



تغییرات شاخص‌های دمایی اقلیم کشاورزی استان لرستان بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

علی جودکی^۱، منیژه ظهوریان پردل^{۲*}، علیرضا شکبیا^۳، آمنه دشت بزرگی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

چکیده

بروز هرگونه تغییر احتمالی در اقلیم آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و قادرخواهد بود نظام‌های زراعی را که تحت شرایط اقلیمی رایج تکامل یافته‌اند، بطور قابل ملاحظه‌ای متحول سازد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات شاخص‌های کلیدی اقلیم کشاورزی مبتنی بر دما در شرایط تغییر اقلیم در استان لرستان است. برای دستیابی به این هدف، تغییرات زمانی-مکانی شاخص‌های حدی دما در وضعیت موجود (۲۰۱۶-۱۹۸۶) و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 (۲۰۲۰-۲۰۷۰) بر اساس داده‌های مشاهده شده و مدل‌های اقلیمی برای پنج شاخص دمایی اقلیم کشاورزی شامل نوسان دمای روزانه، روزهای یخبندان، دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس، طول فصل رشد و درجه روز رشد بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان داد نوسان دمای روزانه در وضعیت موجود تقریباً ۰/۴- درجه سلسیوس کاهش و در سناریوی RCP8.5 حدود ۰/۹- تا ۰/۳+ درجه سلسیوس افزایش می‌باشد. شاخص‌های روزهای یخبندان و روزهای با دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس در آینده نسبت به وضعیت موجود حدود ۲۰ روز کاهش و شاخص‌های طول فصل رشد به طور میانگین ۶۰ روز در سال و درجه روز رشد حدود ۳۰۰ درجه روز در آینده نسبت به وضعیت موجود افزایش خواهند داشت. به طور کلی، در آینده دوره گرم سال در حال افزایش و دوره سرد سال روند کاهشی خواهد داشت. این امر منجر به بالا رفتن میزان تبخیر-تعرق و کاهش رطوبت خاک و دلیلی برای کاهش ذخیره آبی و در نهایت کاهش عملکرد محصول می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص دما، سناریوهای تغییر اقلیم، اقلیم کشاورزی، تحلیل زمانی - مکانی، خشکسالی

مقدمه

مهمی در افزایش شدت خشکی که منجر به وقوع بیشتر رخداد حدی خشکسالی می‌شود بازی می‌کنند همچنین آن می‌تواند باعث کاهش تولیدات کشاورزی ناشی از خرابی و نابودی محصولات شود (Liu et al., 2008; Chamchati and Bahir, 2011; Fernández et al., 2013; McFadden and Miranowski, 2015; Muhire and Ahmed, 2015). کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. ازسوی دیگر کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در عواملی چون رقم محصول و بهینه‌سازی الگوی کشت مطابق با اقلیم منطقه، می‌تواند آثار سوء تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی را کاهش دهد و در تولید پایدار مواد غذایی نقش بسزایی داشته باشد (Ha and Yan, 2012).

تغییر اقلیم به عنوان یکی از مسائل مهم و مطرح جهانی در دهه‌های اخیر به یکی از معضلات عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. تحلیل روند شاخص‌های حدی دما در تخمین روند گرمایش جهانی با اهمیت است. افزایش دما نقش

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۲ دانشیار گروه جغرافیای، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
(*)نویسنده مسئول: manijeh2002@yahoo.com

^۳ دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۴ دکتری اقلیم شناسی، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

جودکی، ع.، ظهوریان پردل، م.، شکبیا، ع.، دشت بزرگی، آ. ۱۴۰۱. تغییرات شاخص‌های دمایی اقلیم کشاورزی استان لرستان بر اساس سناریوهای

تغییر اقلیم. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۸۶-۷۱. DOI: 10.22125/agmj.2022.306077.1125

Judaki, A., Zohoriyan Pordel, M., Shakiba, A., Dasht Bozorgi, A. 2022. Changes in Agricultural Climate Indices Based on Climate Change Scenarios in Lorestan Provinc. Journal of Agricultural Meteorology, 10(1): 71-86. DOI: 10.22125/agmj.2022.306077.1125

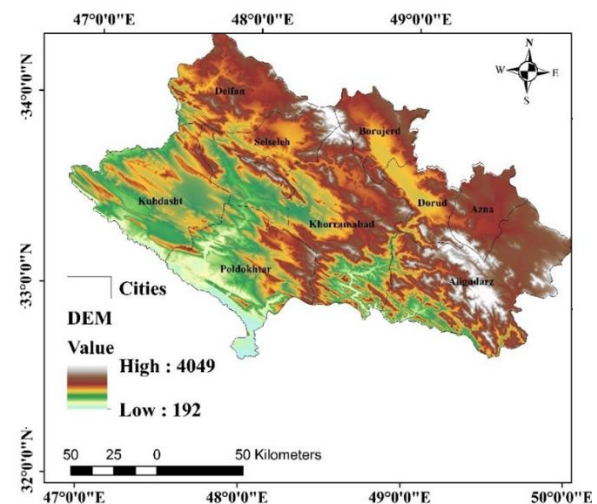
مطالعات انجام شده می‌توان به بررسی Hatfield and Prueger, (2015) در ارتباط با آستانه‌های دمایی و رشد گیاهان اشاره کرد. بررسی آن‌ها نشان داد گرده‌افشانی یکی از حساس‌ترین مراحل فنولوژی گیاهان است که به تغییرات افزایشی دما بسیار حساس است. همچنین آن‌ها اثرات طولانی شدن طول دوره رشد و کاهش دوره بهینه محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. به طور کلی در بررسی مرور منابع مشخص گردید شاخص‌های دمایی اقلیم کشاورزی توانایی زیادی در تخمین میزان آسیب‌پذیری سیستم‌های کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم دارند (Fernández-Long et al., 2013). محققان این شاخص‌ها را به دو گروه عمده مبتنی بر تنش‌های سرمایی و گرمایی مانند روزهای یخبندان و روزهای با دماهای کمتر از ۲- و ۲۰- درجه سلسیوس و سرد و مبتنی نبودن بر تنش‌های حرارتی مانند طول فصل رشد و درجه روز رشد تقسیم کرده‌اند. در کنار کاربردی بودن هریک از آن‌ها، استفاده از چنین شاخص‌هایی منجر به بررسی ارتباط میان تغییرات عملکرد محصولات باغی و زارعی با تغییر شرایط آب و هوایی در کوتاه و بلندمدت می‌شود. همچنین این شاخص‌ها معیار مناسبی برای مقایسه تغییرات مناطق مختلف می‌باشد (Anandhi et al., 2013; Piticar, 2019). بعلاوه، تحلیل روند شاخص‌های اقلیم کشاورزی در طولانی‌مدت و پیش‌بینی آن‌ها در آینده، اطلاعات مفیدی برای محققان، سیاست‌گذاران، تولیدکنندگان و غیره فراهم می‌کند. این اطلاعات به آن‌ها کمک می‌کند تصمیمات مناسبی در مورد اتخاذ سیاست‌ها و راهکارهای مدیریتی سازگاری با تغییر شرایط اقلیمی اتخاذ نمایند (Piticar, 2019). در پایان، با توجه به مطالب بیان شده و ارزش بالای اقتصادی محصولات زارعی و باغی استان لرستان ضرورت بررسی روند تغییرات شاخص‌های اقلیم کشاورزی به منظور درک صحیح تغییر شرایط کنونی و آینده و ارائه راهکارهای سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات شاخص‌های کلیدی اقلیم کشاورزی مبتنی بر دما در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد.

Lijun et al., 2015; Seneviratne et al., 2014, Seo et al., 2014, Barros, 2014). پیش‌بینی‌های جهانی از قبیل FAO^۱ برآورد کرده‌اند تولیدات کشاورزی کشورهای در حال توسعه در شرایط تغییر اقلیم تا سال ۲۰۸۰، ۱۵-۵۰ درصد کاهش می‌یابد و این در بررسی‌های پراکنده‌ای که انجام شده نیز دیده شده است (Hatfield and Prueger, 2015). تاثیر اقلیم بر کشاورزی بسته به مقیاس مکانی و زمانی ارزیابی اثرات متفاوت است. در مقیاس منطقه‌ای تکامل اکوسیستم‌های کشاورزی و تنوع آن‌ها در جهان تابع اقلیم است، در حالیکه در مقیاس کوچکتر تغییرات درون فصلی و بین فصلی در رشد و نمو گیاهان، توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌گردد. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که بروز هرگونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و قادرخواهد بود نظام‌های زراعی فعلی را که تحت شرایط اقلیمی رایج تکامل یافته‌اند، بطور قابل ملاحظه‌ای متحول سازد. بدیهی است میزان این تاثیر تابع مستقیمی از شدت تغییر اقلیم آینده خواهد بود. تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد (Ilunga and Tsinda, 2004, Furió et al., 2011; Chamchati and Bahir, 2011; Kharin et al., 2013; Muhire and Ahmed, 2015). در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در کشور ایران و جهان، اثرات محلی و منطقه‌ای تغییر اقلیم بر آستانه‌های حدی دمایی را بررسی نموده‌اند و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها را بر اساس سناریوهای مختلف انجام داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داده است تغییرات دما در شرایط تغییر اقلیم یکی از عوامل محدود کننده رشد گیاهان می‌باشد. در معرض قرار گرفتن گیاهان در زمان افزایش آستانه‌های دمایی، با ایجاد اختلال در دوره فنولوژی محدودیت‌های زیادی برای کشاورزی محصولات ایجاد می‌کنند. میزان این تاثیر در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است (Babaeian and Kouhi, 2012; Schleussner et al., 2019; Arnell et al., 2016; Ostberg et al., 2018).

