sever	خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-	۰/۰۴۴۵
XS	Extra Sever	خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-	۰/۰۲۲۶

$$W_{i,j} = \frac{1}{\Delta p(T)_{i,j}} \frac{1}{\sum_{j=1}^n \Delta p(T)_{i,j}}$$

$\Delta p(T)_{i,j}$ اختلاف میانگین بارش (دما) شبیه سازی شده دوره آینده از داده های دوره مشاهداتی $W_{i,j}$ وزن داده شده برای هر مدل

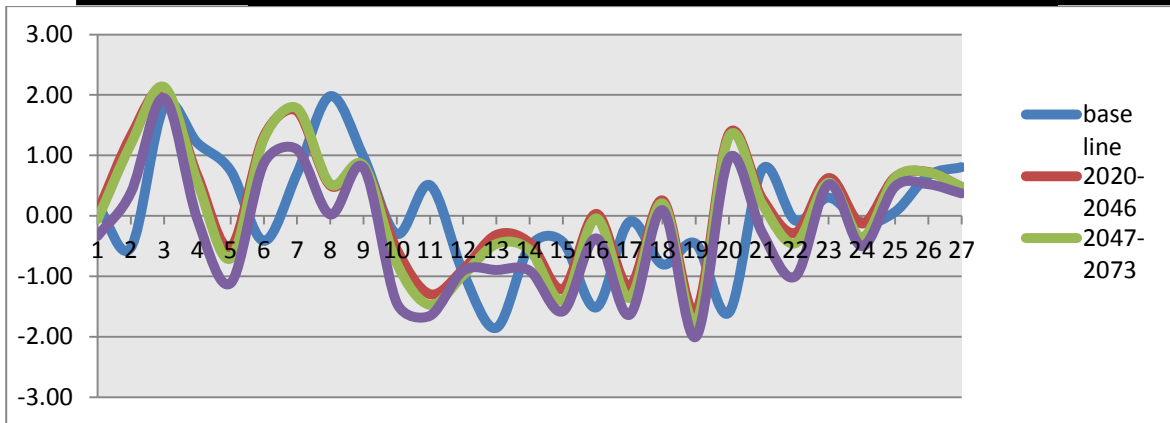
(۲)

۳- نتایج و بحث

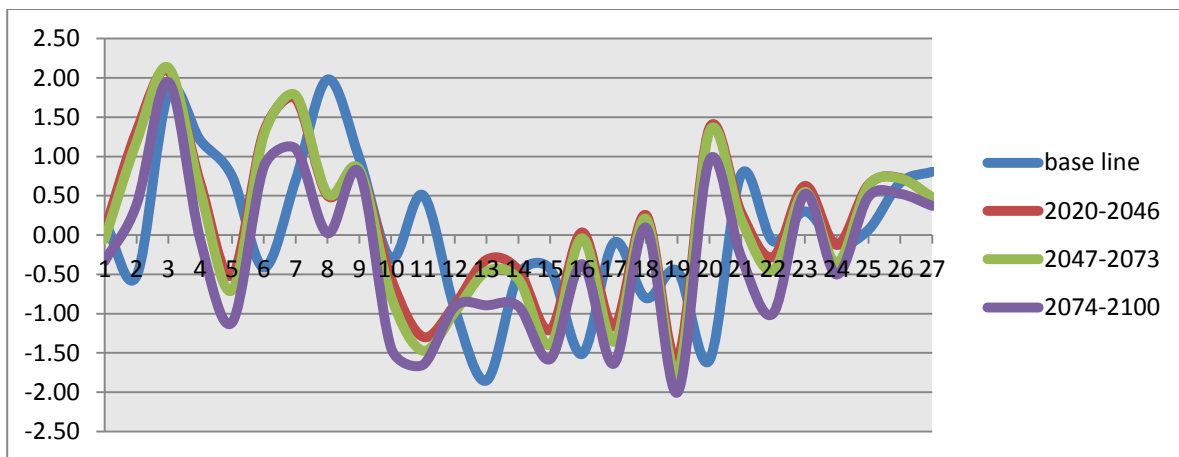
به منظور بررسی بهتر تغییرات خشکسالی ها و مخاطرات خشکسالی ها در دوره زمانی آینده، دوره مورد بررسی ۲۱۰۰-۲۰۲۰ را به سه دوره ۲۷ ساله آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۶) آینده میانی (۲۰۴۶-۲۰۷۳) و آینده دور (۲۰۷۳-۲۰۹۹) تقسیم شد. در بررسی شدت های مختلف خشکسالی در طی دوره آتی و براساس سناریوهای انتشار RCP85 و RCP45 نتایج ذیل مشاهده شد، که به تفکیک مقیاس زمانی مورد بررسی ارائه می شود.