¹ Food and Agriculture Organization

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه استان لرستان است که در غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱). از نظر آب و هوایی این استان به سه ناحیه تقریباً متمایز نواحی سرد و کوهستانی مرتفع شمال، شمال غربی و شرق؛ نواحی معتدل مرکزی و نواحی گرم جنوبی تقسیم می‌شود. از اینرو این استان به دلیل شرایط آب و هوایی متنوع، به‌عنوان یکی از استان‌های مستعد در حوزه تولید انواع محصولات کشاورزی شناخته می‌شود.



The study area-Figure 1

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

روش‌شناسی این پژوهش شامل آماده‌سازی داده‌ها، تعیین شاخص‌های اقلیمی، تحلیل زمانی مکانی شاخص‌ها در وضعیت موجود و آینده می‌باشد. برای این کار از داده‌های قابل اعتماد ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با توجه به اینکه این ایستگاه‌ها فعال هستند و همچنین این ایستگاه‌ها تمام عناصر اقلیمی مورد نظر تحقیق را (بارش، دما، باد، رطوبت نسبی، تبخیر/تعرق، دمای نقطه شبنم و روزهای همراه با گرد و غبار) به صورت همزمان اندازه‌گیری می‌کنند، شبکه ایستگاهی سینوپتیک به عنوان مبنای بررسی‌های این تحقیق قرار گرفت. به طور کلی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک در منطقه وجود دارد. کیفیت آماری و دوره اطلاعات این ایستگاه‌ها یکسان نیست. با توجه به اینکه طول دوره آماری مورد نیاز برای تحلیل‌های اقلیمی حداقل ۲۵-۳۰ سال می‌باشد، دوره آماری بررسی‌های

گزارش حاضر از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ انتخاب گردیده است. با توجه به اینکه اکثر ایستگاه‌های فعال در محدوده در دوره مذکور دارای اطلاعات کامل و بدون نقصی نمی‌باشند، لذا ایستگاه‌هایی با دوره آمار بیش از ۲۵ سال و ایستگاه‌هایی که حداکثر دارای ۳۳ درصد داده گمشده بودند به عنوان ایستگاه‌های مبنا جهت تحلیل‌های آماری انتخاب گردید (جدول ۱).

Details of selected stations-Table 1

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی

Station	Khoranabad	Aligoodarz	Broujerd
Longitude (°E)	48.28	49.7	48.75
Latitude (°N)	33.433	33.4	33.91
Elevation	1147.8	2022	1629
Established year	1951	1986	1989

جهت اعتبارسنجی داده‌ها از پروژه CORDEX که شامل شبکه‌ای از داده‌های ماهانه دما بارش این سه ایستگاه است، استفاده شده است. این پروژه تحت برنامه جهانی تحقیقات آب‌وهوا (WCRP)^۱ می‌باشد. تولید داده‌ها در پروژه CORDEX بر مبنای روش‌های آماری و دینامیکی است. هدف از این پروژه ارائه یک چارچوب برای ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌ها، تولید داده‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده جهت پژوهش مرتبط با تحلیل اثرات و سازگاری با تغییر اقلیم است. تولید داده‌ها در این پروژه مبتنی بر مدل‌های GCM^۲ ارائه شده است که در گزارش پنجم ارزیابی تحت عنوان CMIP5^۳ است. خروجی CORDEX برای دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۵۱) و دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۶۰)، در شبکه‌های ۲۲ و ۴۴ کیلومتری فراهم شده است. به دلیل موقعیت مناسب کشور ایران در منطقه خاورمیانه از این محدوده برای استخراج داده‌ها بر مبنای ۴۴ کیلومتر برای دوره پایه و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در وبگاه CORDEX^۴ استفاده گردید. این پروژه، برای محدوده خاورمیانه از سه مدل GCM شامل CNRM-GFDL-GFDL-ESM2M، NOAA-CNRM-ICHEC-EC-EARTH و CERFACS-CNRM-CM5 برای تولید داده‌ها در دوره پایه و ریز مقیاس‌نمایی آن‌ها برای آینده در مقیاس زمانی روزانه استفاده شده است. برای تولید

¹ World Climate Research Program² General Circulation Models³ The fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project⁴ <https://cordex.org/domains/cordexregion-mena-cordex>

$$NRMSD = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2}}{\bar{x}} \quad (3)$$

$$ANMBD = \frac{\left| \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2} \right|}{\bar{x}} \quad (4)$$

که x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده، T تعداد مجموعه داده‌ها و $\bar{x}$ میانگین داده‌های دوره مشاهداتی است. جهت تعیین شاخص‌های اقلیمی، مطابق جدول ۲، از میان دسته‌بندی‌های مختلف شاخص‌های دما، پنج شاخص دامنه تغییرات دمای روزانه، روزهای یخبندان و روزهای دمای کمتر از -20°C درجه سلسیوس، درجه روز رشد، طول فصل رشد انتخاب گردیدند.

Table 2- Temperature indicators

Index	Description
DTR	Daily Temperature Range: Mean difference between daily TX and daily TN
FD0	Frost Days: Annual count when $TN < 0^\circ\text{C}$
Tm20	TN below -20°C : Number of days when $TN < -20^\circ\text{C}$
GrowGDD	Growing Degree Days: Annual sum of $TM - n$ (where n is a user-defined location-specific base temperature and $TM > n$)
GSL	Growing Season Length: Annual number of days between the first occurrence of 6 consecutive days with $TM > 5^\circ\text{C}$ and the first occurrence of 6 consecutive days with $TM < 5^\circ\text{C}$

شاخص‌ها، سطح معنی‌داری و شیب خط آن‌ها با بسته RCLim pact در محیط برنامه‌نویسی R محاسبه شد. برای تحلیل سری زمانی شاخص‌ها در دوره تاریخی ۱۹۸۶-۲۰۱۶ میانگین دوره‌های دو دوره آماری ۱۵ ساله با یکدیگر برای هریک از ۱۵ نقطه مقایسه گردید. سپس با استفاده از روش زمین‌آماري Spline در برنامه ArcMap10.5 نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر یک از شاخص‌ها تهیه و فازهای مثبت و منفی در شرایط تاریخی تحلیل گردید. جهت تحلیل زمانی مکانی شاخص‌ها در آینده ابتدا میانگین دوره‌های آماری ۲۰۲۰-۲۰۷۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای شاخص‌های دما و بارش محاسبه گردید. در گزارش پنجم IPCC، از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای جدید تحت عنوان RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است.

داده‌ها از میانگین این سه مدل به منظور کاهش عدم قطعیت استفاده گردید. به این منظور ابتدا لایه نقاط شبکه‌ای و لایه ایستگاه‌های سینوپتیک در محیط ArcMap10.5 تهیه و با یکدیگر مقایسه گردیدند. هر شبکه‌ای که ایستگاه سینوپتیک در آن قرار می‌گرفت به عنوان نقطه مبنا برای اعتبارسنجی انتخاب شدند. برای ایستگاه‌هایی که در مرز شبکه‌ها قرار گرفتند مجموع دو یا سه شبکه انتخاب شده است و از میانگین‌ها برای انجام این کار استفاده شده است (شکل ۲).

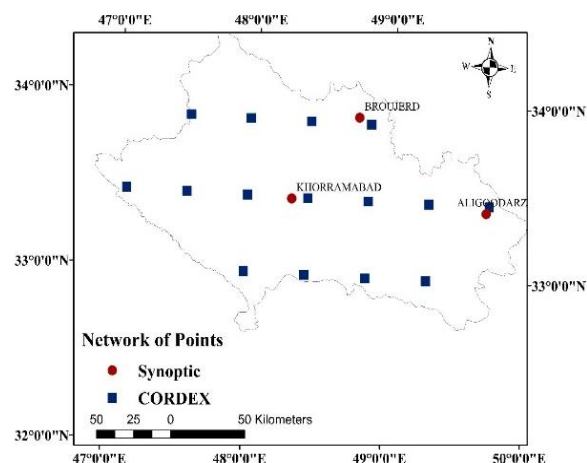


Figure 2- Network of points based on CORDEX project and synoptic stations in the study area

شکل ۲- شبکه نقاط بر اساس پروژه CORDEX و ایستگاه‌های موجود در منطقه با طول داده مناسب

شاخص‌های مورد استفاده برای اعتبارسنجی شامل MSD^۱، NRMSD^۲ و ANMBD^۳ می‌باشد (معادلات ۱-۴). این شاخص‌ها توسط بسیاری از محققین جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های GCM پیشنهاد شده و جزو گروه شاخص‌های مبتنی بر انحراف/خطا^۵ (Srinivasan and Raju and Nagesh Kumar, 2018).

$$MSD = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

¹ Mean Square Deviation

² Root Mean Square Deviation

³ Normalized Root Mean Square Deviation

⁴ Absolute Normalized Mean Bias Deviation

⁵ deviation/error

مدل‌سازی ترکیبی استفاده گردید. به این منظور برای بررسی تغییر اقلیم از میانگین سه مدل برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اجرای روش‌شناسی تحلیل روند تغییرات شاخص‌های اقلیم - کشاورزی تغییر اقلیم با استفاده از سه مدل اقلیمی پایگاه داده‌ای CORDEX در دو بخش اعتبارسنجی مدل‌ها و تحلیل زمای مکانی شاخص‌ها در ادامه شرح داده می‌شود. مبنای مقایسه عملکرد شاخص‌ها مقادیر کمتر (بهتر) و نزدیک به صفر (ایده‌آل) می‌باشد (Raju and Kumar, 2018). بر اساس چهار شاخص مورد استفاده، مدل‌ها عملکرد متفاوتی در سه ایستگاه انتخابی داشتند. همچنین جهت کاهش عدم قطعیت مدل‌ها از میانگین آن‌ها استفاده گردیده است.

Table 3- Validation results of mean temperature data

جدول ۳- جدول نتایج اعتبارسنجی داده‌های میانگین دما

Index	GCM	Khoramabad	Aligoodarz	Broujerd
MSD	CNRM	4.48	7.62	6.47
	EC-EARTH	3.84	6.57	5.61
	NOAA	4.07	6.92	5.94
	CNRM	2.12	2.76	2.54
RMSD	EC-EARTH	1.96	2.56	2.37
	NOAA	2.02	2.63	2.44
	CNRM	0.13	0.21	0.17
	EC-EARTH	0.12	0.2	0.16
NRMSD	NOAA	0.12	0.2	0.16
	CNRM	-0.27	-0.58	-0.43
	EC-EARTH	-0.23	-0.5	-0.38
	NOAA	-0.24	-0.53	-0.4

تحلیل زمانی - مکانی شاخص‌ها: نتایج روند تغییرات پنج شاخص نوسان دمای روزانه، روزهای یخبندان، روزهای دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس، طول فصل رشد و درجه روز رشد در استان لرستان نشان می‌دهد روند تغییرات چهار شاخص نوسان دمای روزانه، روزهای یخبندان، روزهای دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس و طول فصل رشد در طول دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۲۰ معنی‌دار نمی‌باشد و شاخص و درجه روز رشد معنی‌دار است. نتایج شبیه‌سازی آینده بویژه در سناریوی RCP8.5 (بدبینانه) نشان می‌دهد ۵ شاخص مورد بررسی تا پایان قرن بیستم در شاخص‌های آماری میانگین و انحراف معیار تغییرات معنی‌داری خواهد داشت.

سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر شامل RCP2.6, RCP4.5, RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۱۱ نام‌گذاری شده‌اند. این سناریوها بر اساس نتایج حاصل از برخی فراسنج‌های اجتماعی- اقتصادی، تکنولوژیکی و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند. در سناریوی RCP8.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است. در سناریوی RCP6، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، ۸۵۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی، تا ۶ وات بر متر مربع تخمین زده است. در سناریوی RCP4.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است. در سناریوی RCP2.6، میزان غلظت CO₂ را تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ PPM تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع تخمین زده است. سپس هر یک از میانگین‌ها با دوره آماری وضعیت موجود مقایسه شد. همچنین هر یک از میانگین‌ها با دوره آماری وضعیت موجود مقایسه گردید. در پایان با روش زمین‌آماري Spline در برنامه ArcMAP10.5 نقشه‌های پهنه‌بندی دوره ۲۰۵۰ بر مبنای دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه تهیه و فازهای مثبت و منفی آینده بررسی گردید. با توجه به نتایج بدست آمده برای وضعیت موجود از میان سه مدل انتخابی، مدل CNRM برای داده‌های بارش و مدل EC-EARTH برای داده‌های دما مقدار اختلاف کمتری نشان داد لذا برای دوره پایه از این دو مدل به ترتیب برای داده‌های بارش و دما استفاده گردید. برای آینده، با توجه به عدم قطعیت و دامنه تغییرات زیاد متغیرهای اقلیمی حاصل از مدل‌های مختلف گردش عمومی جو، شبیه‌سازی تغییرات آینده حاصل از سناریوهای اقلیمی نیز دارای باند عدم قطعیت زیادی خواهد بود و عملاً امکان تصمیم‌گیری در خصوص رفتار منطقه مورد مطالعه در شرایط تغییر اقلیم و همچنین بررسی اقدامات سازگاری مناسب را با مشکل مواجه می‌کند. لذا برای کاهش عدم قطعیت نتایج حاصل، از رویکرد

سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و تغییرات نمودار توزیع نرمال آن را نسبت به دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد روند تغییرات در سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره آماری معنی‌داری نبوده (A) و تغییرات چشمگیری در میانگین و انحراف معیار دیده نمی‌شود (B). در سناریوی RCP8.5 (بدبینانه)، روند تغییرات آینده افزایشی می‌باشد و جابجایی میانگین و انحراف معیار نسبت به دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ در نمودار توزیع نرمال چشمگیر می‌باشد

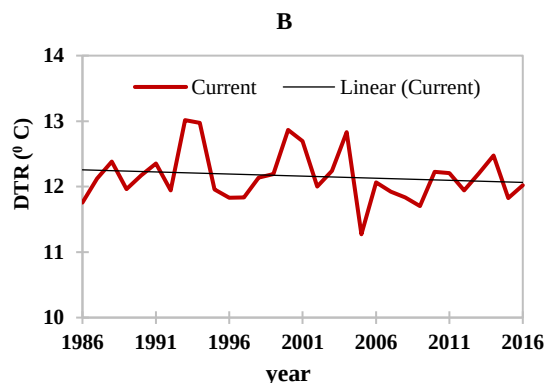


Figure 3- Spatial temporal changes in daily temperature range index (DTR) in current (1986-2016)

شکل ۳- تغییرات مکانی (A) - زمانی (B) شاخص نوسان دمای روزانه (DTR) در وضعیت موجود (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

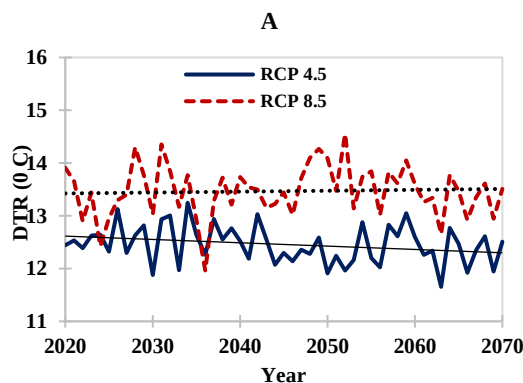
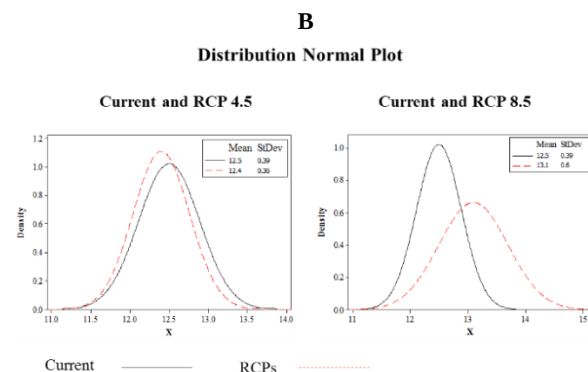
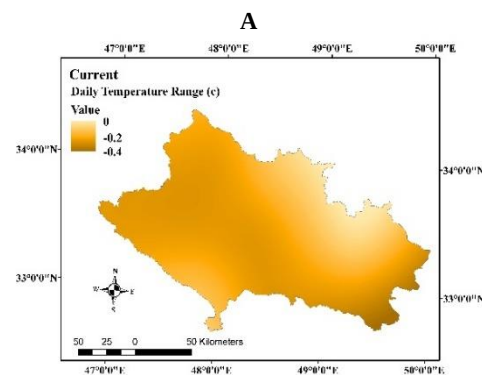


Figure 4- Temporal variations of daily temperature range (DTR) based on climate change scenarios (A) and future changes in the normal distribution plot (2020- 2070) compared to the period 1986- 2020 (B)

شکل ۴- تغییرات زمانی شاخص نوسان دمای روزانه (DTR) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۷۰) (A) و تغییرات نمودار توزیع نرمال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ (B)

روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 تا پایان دوره آینده میانی روند افزایشی سراسری بین ۰/۳ تا ۰/۹ درجه سلسیوس نسبت به وضعیت موجود را نشان می‌دهد. تمام منطقه در این سناریو تقریباً الگوی مکانی مشابه دارد.

نوسان دمای روزانه: شکل ۳ تغییرات مکانی (A) و زمانی (B) شاخص نوسان دمای روزانه را در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده برای این شاخص نشان می‌دهد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه عمدتاً کاهشی در حدود ۰/۱-۰/۴ درجه سلسیوس و معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشد. الگوی کاهشی این شاخص عمدتاً در شمال غرب، مرکز و جنوب شرق است. بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی روند تقریباً بدون تغییر است. شکل ۴ تغییرات زمانی شاخص نوسان دما را بر مبنای



شکل ۵ تغییرات مکانی شاخص نوسان دمای روزانه را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی آینده نشان می‌دهد میزان تغییرات دما در کل استان مانند دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ می‌باشد ولی در آینده مناطق شرقی استان بیشترین میزان کاهش این شاخص حدود ۰/۴ را خواهد داشت.