در فصل پاییز و باتوجه به سناریو RCP45، تعداد وقایع خشکسالی در طبقات مختلف شدت خشکسالی در آینده نزدیک تفاوتی با دوره پایه (دوره مشاهداتی، ۱۹۸۹-۲۰۱۵) را نشان نمی دهد. در آینده میانی نیز تفاوت با دوره پایه وجود ندارد و در این دوره تنها تفاوت، انتقال خشکسالی ها به طبقه شدت خشکسالی خفیف می باشد. دوره آینده دور نیز وضعیت مشابه با دور دوره آینده نزدیک و میانی را نشان داده است. با توجه به سناریو انتشار RCP85 در هیچ یک از سه دوره مورد بررسی، تفاوتی معنی داری در تعداد وقایع خشکسالی و یا طبقه شدت خشکسالی با دوره پایه را نشان نمی دهد. در فصل زمستان براساس سناریو انتشار RCP45 تعداد وقایع خشک سالی تفاوت معنی داری با دوره پایه نخواهد داشت اما در دوره میانی و دور تعداد وقایع خشکسالی در بیشتر از دوره پایه، خواهد بود. اگرچه که این افزایش وقایع خشکسالی در طبقه شدت خشکسالی خفیف خواهد بود. باتوجه به سناریوی انتشار RCP85 دوره آینده نزدیک، از نظر تعداد وقایع خشکسالی و حتی طبقات شدت خشکسالی، همانند دوره پایه خواهد بود. در دوره میانی، شدت خشکسالی ها نسبت به دوره پایه تغییراتی را نشان می دهد، بدین ترتیب که خشکسالی ها از طبقه متوسط به طبقه خفیف انتقال پیدا کرده است. اما در دوره دور علاوه بر تفاوت در تعداد خشکسالی ها، تفاوت در طبقات شدت خشکسالی نیز مشاهده شد، و بیشتر خشکسالی ها به طبقه متوسط و شدید انتقال داشته است.

در مشاهدات فصل بهار، مشخص گردید که براساس سناریوی انتشار RCP45 تغییراتی در تعداد وقایع و یا حتی طبقات خشکسالی نسبت به دوره پایه مشاهده نمی شود، اما در دوره میانی تعداد وقایع خشکسالی و طبقات شدت خشکسالی تغییر کرده و به طبقات شدت خشکسالی متوسط و شدید تمایل یافته است. در دوره دور نیز وضعیت همانند دوره میانی خواهد بود و در برخی از موارد شدت خشکسالی ها کمی بیشتر از دوره میانی، دیده شد. با توجه به سناریو انتشار RCP85 تعداد وقایع خشکسالی در آینده نزدیک، میانی و دور بیش تر از دوره پایه دیده می شود. در این افزایش تعداد وقایع خشکسالی ها تعداد نصفی از این وقایع در طبقات خشکسالی متوسط و شدید قرار خواهد گرفت.



نمودار ۱- نمودار مقادیر شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس ۹ ماهه منتهی به آبان (نوامبر- دسامبر) در دوره پایه و سه دوره آتی براساس سناریو RCP45



نمودار ۲- نمودار مقادیر شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس ۹ ماهه منتهی به آبان (نوامبر- دسامبر) در دوره پایه و سه دوره آتی براساس سناریو RCP85

همان طور که از نمودارهای ۱ و ۲ مشخص است، روند تغییرات خشکسالی در دوره‌های آتی همانند روند تغییرات در دوره پایه می‌باشد. این وضعیت یکسان روند مقادیر خشکسالی در دوره‌های آتی و دوره پایه در تمامی مقیاس‌های مورد بررسی و براساس هر دو شاخص خشکسالی مشاهده شد.

در بحث آشکارسازی وجود تغییر اقلیم و تاثیر آن بر مخاطرات خشکسالی‌های هواشناسی، که با استفاده از آزمون مقایسه میانگین من- ویتنی انجام شد، مشخص گردید که در تمامی دوره‌ها (آینده نزدیک، میانی و دور) و در مقایسه با دوره پایه و همچنین با توجه به دوسناریو انتشار مورد بررسی در این مطالعه، اختلاف معنی‌دار بین هر یک از دوره‌ها با دوره پایه می‌باشد. همچنین در مقایسه‌ای که بین هر یک از دوره‌های ۲۷ ساله مورد بررسی با دوره ۸۱ ساله آتی (دوره کل ۲۰۲۰-۲۱۰۰) انجام شد نیز دیده شد که تمامی دوره‌ها نسبت به دوره کل دارای میانگین معنی‌داری می‌باشند.

۴- نتیجه گیری و جمع بندی

با توجه به تمامی نتایج بیان شده میتوان دریافت که به طور کلی بیشترین تغییرات در خشکسالی، بیشتر در مقیاس فصلی بهار خواهد شد که البته با توجه به سناریوی مورد بررسی مقدار تغییرات متفاوت خواهد بود، به طوری که براساس سناریوی RCP45 مقدار تغییرات در وقایع و طبقات شدت خشکسالی کمتر از RCP85 خواهد بود. پس از این فصل، فصل زمستان، تغییرات در وقایع خشکسالی را خواهد داشت. فصل پاییز کمتر از دو فصل دیگر دستخوش تغییرات

خواهد بود. شاید یکی از دلایل این امر، وجود بارش‌های عمده در فصل بهار و زمستان و وجود یک رژیم مدیترانه‌ای در این منطقه باشد.

باتوجه به بررسی مقایسات میانگین‌ها، مشخص شده‌است که در تمامی دوره‌ها و در مقایسه با دوره پایه و حتی در مقایسه هر دوره با دوره آتی کل، اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود. این اختلافات می‌تواند آشکار کننده تغییر در وقوع خشکسالی - ها به دلیل تغییر اقلیم که ناشی از کاهش بارش و افزایش دما در زیرحوضه افین است، باشد.

۵- منابع

- آقایان، ع. کمالی، غ. حجام، س. ۱۳۹۴. ارزیابی کمی ریسک خشکسالی کشاورزی در چند نمونه اقلیمی کشور. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی. ۲۱ و ۲۲. ۶۱-۷۲.
- خلیلی، ع. بذرافشان، ج. ۱۳۸۵. ارزیابی دوره بازگشت و ریسک تداوم خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه در ایستگاه‌های قدیمی ایران. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ۳ و ۴ بهمن. اصفهان.
- قاسمی‌نژاد. س. سلطانی. س. سفیانیان. ع.ر. ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۸ (۶۸). ۲۲۵-۲۱۳.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), *Climate Change 2007: The Physical Basis, Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- Tsakiris, G. and Tsigkas D. 2007(b) Drought risk in agriculture in Mediterranean regions, Case study: Eastern Crete. Chapter 19 in Rossi, G. et al (Eds), *Methods and tools for drought analysis and management*. Springer, pp. 399-414.
- Wu, H. and Wilhite, D. A. 2004. An Operational Agricultural Drought Risk Assessment Model for Nebraska, USA. *Natural Hazards*. 33: 1-21.
- Tsakiris, G. and Tsigkas D. 2007(b) Drought risk in agriculture in Mediterranean regions, Case study: Eastern Crete. Chapter 19 in Rossi, G. et al (Eds), *Methods and tools for drought analysis and management*. Springer, pp. 399-414.
- Tsakiris, G. 2009. A Paradigm for Applying risk and Hazard Concepts in Proactive Planning. Chapter 7 in Iglesias, A. et al (Eds), *coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. Springer. Pp. 81-91.

شبیه‌سازی و پیش‌نگری شاخص‌های حدی دمای حداقل بر اساس سناریوهای RCP، استان خراسان جنوبی (مطالعه موردی: بیرجند)

سعیده کوزه‌گران^{۱*}، محمد موسوی بایگی^۲، ایمان باباییان^۳، عباس خاشعی^۴

^۱دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب

^۲استاد هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب

^۳استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد

^۴دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

چکیده

تغییرات اقلیم، بزرگی و فراوانی ناشی از وقایع حدی آب و هوایی را افزایش می‌دهد. پیش‌بینی و پایش درازمدت شرایط آب و هوایی و وقایع حدی اقلیمی در هر منطقه می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض تغییرات آب و هوایی باشد. در این مطالعه جهت بررسی شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره هیستوریکال و آینده به شبیه‌سازی و پیش‌نگری این شاخص‌ها بر اساس سناریوهای RCP4.5, 8.5 پرداخته شد. از داده‌های روزانه درجه حرارت ایستگاه بیرجند در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۲ استفاده شد. جهت بررسی روند نمایه‌های حدی درجه حرارت حداقل، ۸ شاخص دمای حداقل که توسط تیم کارشناسی ETCCDMI تعریف شده توسط نرم افزار RCLimindex محاسبه شد. جهت پیش‌نگری آینده رویدادهای حدی اقلیمی از داده‌های روزانه درجه حرارت‌های حداقل مدل MPI-ESM-LR برای بررسی روند تغییرات در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰) و بر اساس دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه مورد مطالعه استفاده شد. به طور کلی نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد بوده در حالیکه، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند. شدت تغییرات، روند افزایشی گرم شدن و روند کاهش شاخص‌های سرد در سناریوی RCP 8.5 در دوره مورد بررسی در مقایسه با دوره مشابه بیشتر از سناریو RCP4.5 بود. به طوریکه تقریباً تمام شاخص‌ها دارای روند معنادار و با شیب بیشتری همراه بودند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های حدی، درجه حرارت حداقل، تغییر اقلیم، سناریوهای RCP

۱ - مقدمه

مشخصه اصلی تغییر اقلیم جابه‌جایی میانگین پارامترهای اقلیمی و افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی می‌باشد (WMO, ۱۹۹۸). تغییرات اقلیم، بزرگی و فراوانی ناشی از وقایع حدی آب و هوایی را افزایش می‌دهد (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۸). پیش‌بینی و پایش درازمدت شرایط آب و هوایی در هر منطقه می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض تغییرات آب و هوایی باشد (احترامیان و همکاران، ۱۳۸۳). در حال حاضر محققین با استفاده از خروجی مدل‌های گردش کلی و ریزگردانی آنها توانسته‌اند تا حدودی وضعیت اقلیم جهان را تا سال ۲۱۰۰ مدلسازی نمایند (مساح‌بوانی و همکاران، ۱۳۸۹). تغییرات و نوسانات اقلیمی می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی، محیط زیست، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. نمایه‌های حدی اقلیمی توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) به عنوان پدیده‌های اقلیمی و هواشناسی نادر که فراتر از یک حد آستانه می‌باشد تعریف شده است. تغییرات پارامترهای اقلیمی طی قرن آتی که توسط مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت اجرا می‌شود، برآورد

می‌گردد. هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود AR5^{۳۱} از سناریوهای جدید RCP^{۳۲} به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. مطالعات مختلف و متنوعی در سراسر دنیا بر روی تاثیر عوامل اقلیمی، تغییر اقلیم و رخداد‌های حدی صورت گرفته است. وینسنت و همکاران (۲۰۰۵) به مطالعه شاخص‌های حدی روزانه در آمریکای جنوبی در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۰ پرداختند. نتایج روند قابل ملاحظه‌ای را در دمای مینیمم نشان داد. کریستیدیس و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند از سال ۱۹۵۰ دمای حداقل و حداکثر در نیمکره شمالی افزایش قابل توجهی داشته که باعث تغییر در شدت رویدادهای حدی مانند خشکسالی شده است. الکساندر و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهش خود نشان دادند که روندهای سالانه کمترین و بیشترین دمای حداقل و حداکثر روزانه در یک سال طی نیمه دوم قرن بیستم در بسیاری از مناطق جهان افزایش یافته است. ایم و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی ساختار فضایی و زمانی روندهای حال و آینده شاخص‌های حدی اقلیمی در کره طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۱۰۰ پرداختند و از داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و داده‌های بارش برای بررسی شاخص‌ها و شدت، تداوم و فراوانی وقایع استفاده کردند. محمدی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی روند شاخص‌های حدی بارش و دمای تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۵ با استفاده از سری‌های زمانی روزانه دمای حداکثر، حداقل و بارش پرداختند. ورشوایان و همکاران (۱۳۹۰) روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه را در یک دوره ۴۴ ساله در هشت ایستگاه سینوپتیک کشور مورد بررسی قرار دادند.