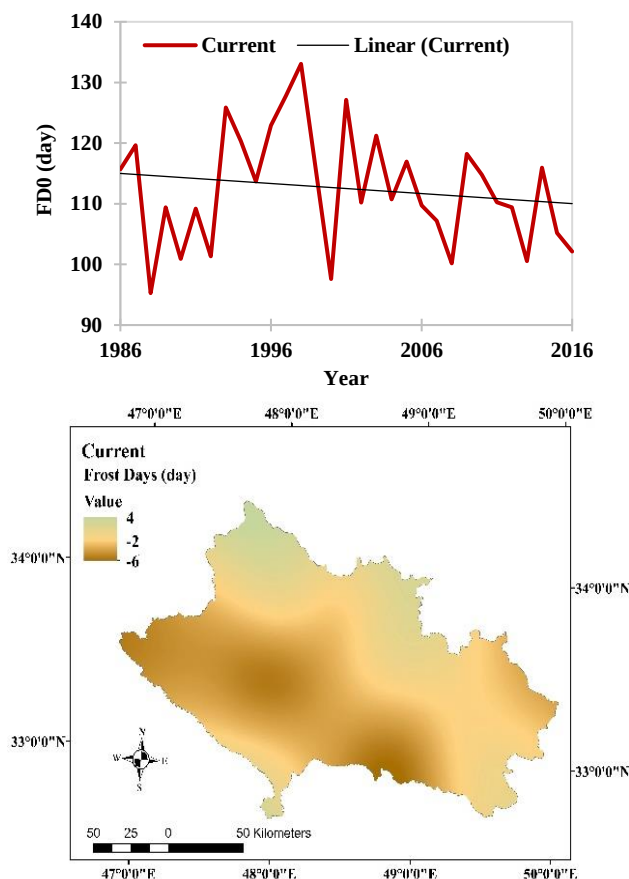


Figure 6- Spatial temporal changes of frost days (FD0) in current (1986-2016)

شکل ۶- تغییرات زمانی مکانی شاخص روزهای یخبندان (FD0) در وضعیت موجود (۱۹۸۶-۲۰۱۶)

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد روند تغییرات تقریباً تا پایان قرن بیستم در دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 کاهشی می‌باشد. ولی شیب تغییرات کاهشی در سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی دیگر است. این شرایط در نمودار توزیع نرمال نیز دیده می‌شود. با توجه به شکل ۸، در سناریوی RCP4.5 شبیه سازی نشان می‌دهد به طور پراکنده شمال، شرق، جنوب و تا حدودی غرب بیشترین میزان کاهش حدود ۳۰ - ۲۰ روز را دارند. روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 تا پایان دوره آینده میانی با شدت بیشتری حدود ۴۰-۲۰ روز کاهش خواهد یافت.

روزهای با دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس: نتایج بدست آمده برای این شاخص (شکل ۹) نشان می‌دهد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه کاهشی و معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشد.

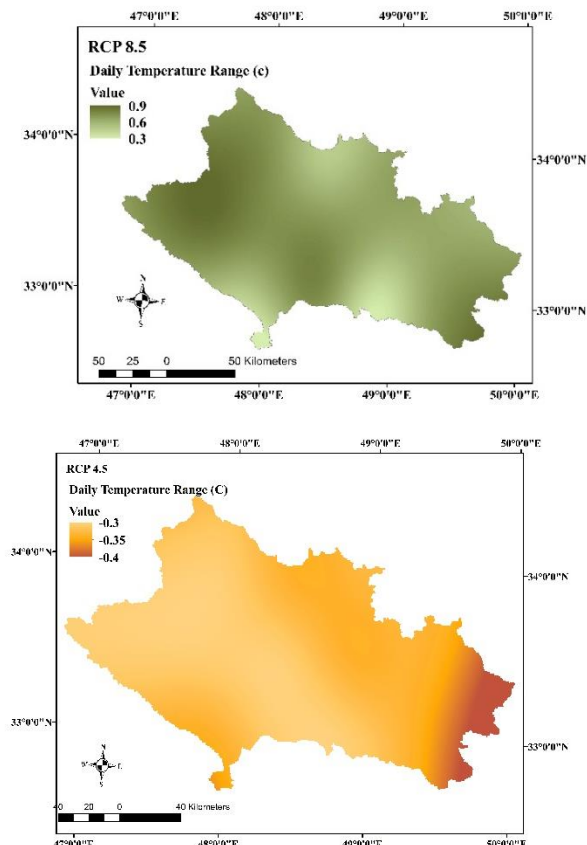


Figure 5- Spatial variations of daily temperature range (DTR) based on climate change scenarios

شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص نوسان دمای روزانه (DTR) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم

روزهای یخبندان: شکل ۶ تغییرات مکانی (A) و زمانی (B) شاخص روزهای یخبندان را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده برای این شاخص نشان داد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه کاهشی و معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشد. الگوی تغییرات مکانی در سطح منطقه متفاوت و حدود ۴- تا ۶- روز در سال می‌باشد. روند کاهشی مربوط به نواحی غربی و مرکزی حدود ۱- تا ۶- روز در سال و نواحی شمالی و شرقی روند افزایشی حدود چهار روز در سال است. بخش‌های محدودی از نواحی جنوبی نیز روند افزایشی دارد. شکل ۷ تغییرات زمانی شاخص روزهای یخبندان را بر مبنای سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در دوره‌های زمانی ۲۰۷۰-۲۰۲۰ (A) و تغییرات نمودار توزیع نرمال شرایط آینده نسبت به وضعیت موجود (B) را نشان می‌دهد.

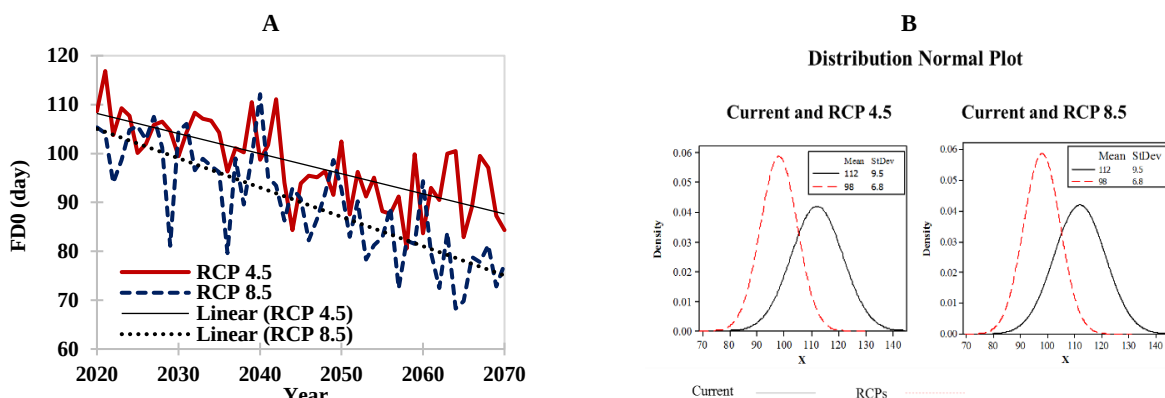


Figure 8- Temporal variations of frost days (FD0) based on climate change scenarios (A) and future changes in the normal distribution plot (2020- 2070) compared to the period 1986- 2020 (B)

شکل ۷- تغییرات زمانی شاخص روزهای یخبندان (FD0) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۷۰) و تغییرات نمودار توزیع نرمال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ (B)

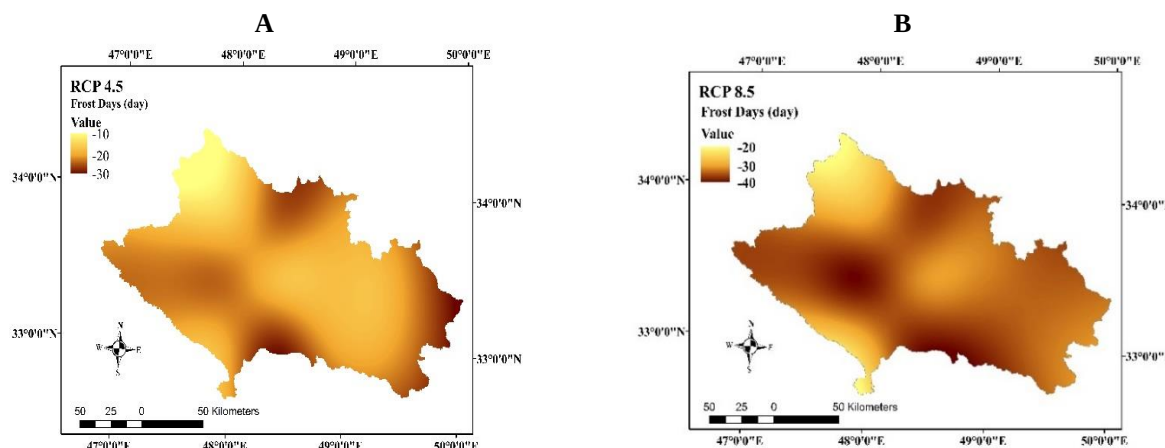


Figure 8- Spatio of frost days (FD0) based on scenarios of climate change
شکل ۸- تغییرات مکانی شاخص روزهای یخبندان (FD0) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

نواحی شمال شرق و شرق حدود ۹- تا ۱۸- روز کاهش و دیگر نواحی تا ۲ روز افزایشی خواهد بود. روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 مانند سناریوی قبل است و شدت آن در نواحی شرقی تا ۲۰ روز کاهش می‌یابد.

طول فصل رشد: نتایج بدست آمده برای این شاخص نشان داد روند تغییرات معنی دار نمی‌باشد. الگوی تغییرات مکانی (A) در شمال غرب، شمال و شرق در حدود ۱۳- روز کاهش در سال است. در نواحی شمالی و شرقی افزایشی و حدود ۱۵- روز در سال است (شکل ۱۲). شکل ۱۳ نشان می‌دهد روند شاخص طول فصل رشد در دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه افزایشی (A) می‌باشد و تغییرات آن ۸۰-۱۰ روز در نواحی مختلف نوسان دارد.