باباییان و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی برخی نمایه‌های حدی اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب سواحل دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی پرداختند. در این مطالعه برخی رخداد‌های حدی اقلیمی آینده تحت دو سناریوی A2 و B2 حاصل از برونداد ریزمقیاس شده مدل گردش عمومی HadCM3 با بکارگیری مدل ریزمقیاس کننده SDSM شبیه‌سازی گردید و تاثیر تغییر اقلیم بر رویدادهای حدی اقلیمی بررسی شد. در این پژوهش به بررسی روند شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره هیستوریکال و آینده نزدیک در راستای پرداختن به هدف تحقیق، شبیه‌سازی و پیش‌نگری شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل بر اساس سناریوهای RCP استان خراسان جنوبی، پرداخته شد.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

استان خراسان جنوبی دارای شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست، و آب و هوای نیمه خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. این مطالعه در شهرستان بیرجند با طول جغرافیایی ۵۹/۲ و عرض جغرافیایی ۳۲/۹ با ارتفاع ۱۵۰۴ متر و با اقلیم خشک انجام شده است. آمار داده‌های اقلیمی در دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند از سازمان هواشناسی دریافت شد.

در این مطالعه جهت بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی، شاخص‌های دمای حداقل که توسط تیم کارشناسی ETCCDMI^{۳۳} تعریف شده استفاده شد. این شاخص‌ها توسط نرم افزار RclimDex برآورد می‌شود نرم افزار RclimDex توسط بخش تحقیقات اقلیمی هواشناسی کانادا در محیط R 1.84 تهیه شده که، منوط به نصب و راه اندازی زبان برنامه نویسی R می‌باشد در این نرم افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست چک شده و داده‌های پرت بررسی می‌شود. این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰.۰۵ برآورد می‌گردد.

در این مطالعه جهت دریافت داده‌های روزانه درجه حرارت حداقل، خروجی داده‌های مدل اقلیم جهانی که طی طرح CORDEX^{۳۴} (پروژه هماهنگ ریزمقیاس نمایی اقلیمی منطقه ای) ریزمقیاس شده بود، تهیه شد. داده‌ها برای مدل MPI-ESM-LR با فرض دوسناریو RCP4.5 و RCP8.5 جهت انجام مطالعه برای بررسی روند تغییرات آینده دریافت شد. روش‌های مختلفی جهت ریزمقیاس نمودن و تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی

31- Fifth Assessment Report

32- Representative Concentration Pathways

33-ETCCDM: Expert Team on Climate Change Detection Monitoring

34 Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

مدل‌های گردش کلی وجود دارد در این تحقیق از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری استفاده شده است. در این روش پس از تعیین تابع مطلوب، متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس که توسط مدل‌های گردش کلی در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شده اند، به عنوان ورودی در این توابع اعمال شده و متغیر سطحی مورد نظر نتیجه خواهد شد.

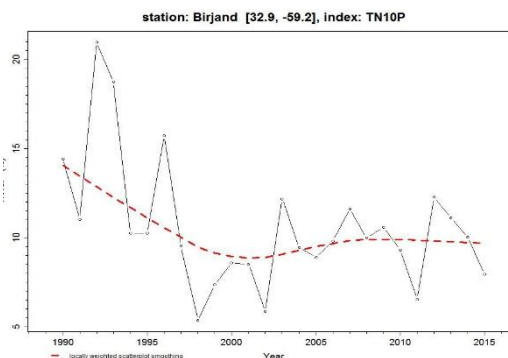
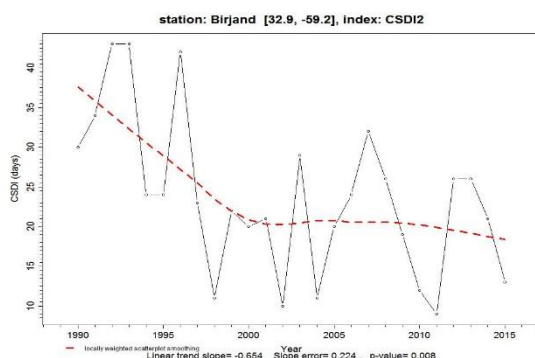
جدول ۱- شاخص‌های حدی دما توصیه شده توسط گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