الگوی تغییرات مکانی (A) در سطح منطقه متفاوت و حدود ۱- ۲- روز در سال می‌باشد. روند کاهشی حدود ۲ روز در سال در شمال غرب منطقه بوده است و دیگر نواحی روند افزایشی داشته‌اند. بر مبنای شکل ۱۰، تغییرات زمانی شاخص روزهای با دمای کمتر از ۲۰- درجه سلسیوس روند تغییرات تقریباً تا پایان قرن بیستم در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کاهشی می‌باشد. ولی شیب تغییرات کاهشی در سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی دیگر است. این شرایط در نمودار توزیع نرمال (B) نیز دیده می‌شود. شکل ۱۱ تغییرات مکانی این شاخص را بر مبنای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در آینده نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در سناریوی RCP4.5

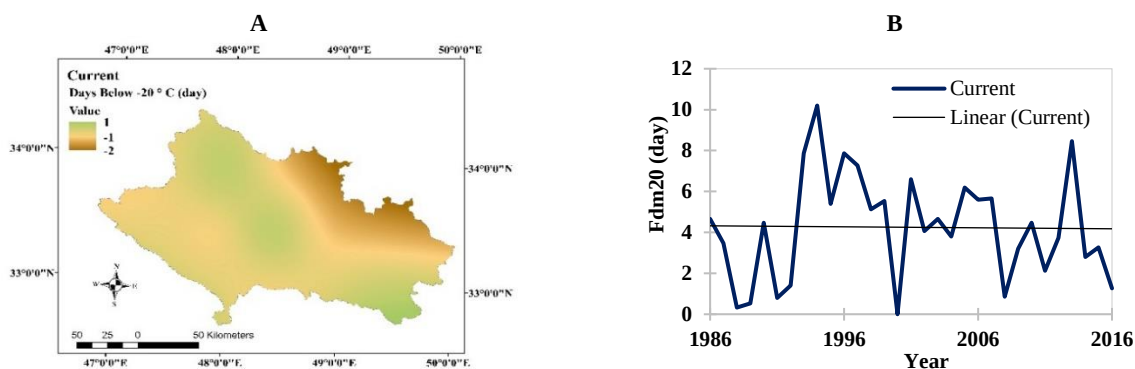


Figure 9- Spatial temporal changes of days below -20°C (Fdm20) in current (1986-2016)

شکل ۹- تغییرات زمانی مکانی شاخص روزهای با دمای کمتر از -20°C درجه سلسیوس (Fdm20) در وضعیت موجود (۱۹۸۶-۲۰۱۶)

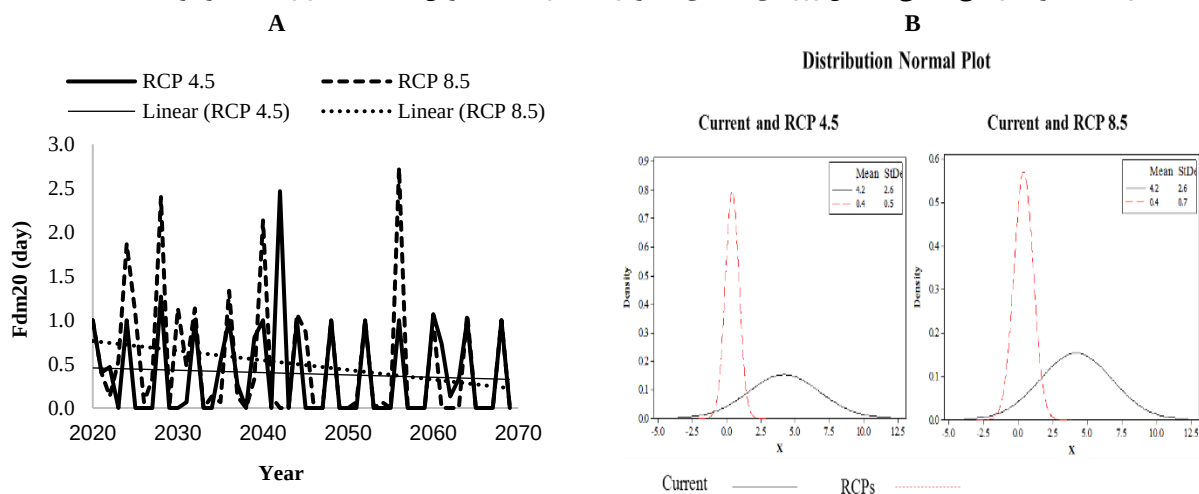


Figure 10- Temporal variations of days below -20°C (20 fdm) based on climate change scenarios (a) and future changes in the normal distribution plot (2020- 2070) compared to the period 1986- 2020 (b)

شکل ۱۰- تغییرات زمانی شاخص روزهای با دمای کمتر از -20°C درجه سلسیوس (Fdm20) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۷۰) (A)

و تغییرات نمودار توزیع نرمال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶ (B)

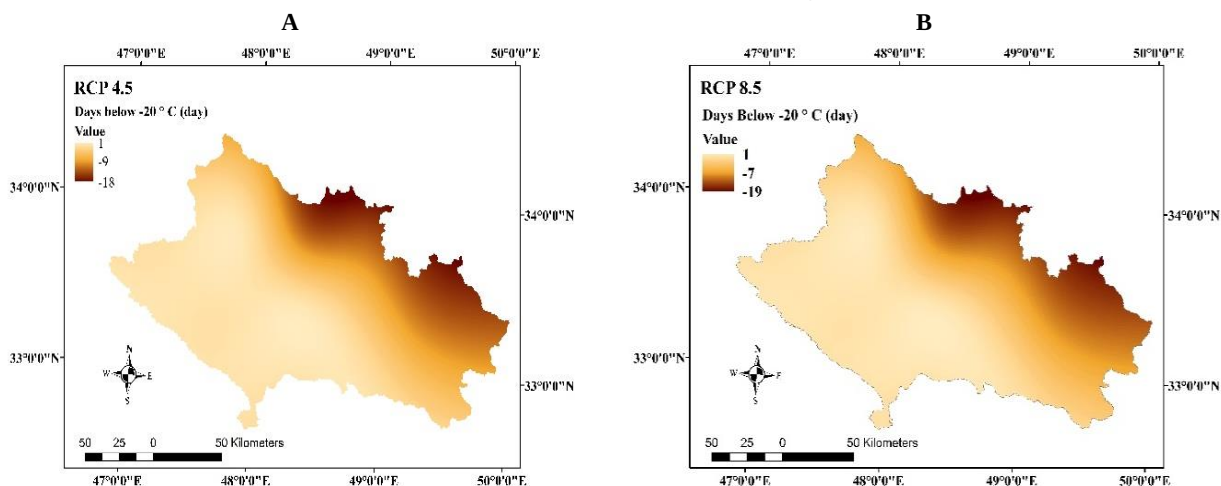
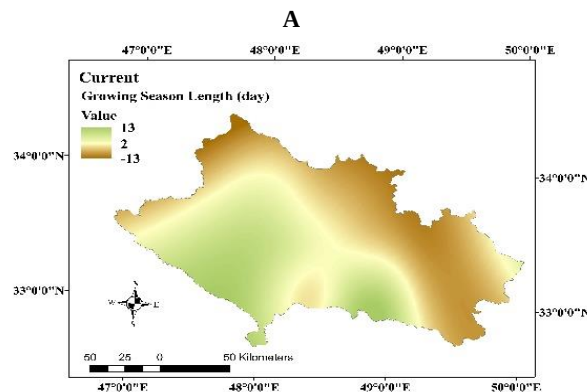


Figure 11- Spatial variations of days below -20°C (20 Fdm) based on climate change scenarios

شکل ۱۱- تغییرات مکانی شاخص روزهای با دمای کمتر از -20°C درجه سلسیوس (Fdm20) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

شاخص نشان داد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه افزایشی و معنی‌دار ($P < 0.05$) است. الگوی تغییرات مکانی در سطح منطقه مشابه و حدود ۱۵۰-۸۰ درجه روز است. بیشترین تغییرات مکانی در نواحی غربی و جنوبی حدود ۱۵۰-۱۲۰ درجه روز می‌باشد (شکل ۱۵). روند تغییرات شاخص درجه روز رشد در آینده روند افزایشی را نشان می‌دهد. دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 تقریباً منطبق هستند (شکل ۱۶). طبق این شکل روند تغییرات در سناریوی RCP4.5 تا اواسط دهه ۲۰۴۰ شدت بیشتری نسبت به سناریوی RCP8.5 داشته و بعد از آن از شیب آن ملایم‌تر و پایین‌تر از سناریوی بدبینانه قرار می‌گیرد (A).



این تغییرات در سناریوی RCP8.5 مانند دیگر شاخص‌ها از شدت بیشتری برخوردار است بطوریکه تا پایان قرن بیست و یکم این شاخص شرایط کاملاً متفاوتی از نظر میانگین خواهد داشت (B). بر مبنای شکل ۱۴، در سناریوی RCP4.5 الگوی مکانی افزایشی و نواحی محدودی در شمال غرب و غرب حدود ۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. تغییرات مکانی در سناریوی RCP8.5 مانند سناریوی قبل در تمام استان روند مشابهی دارد. بیشترین میزان افزایش بین ۸۰-۴۰ درجه روز در نواحی غربی، مرکزی و جنوبی است. **درجه روز رشد: تغییرات مکانی (A) و زمانی (B) شاخص درجه روز رشد** را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده برای این

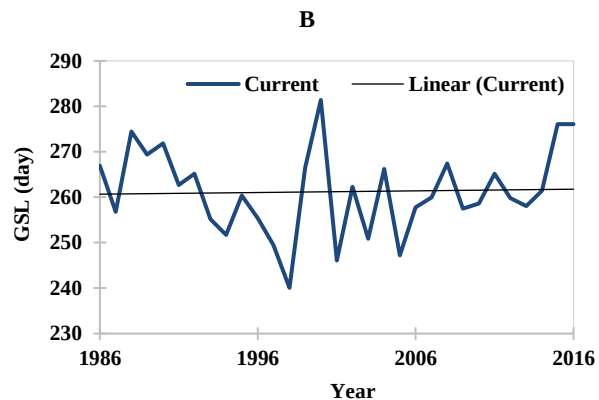


Figure 12- Spatial temporal changes growing season length index (GSL) in current (1986-2016)

شکل ۱۲- تغییرات زمانی مکانی شاخص طول فصل رشد (GSL) در وضعیت موجود (۱۹۸۶-۲۰۱۶)

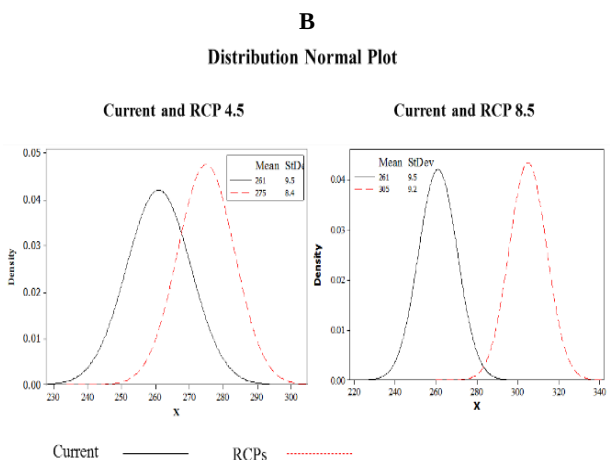
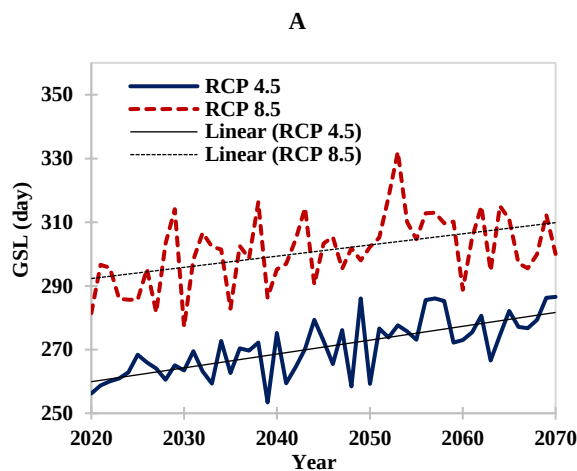


Figure 13- Temporal variations of growing season length on climate change scenarios (A) and future changes in the normal distribution plot (2020- 2070) compared to the period 1986- 2020 (B)

شکل ۱۳- تغییرات زمانی شاخص طول فصل رشد (GSL) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۷۰) (A) و تغییرات نمودار توزیع نرمال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶ (B)

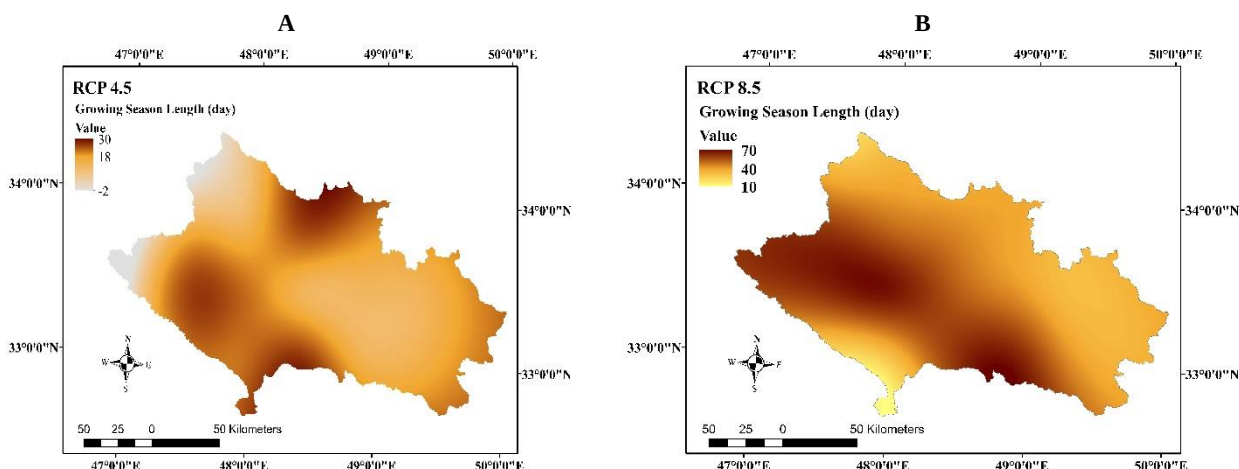


Figure 14- Temporal variations of growing season length index (GSL) based on climate change scenarios

شکل ۱۴- تغییرات مکانی شاخص طول فصل رشد (GSL) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

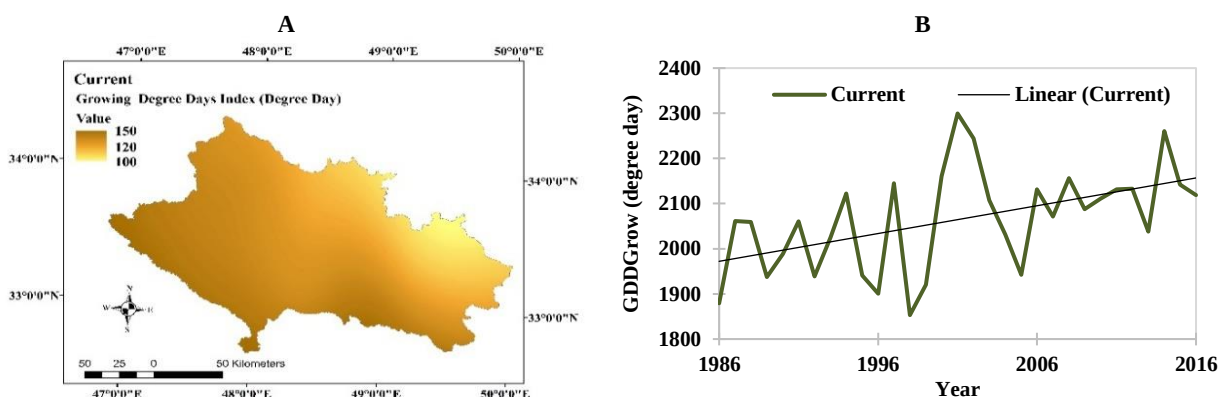


Figure 15- Spatial temporal changes of growing degree days index (GDD Grow) in existing situation (1986-2016)

شکل ۱۵- تغییرات زمانی مکانی شاخص درجه روز رشد (GDD Grow) در وضعیت موجود (۱۹۸۶-۲۰۱۶)

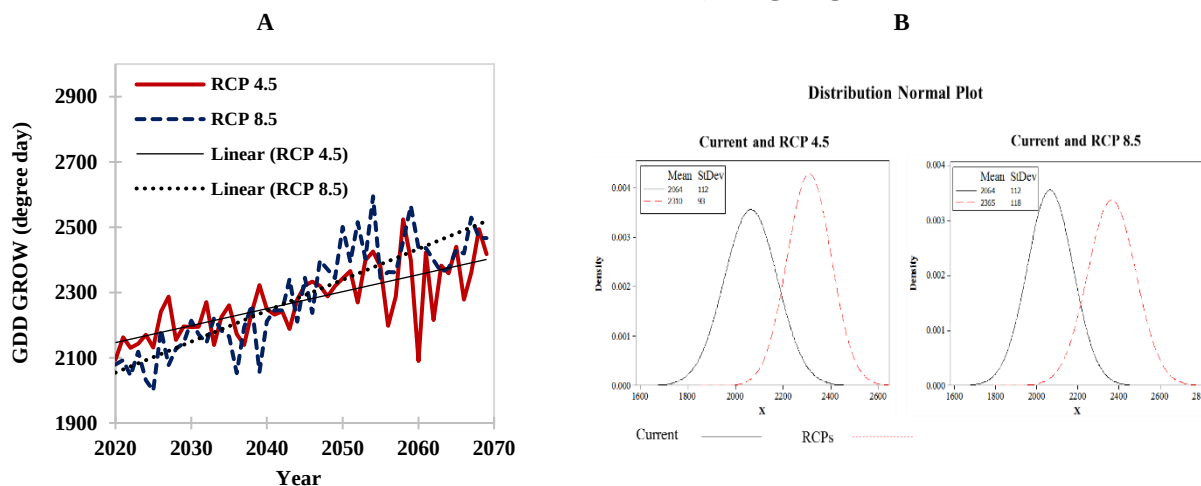


Figure 16- Temporal variations of growing degree days (GDD Grows) on climate change scenarios (A) and future changes in the normal distribution plot (2020- 2070) compared to the period 1986- 2020 (B)

شکل ۱۶- تغییرات زمانی شاخص درجه روز رشد (GDD Grows) بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۷۰) و تغییرات نمودار توزیع نرمال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶ (B)

قرار گرفتند. که به سه دوره زایشی (آبان)، رویشی (آذر تا اردیبهشت) و رکود (خرداد تا مهر) تقسیم‌بندی شده‌اند. دوره زایشی رشد زعفران در استان لرستان ماه اکتبر می‌باشد. تغییرات مکانی اولویت‌های نواحی مناسب دوره زایشی رشد زعفران بر مبنای میانگین دما در دوره زایشی در وضعیت موجود ۲ درصد از کل مساحت می‌باشد که واقع در نواحی شمالی و شرقی استان است. تغییرات مکانی اولویت‌های نواحی مناسب دوره زایشی رشد زعفران بر مبنای حداقل دما در دوره زایشی وضعیت موجود ۱۰ درصد مساحت منطقه در اولویت کم قرار دارد. این وضعیت در سناریوی RCP4.5 نیز مشاهده می‌شود. در سناریوی RCP8.5، ۸۱ درصد نواحی در اولویت متوسط قرار دارد و تقریباً پوشش سراسری در منطقه خواهد داشت. این نواحی شامل نواحی پراکنده ای در مرکز و شمال منطقه و نواحی متمرکزی در شرق آن می‌باشد. تغییرات مکانی اولویت‌های نواحی مناسب دوره زایشی رشد زعفران بر مبنای حداکثر دما در وضعیت موجود منطقه شامل نواحی با اولویت زیاد (۷۰ درصد) و کم (۳۰ درصد) می‌باشد. نواحی اولویت زیاد عمدتاً تمام نواحی غربی و بخش‌هایی از نواحی شمالی، جنوبی و شرقی می‌باشد. اولویت کم در نواحی شرقی، شمال شرقی، بخش‌هایی از شمال و مرکز است. شکل ۱۷ تغییرات مکانی اولویت‌های نواحی مناسب دوره زایشی رشد زعفران بر مبنای بارش در وضعیت موجود منطقه شامل نواحی با اولویت زیاد (۸۴ درصد) و کم (۱۶ درصد) می‌باشد.