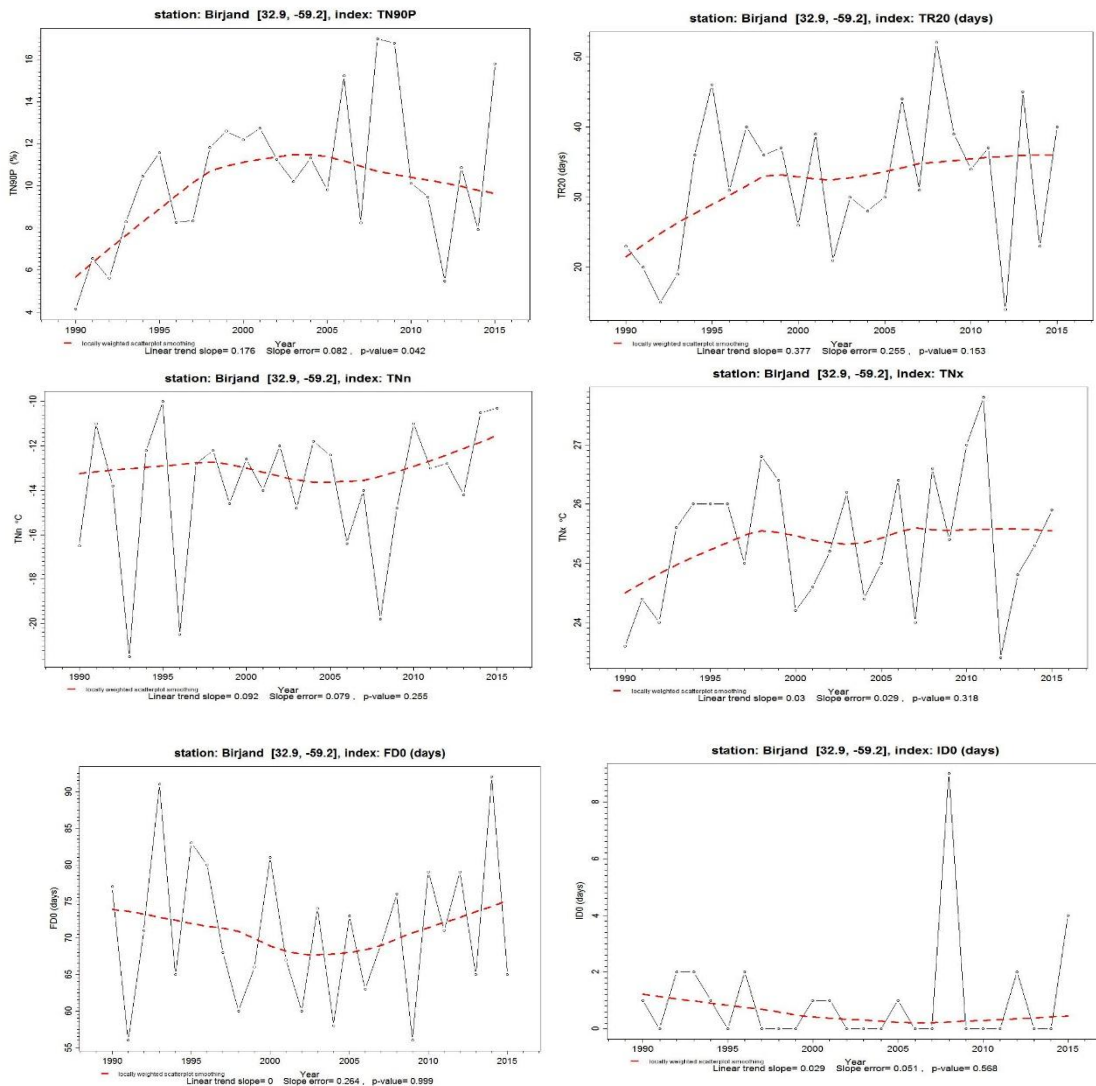
ردیف	شاخص	معرفی شاخص	یکا
۱	FD	تعداد روزهای یخبندان، دمای حداقل روزانه $> 0^{\circ} C$ (Number of Frost Days)	روز
۲	ID	تعداد روزهای یخی، دمای حداکثر روزانه $> 0^{\circ} C$ (Number of Ice Days)	روز
۳	TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای (دمای حداقل روزانه $< 20^{\circ} C$) Tropical nights	روز
۴	TNx	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Tmin Maximum)	$^{\circ} C$
۵	TNn	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (Minimum Tmin)	$^{\circ} C$
۶	TN90P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد (Warm Nights)	روز
۷	TN10P	شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (Warm Nights)	روز
۸	CSDI2	نمایه طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل ۲ روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد (Cold Spell Duration Index)	روز