ارتباط بین تغییرپذیری و تغییر اقلیم در سامانه اقلیمی با وقوع پدیده‌های حدی در شدت‌های مختلف در سطح محلی و منطقه‌ای آشکار می‌گردد. آستانه‌های حدی و رویدادهای متاثر از آن‌ها که با تعامل با سامانه‌های طبیعی و انسانی آسیب‌پذیر می‌توانند منجر به کاهش ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری در شرایط تغییر اقلیم گردند و چالش‌های بسیاری پیش روی سطوح مختلف جامعه قرار دهند (Collins et al., 2013). از این رو تحلیل شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در وضعیت موجود و سناریوهای تغییر اقلیم، به منظور تعیین اثر تغییر اقلیم بر نواحی مناسب کشت محصولات، تصویری از تغییر پتانسیل در شرایط اقلیمی آینده ارائه می‌دهد. بر اساس بررسی انجام شده، در آینده دوره گرم سال در حال افزایش و دوره سرد سال روند کاهشی خواهد داشت و منجر به بالا رفتن میزان تبخیر-تعرق و کاهش رطوبت خاک و دلیلی برای کاهش ذخیره آبی خواهد گردید از این رو این افزایش دما و پتانسیل تبخیر-تعرق به علت کمبود آب، منجر به تنش‌های دمایی در دوره فنولوژی، رطوبت خاک و در نهایت کاهش عملکرد محصول می‌شود. نتایج بدست آمده در این بخش با پژوهش‌های (Liu et al., 2009)؛ (Donat and Alexander, 2011)؛ (Chamchati and Bahir, 2011)؛ (Donat et al., 2012)؛ (Muhire and Ahmed, 2015)؛ (Arnell et al., 2019) و (Piticar, 2019) مطابقت دارد. علاوه بر مطالب بالا در این مقاله داده‌های اقلیمی شامل میانگین، حداکثر و حداقل دما و بارش مورد بررسی

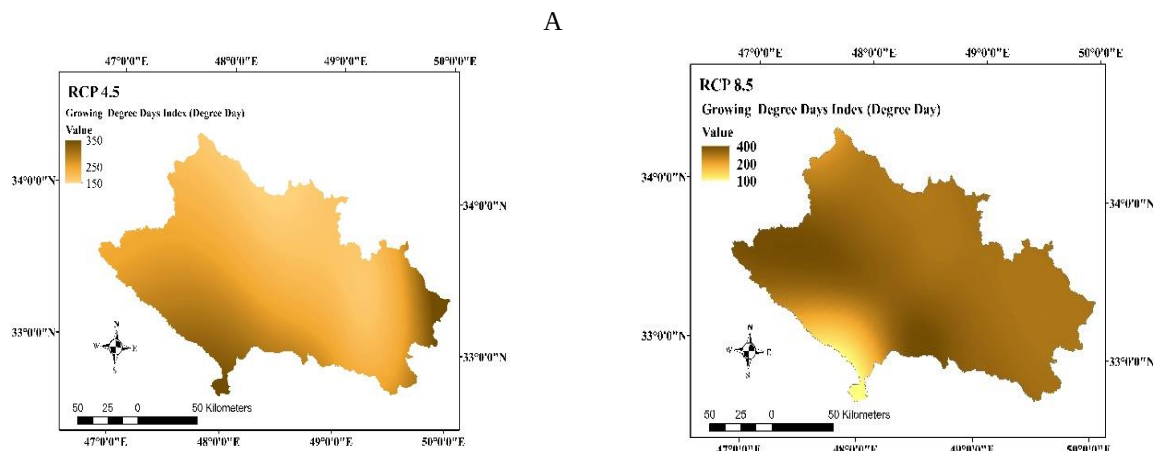


Figure 17- Spatial variations of growing degree days (gdd grows) based on climate change scenarios

شکل ۱۷- تغییرات مکانی شاخص درجه روز رشد (GDD Grows) بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

زیاد با ۱ درصد به طور پراکنده در شمال و شرق هستند. در آینده برای هر دو سناریو تعیین شده مساحت نواحی با اولویت کم ۱۰۰ درصد نواحی را تشکیل خواهد داد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رکود رشد زعفران بر مبنای شاخص حداقل دما، مانند میانگین الگوی غالب مکانی با اولویت کم می‌باشد و مساحت آن ۸۴ درصد می‌باشد. نواحی با اولویت زیاد با ۱۶ درصد در شمال و جنوب شرق هستند. نتایج نشان می‌دهد نواحی با اولویت کم در شمال و شرق خواهد بود. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رکود رشد زعفران بر مبنای شاخص حداکثر دما، نواحی با اولویت زیاد و کم به طور مساوی تقسیم شده‌اند. نواحی با اولویت زیاد در غرب، مرکز، جنوب غرب، جنوب و به طور محدود در شمال شرق می‌باشد و دیگر نواحی را اولویت کم تشکیل می‌دهد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رکود رشد زعفران بر مبنای شاخص بارش، نواحی با اولویت زیاد، متوسط و کم به ترتیب ۵۱، ۳۹ و ۱۰ درصد مساحت استان را شامل می‌شوند. نواحی با اولویت کم در شمال و شرق استان مشاهده می‌شود. نواحی با اولویت متوسط در جنوب غرب، تقریباً مرکز و جنوب هستند. نواحی می‌بین این دو را اولویت زیاد تشکیل می‌دهد. در وضعیت موجود ۱۵/۸ درصد مساحت استان در نواحی اولویت زیاد قرار دارند بعد از آن نسبتاً زیاد و متوسط به ترتیب با ۲۵/۵ و ۲۰/۹ درصد قرار دارند در وضعیت موجود مناسب ترین نواحی کشت این محصول به طور متمرکز نواحی غربی و تا حدودی مرکزی استان می‌باشد. همچنین نواحی پراکنده‌ای در شمال شرق و شمال استان نیز مناسب می‌باشد. نواحی نامناسب شامل اولویت‌های نسبتاً کم و کم در نواحی شرقی و جنوب شرقی می‌باشند. قابل ذکر است نواحی پراکنده‌ای در جنوب غربی و شمال نیز در دو اولویت دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش تغییرات زمانی- مکانی شاخص‌های حدی دما در وضعیت موجود (۲۰۱۶-۱۹۸۶) و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 (۲۰۲۰-۲۰۷۰) بر اساس داده‌های مشاهده شده و مدل‌های اقلیمی در استان لرستان را تحلیل نموده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد دما در طول

نواحی اولویت زیاد عمدتاً شامل تمام بجز نواحی از شمال و شرق منطقه می‌شوند. اولویت کم در نواحی شرقی، شمال شرقی است. دوره رویشی رشد زعفران در استان لرستان ماه نوامبر تا مه می‌باشد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رویشی رشد زعفران بر مبنای شاخص میانگین دما در وضعیت موجود، بیشترین مساحت به اولویت زیاد (۶۶ درصد) و بعد از آن اولویت‌های متوسط (۲۶ درصد) و کم (۸ درصد) هستند. اولویت زیاد شامل نواحی شمالی، مرکزی و شرقی، اولویت متوسط در نواحی غرب، جنوب غرب و جنوب، و اولویت کم عمدتاً شامل نواحی جنوب غرب و ناحیه محدودی در جنوب می‌شود. در آینده این الگوی مکانی تقریباً حفظ می‌شود. در سناریوی RCP4.5، اولویت زیاد، یک درصد کاهش و به اولویت متوسط اضافه می‌شود. همچنین اولویت کم تقریباً به سمت نواحی جنوبی متمایل خواهد شد. در سناریو RCP8.5 اولویت متوسط در نواحی محدودی از شمال شرق دیده می‌شود و مساحت اولویت کم به سمت نواحی مرکزی و جنوبی گسترش می‌یابد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رویشی رشد زعفران بر مبنای شاخص حداقل دما در وضعیت موجود، بیشترین مساحت به اولویت زیاد با ۹۶ درصد بعد از آن اولویت کم با ۴ درصد قرار دارد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رویشی رشد زعفران بر مبنای شاخص حداکثر دما در نواحی مناسب بر اساس حداکثر دما شامل دو اولویت زیاد (۷۰ درصد) و کم (۳۰ درصد) می‌باشد. نواحی با اولویت کم از شمال استان تا شرق آن کشیده است. همچنین نواحی پراکنده‌ای در مرکز را شامل می‌شود. در سناریو RCP4.5 از تمرکز نواحی با اولویت کم کاسته و پراکندگی بیشتری در شرق و شمال استان دیده می‌شود. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رویشی رشد زعفران بر مبنای شاخص بارش، الگوی غالب مکانی با اولویت کم می‌باشد و مساحت آن ۷۲ درصد می‌باشد. نواحی با اولویت زیاد با ۲۸ درصد در غرب و به سمت مرکز متمایل است. دوره رکود رشد زعفران در استان لرستان ماه آوریل تا سپتامبر می‌باشد. مساحت اولویت‌های نواحی مناسب دوره رکود رشد زعفران بر مبنای شاخص میانگین دما، الگوی غالب مکانی با اولویت کم می‌باشد و مساحت آن ۹۹ درصد می‌باشد. نواحی با اولویت