۳ نتایج و بحث

شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل

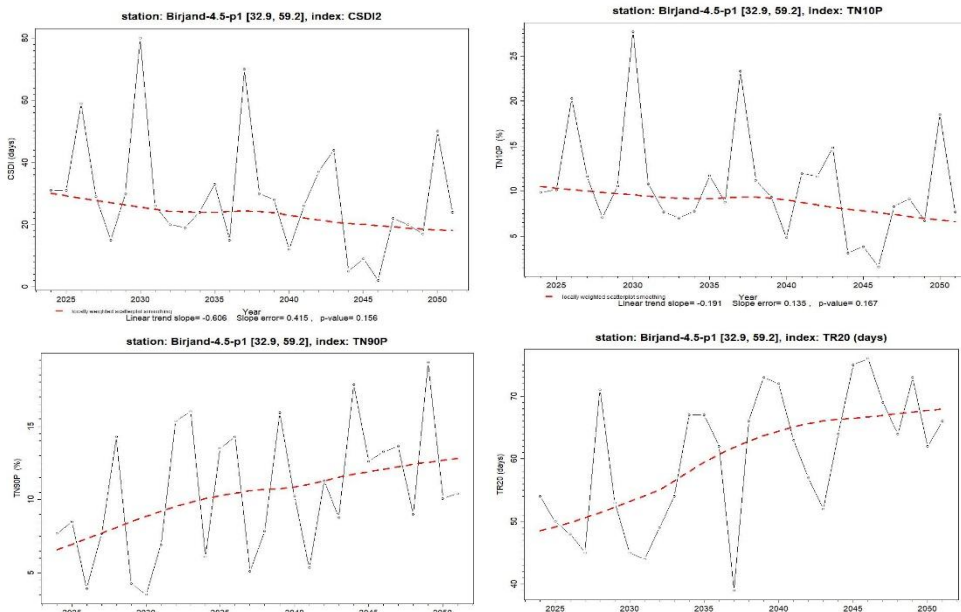
شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل که شامل تعداد روزهای یخبندان (FD)، تعداد روزهای یخی با دمای حداکثر زیر صفر درجه سانتی‌گراد (ID)، تعداد شب‌های حاره‌ای با دمای حداقل بیشتر از $20^{\circ} C$ درجه سانتی‌گراد (TR20)، شب‌های گرم که به صورت درصد روزها با دمای حداقل بیشتر از صدک نودم می‌باشد (TN90P)، شب‌های سرد در صورت روزها با دمای حداقل کمتر از صدک دهم (TN10P)، شاخص طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل دو روز متوالی دمای حداقل آنها کمتر از صدک دهم باشد (CSDI)، بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx)، کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) می‌باشد. برازش نمودار روزهای یخبندان نشان‌دهنده عدم وجود روند مشخصی در ایستگاه بیرجند می‌باشد. شاخص روزهای یخی از روند خاصی برخوردار نبود و تعداد روزهای یخی در ایستگاه بسیار کم و در بیشتر سال‌ها صفر بوده است. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای در ایستگاه دارای روند مثبت بوده اگرچه این روند معنادار نبوده است. در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10P) درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد تغییر یافته است و روند کاهشی و معنادار دارد که نشان‌دهنده کاهش شب‌های سرد در بیرجند می‌باشد. شب‌های گرم که به صورت درصد روزها با دمای حداقل بیشتر از صدک نودم می‌باشد (TN90P) دارای روند مثبت و معنادار می‌باشد. شاخص CSDI که بیانگر طول دوره سرما می‌باشد در ایستگاه از روند کاهشی و معناداری برخوردار بود. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) و شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) در ایستگاه روند افزایشی و فاقد روند معنادار بوده است، که بیانگر افزایش دما و کاهش روزهای سرد می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد می‌باشد در حالیکه، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند.

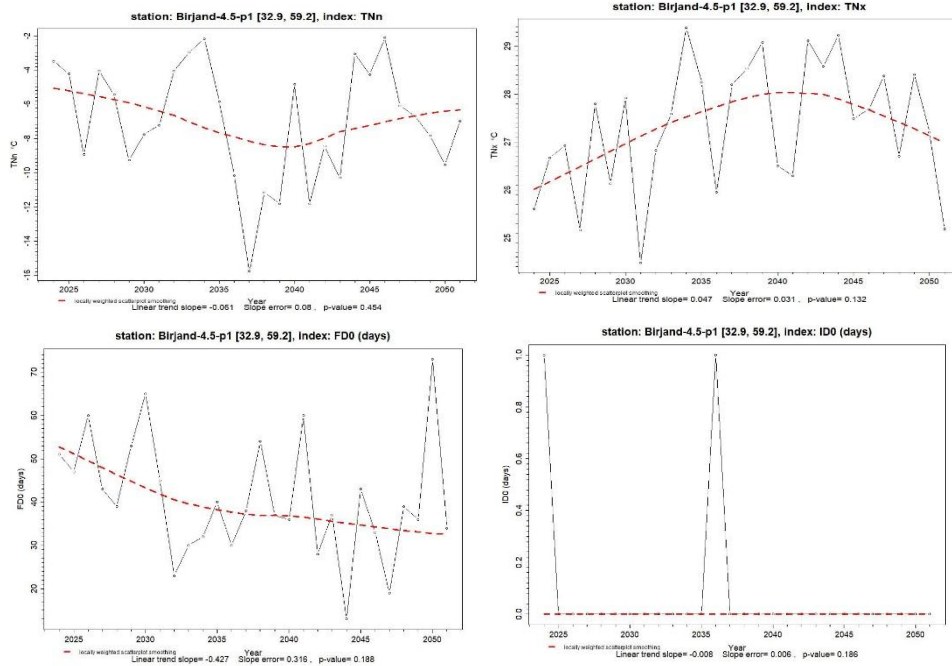




شکل ۱- نمودار روند تغییرات شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵

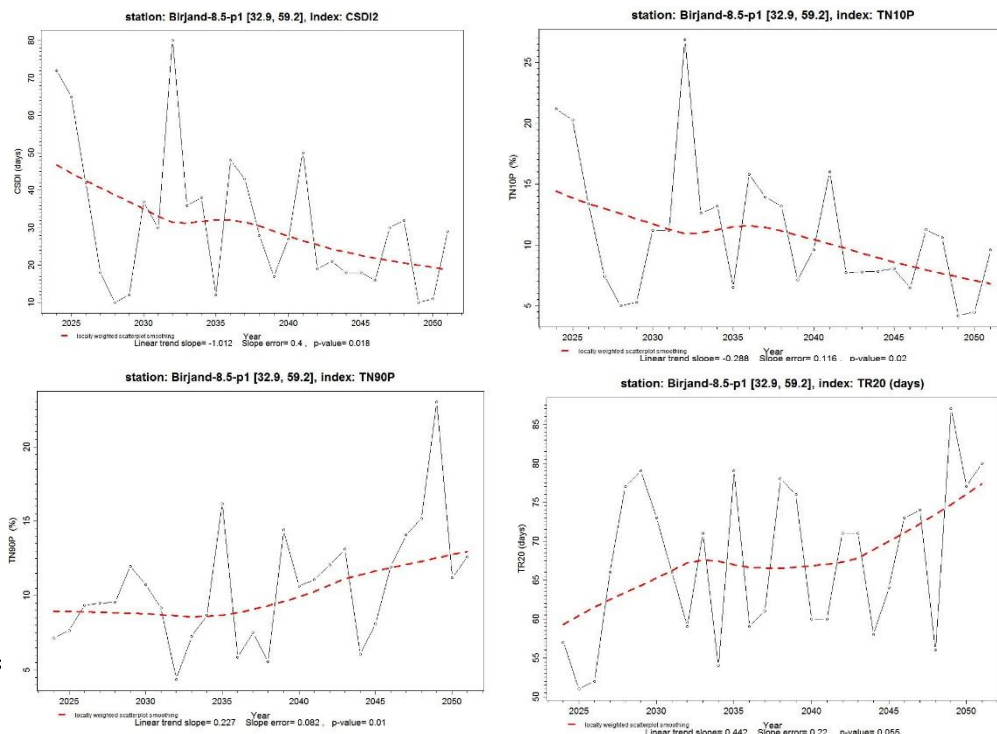
- پیش‌نگری آینده شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل
- بررسی روند شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ بر اساس سناریوی RCP4.5

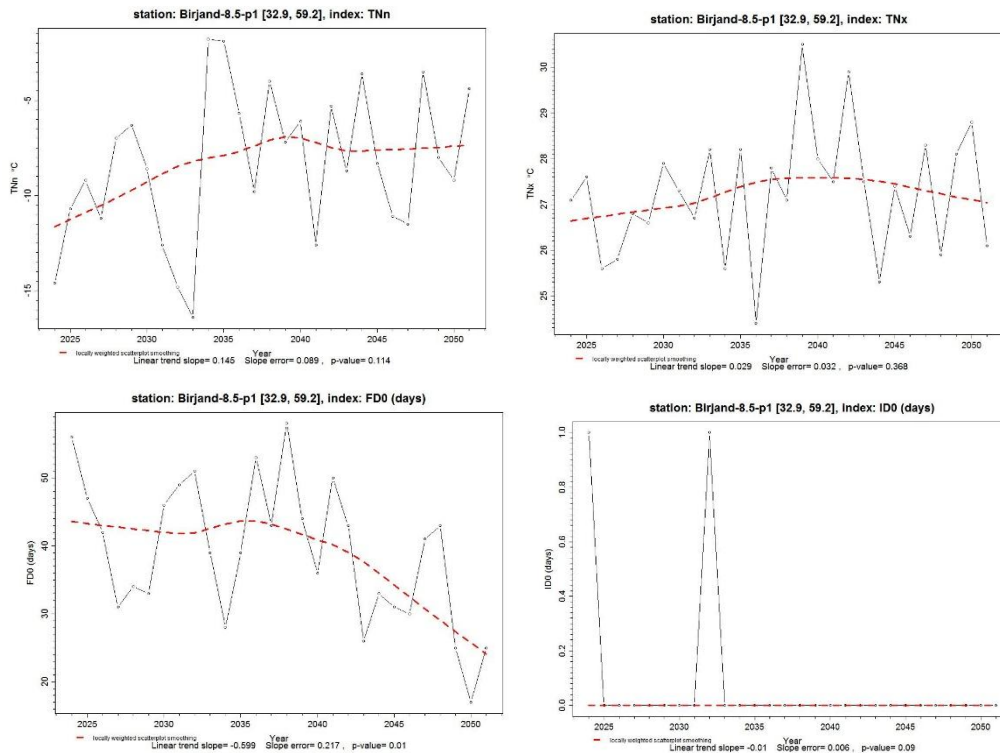




شکل ۲- نمودار روند تغییرات شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ بر اساس RCP4.5

بر اساس برآزش نمودارها بر روی داده‌های درجه حرارت روزانه مدل MPI-ESM-LR برای سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ مشاهده شد، در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10P) درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد تغییر یافته است و روند کاهشی باشد. شاخص تعداد شبهای حاره‌ای (TR20) روند مثبت و معنادار می باشد. صورت درصد روزها با دمای حداقل بیشتر از صدک نودم می‌باشد (TN90P) دارای روند مثبت و معنادار می باشد. و شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) دارای روند افزایشی می‌باشد. شاخص تعداد روزهای یخبندان (FD)، دارای روند منفی می‌باشد.





شکل ۲- نمودار روند تغییرات شاخص‌های حدی درجه حرارت حداقل در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ بر اساس RCP8.5

بر اساس برآزش نمودارها بر روی داده های درجه حرارت روزانه مدل MPI-ESM-LR برای سناریوی RCP8.5 در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰) مشاهده شد، شاخص CSDI که بیانگر طول دوره سرما می باشد در ایستگاه از روند کاهشی شدید و معناداری برخوردار بود. در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10P) نیز روند کاهشی و معنادار مشاهده می شود. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) و درصد روزها با دمای حداقل بیشتر از صدک نودم می باشد (TN90P) دارای روند مثبت و معنادار می باشد. شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNx) و شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn) دارای روند افزایشی می باشد. شاخص تعداد روزهای یخبندان (FD)، دارای روند منفی شدید و معنادار می باشد.

۴ نتیجه گیری و جمع بندی

تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رویدادهای حدی می تواند آثار و آسیبهای شدیدتری را نسبت به تغییرات در متوسط ویژگیهای اقلیمی داشته باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر حدی، مهمتر از شرایط متوسط اقلیمی می باشد. در این مطالعه به بررسی این روندها در ایستگاه هواشناسی بیرجند پرداخته شده است. که روند شاخص های حدی اقلیمی توسط نرم افزار RCLIMDEX محاسبه شد. نتایج تجزیه و تحلیل دمایی مطابقت با گرم شدن منطقه دارد و نشان داد که شاخص های حدی گرم مانند شاخص تعداد شب های حاره ای و شب های گرم در منطقه مورد مطالعه روند افزایشی دارند و شاخص های حدی سرد روند کاهشی دارند. درصد روزهایی که حداقل کمتر از صدک دهم باشد تغییر یافته است که نشان دهنده کاهش شب های سرد می باشد. روند معناداری منفی شاخص شب های سرد (TN90P) ایجاد شد. شاخص CSDI که بیانگر طول دوره سرما می باشد در ایستگاه از روند کاهشی معناداری برخوردار بود. به طور

کلی نتایج نشاندهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد بوده در حالیکه، در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به طور قابل توجهی روند افزایشی داشتند.

روند این شاخص‌ها بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 نشان می‌دهد که تعداد روزهای یخبندان (FD)، شب‌های سرد درصد به صورت روزها با دمای حداقل کمتر از صدک دهم (TN10P)، تعداد روزهایی که حداقل دو روز متوالی دمای حداقل آنها کمتر از صدک دهم باشد (CSDI)، که دربرگیرنده رویدادهای سرد می‌باشد روند کاهشی داشته‌اند که بر اساس سناریوهای RCP8.5 این روند کاهشی معنادار نیز می‌باشد و شاخص رویدادهای گرم دارای روند افزایشی می‌باشد که برای تقریباً همه شاخص‌ها بر اساس سناریو RCP8.5 معنادار بوده و از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت شدت تغییرات، روند افزایشی گرم شدن و روند کاهشی شاخص‌های سرد در سناریوی RCP 8.5 در دوره مورد بررسی در مقایسه با دوره مشابه بیشتر از سناریو RCP4.5 بود. به طوریکه تقریباً تمام شاخص‌ها دارای روند معنادار و با شیب بیشتری همراه بودند.

۵- منابع

- احترامیان ک، شهبافر ع، علیزاده ا. ۱۳۸۳. ارزیابی پدیده انسو بر رژیم بارش در استان خراسان، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۳: ۲۹-۴۴.
- بابائیان، ا، فهیمی نژاد، ا، باعقیده، م، بیاتانی، ف. ۱۳۹۴. شبیه سازی برخی نمایه های اقلیمی در ایستگاه های منتخب سواحل دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی. نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، همایش آب و تغییر اقلیم، دانشگاه فردوسی مشهد.
- تقوی فرحناز، محمدی ح. ۱۳۸۶. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی. محیط شناسی، سال سی و سوم، شماره ۴۳، پاییز ۱۳۸۶، صفحه ۲۰-۱۱.
- رضایی بنفشه م، سرافروزه ف، جلالی ط. ۱۳۹۰. بررسی روند دما و بارشهای روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه. جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز). سال ۱۶. شماره ۲۸. زمستان ۱۳۹۰. صفحات ۷۴-۴۲.
- مدرس، ف، عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۸. بررسی اثر پدیده تغییر اقلیم بر رودخانه گرگانرود، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- مساح یوانی، ع، مرید، س، محمدزاده، م. ۱۳۸۹. مقایسه روش های کوچک مقیاس کردن و مدل های AOGCM در بررسی تاثیر تغییر اقلیم در مقیاس منطقه ای. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۶(۴): ۹۹-۱۱۰.
- ورشایوان، خلیلی ع، قهرمان ن، حجام س. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۱): ۱۶۹-۱۷۹.
- محمدی ح، و تقوی ف. ۱۳۸۴. روند شاخص های حدی دما و بارش در تهران، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۳، شماره ۳ (پاییز)، صفحات ۱۷۲-۱۵۱.

- Alexander L, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank A, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Taghipour A, Kumar Kolli R, Revadekar JV, Griffiths G, Vincent L, Stephenson D, 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 111: D05109–D05109, DOI:10.1029/ 2005JD006290
- IPCC. 2001. Climate Change 2001. Synthesis Report, A Contribution of Working Groups. I, II and III to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Watson and the Core Writing Team (eds)”. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D.



- Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report - Changes to the Underlying Scientific/Technical Assessment" (IPCC-XXVI/Doc.4).
- Choi G., Collins D., Ren G., Trewin B., Baldi M., Fukuda Y., Afzaal M., Pianmana T., Gomboluudev P., Huong P.T.T., Lias N., Kwon W.T., Boo K.O., Cha Y.M and Zhou Y. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007. *Int. J. Climatol.* 29: 1906–1925.
- Christidis N., Stott P.A., Brown S., Hegerl GC., Caesar J. 2005. Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophys Res Lett.* doi: 10.1029/2005GL023885.
- Im E. S., Jung I. W., Bae D. H. 2011. The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. *International Journal of Climatology.* Volume 31(1): 72–86.
- Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G. 2005. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate.* 18:5011-5023.