دوره آماری افزایش یافته است و روند افزایشی آن در سناریوهای آینده ادامه خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد آستانه‌های کمینه دما نسبت به بیشینه آن در وضعیت موجود با سرعت بیشتری در حال افزایش می‌باشد و این روند در آینده به دلیل بالارفتن بیشینه‌های دما روندی مشابه با کمینه‌های دما پیدا نموده است و به طور کلی بر روند شاخص DTR تاثیر گذاشته است. مطابق با سناریوهای تعیین شده، شاخص DTR در نواحی واقع در استان لرستان برای سناریوی RCP 45 روند کاهشی و در سناریوی RCP8.5 افزایشی می‌باشد. شاخص نوسان دمای روزانه را در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ نشان می‌دهد که روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه عمدتاً کاهشی در حدود $-0.1/-0.4$ درجه سلسیوس است. الگوی کاهشی این شاخص عمدتاً در شمال غرب، مرکز و جنوب شرق است. بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی روند تقریباً بدون تغییر است. همچنین تغییرات مکانی شاخص نوسان دمای روزانه نشان می‌دهد که میزان تغییرات دما در کل استان مانند دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ می‌باشد ولی در آینده مناطق شرقی استان بیشترین میزان کاهش این شاخص حدود $-0.4/-0$ را خواهد داشت. روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 تا پایان دوره آینده میانی روند افزایشی سراسری بین $-0.3/-0.9$ تا $-0.9/-0$ درجه سلسیوس نسبت به وضعیت موجود را نشان می‌دهد. تمام منطقه در این سناریو تقریباً الگوی مکانی مشابه دارد. تغییرات مکانی و زمانی شاخص روزهای یخبندان نشان داد که روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه کاهشی است. الگوی تغییرات مکانی در سطح منطقه متفاوت و حدود $-4/-6$ روز در سال می‌باشد. روند کاهشی مربوط به نواحی غربی و مرکزی حدود $-1/-6$ روز در سال و نواحی شمالی و شرقی روند افزایشی حدود 4 روز در سال است. بخش‌های محدودی از نواحی جنوبی نیز روند افزایشی دارد. در سناریوی RCP4.5 شبیه سازی نشان می‌دهد به طور پراکنده شمال، شرق، جنوب و تا حدودی غرب بیشترین میزان کاهش حدود $30-20$ روز را دارند. روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 تا پایان دوره آینده میانی با شدت بیشتری حدود $40-20$ روز کاهش خواهد یافت.

نتایج بدست آمده از تحلیل شاخص روزهای با دمای کمتر از $20-$ درجه سلسیوس نشان می‌دهد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه کاهشی است. الگوی تغییرات مکانی در سطح منطقه متفاوت و حدود $1-2-$ روز در سال می‌باشد. روند کاهشی حدود 2 روز در سال در شمال غرب منطقه بوده است و دیگر نواحی روند افزایشی داشته‌اند. تغییرات مکانی این شاخص بر مبنای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در آینده نشان می‌دهد که در سناریوی RCP4.5 نواحی شمال شرق و شرق حدود $9-$ تا $18-$ روز کاهش و دیگر نواحی تا 2 روز افزایشی خواهد بود. روند تغییرات در سناریوی RCP8.5 مانند سناریوی قبل است و شدت آن در نواحی شرقی تا 20 روز کاهش می‌یابد. نتایج بدست آمده از شاخص طول فصل رشد نشان داد که الگوی تغییرات مکانی در شمال غرب، شمال و شرق در حدود $13-$ روز کاهش در سال است. در نواحی شمالی و شرقی افزایشی و حدود $15-$ روز در سال است. در سناریوی RCP4.5 الگوی مکانی افزایشی و نواحی محدودی در شمال غرب و غرب حدود 2 درصد کاهش نشان می‌دهد. تغییرات مکانی در سناریوی RCP8.5 مانند سناریوی قبل در تمام استان روند مشابهی دارد. بیشترین میزان افزایش بین $80-40$ روز در نواحی غربی، مرکزی و جنوبی است. نتایج بدست آمده از تغییرات مکانی و زمانی شاخص درجه روز رشد نشان می‌دهد روند تغییرات در منطقه مورد مطالعه افزایشی است. الگوی تغییرات مکانی در سطح منطقه مشابه و حدود $150-80$ درجه روز است. بیشترین تغییرات مکانی در نواحی غربی و جنوبی حدود $150-120$ درجه روز می‌باشد. سناریوی RCP4.5 بیشترین افزایش در نواحی محدودی در شرق و جنوب حدود $350-150$ درجه روز می‌باشد. تغییرات مکانی در سناریوی RCP8.5 مانند سناریوی قبل در تمام استان روند مشابهی می‌دهد. بیشترین میزان افزایش بین $400-200$ درجه روز به طور نواری از غرب تا جنوب کشیده شده است. روند تغییرات شاخص درجه روز رشد در آینده روند افزایشی را نشان می‌دهد. دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 تقریباً منطبق هستند. بر مبنای این شکل روند تغییرات در سناریوی RCP4.5 تا اواسط دهه 2040 شدت بیشتری نسبت به سناریوی RCP8.5 داشته و بعد از آن از شیب آن

- Furió, D., Meneu, V. 2011. Analysis of extreme temperatures for four sites across Peninsular Spain. *Theoretical and applied climatology*, 104(1-2), 83-99.
- Ha, K. J., Yun, K. S. 2012. Climate change effects on tropical night days in Seoul, Korea. *Theoretical and applied climatology*, 109(1-2), 191-203.
- Hatfield, J. L., Prueger, J. H. 2015. Temperature extremes, Effect on plant growth and development. *Weather and climate extremes*, 10, 4-10.
- Ilunga, L., Tsinda, A. 2004. Physical factors of runoff in Kigali (Rwanda). *Geo Eco Trop*, 28(1-2), 53-60.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., Wehner, M., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic change*, 119(2), 345-357.
- Lijun, F. A. N., Zhe, X. I. O. N. G. 2015. Using Quantile Regression to Detect Relationships between Large-scale Predictors and Local Precipitation over Northern China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32, 541-552.
- Liu, J., Fritz, S., Van Wesenbeeck, C. F. A., Fuchs, M., You, L., Obersteiner, M., Yang, H. 2008. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub-Saharan Africa in the context of global change. *Global and Planetary Change*, 64(3-4), 222-235.
- McFadden, J. R., Miranowski, J. A. 2015. Climate change, technology, and US corn yields. Working paper. Department of Economics, Iowa State University US.
- Muhire, I., Ahmed, F. 2016. Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and applied climatology*, 123(1-2), 399-414.
- Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., Feyen, L. 2018. Global changes in drought conditions under different levels of warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7), 3285-3296.
- Ostberg, S., Schewe, J., Childers, K., Frieler, K. 2018. Changes in crop yields and their variability at different levels of global warming. *Earth System Dynamics*, 9(2), 479-496.
- Piticar, A. 2019. Changes in agro-climatic indices related to temperature in Central Chile. *International journal of biometeorology*, 63(4), 499-510.
- Raju, K. S., Kumar, N. 2018. *Impact of Climate Change on Water Resources. With Modeling Techniques and Case Studies*. Springer, Singapore.

ملایم‌تر و پایین‌تر از سناریوی بدبینانه قرار می‌گیرد. به طور کلی تغییرات این شاخص ۴۰۰-۱۰۰ درجه روز در نواحی مختلف نوسان دارد.

منابع

- Anandhi, A., Perumal, S., Gowda, P. H., Knapp, M., Hutchinson, S., Harrington, J., Rice, C. W. 2013. Long-term spatial and temporal trends in frost indices in Kansas, USA. *Climatic Change*, 120(1-2), 169-181.
- Arnell, N. W., Lowe, J. A., Challinor, A. J., Osborn, T. J. 2019. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, 155(3), 377-391.
- Arnell, N. W., Lowe, J. A., Lloyd-Hughes, B., Osborn, T. J. 2018. The impacts avoided with a 1.5 C climate target, a global and regional assessment. *Climatic change*, 147(1-2), 61-76.
- Babaeian, I., Kouhi, M. 2012. Agroclimatic Indices Assessment over Some Selected Weather Stations of Khorasan Razavi Province Under Climate Change Scenarios. *Water and Soil*, 26(4), 953-967. (In Farsi)
- Barros, V. R. 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Part B, Regional Aspects; Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Chamchati, H., Bahir., M. 2011. Contributions of climate change on water resources in semi-arid areas; example of the Essaouira Basin (Morocco). *Geographia Technica*, 1(1), 1-8.
- Donat, M. G., Alexander, L. V. 2012. The shifting probability distribution of global daytime and night-time temperatures. *Geophysical Research Letters*, 39(14). [pages???](#)
- Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O’Gorman, P. A., Maher, N. 2016. More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508-513.
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., Scarpati, O. E. 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673-1686.
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., Scarpati, O. E. 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673-1686.

- of hot temperature extremes. *Nature Climate Change*, 4(3), 161-163.
- Seo, Y. A., Lee, Y., Park, J. S., Kim, M. K., Cho, C., Baek, H. J. 2015. Assessing changes in observed and future projected precipitation extremes in South Korea. *International Journal of Climatology*, 35(6), 1069-1078.
- Schleussner, C. F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Mengel, M. 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming, the case of 1.5 C and 2 C. *Earth system dynamics*, 7, 327-351.
- Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Mueller, B., Alexander, L. V. 2014. No pause in the increase



Changes in agricultural climate indices based on climate change scenarios in Lorestan province

A. Judaki¹, M. Zohoriyan Pordel^{2*}, A. Shakiba³, A. Dasht Bozorgi⁴

Received: 06/01/2021

Accepted: 22/01/2022

Abstract

The occurrence of any possible change in the future climate will seriously change agricultural production at various levels and will be able to significantly change the crop systems that have evolved under the current climatic conditions. The aim of this study is to investigate the changes in key indicators of agricultural climate based on temperature in the context of climate change. This achieve the aim, the spatio-temporal variations in extreme temperature indices in the current conditions (1986–2016) and under scenarios of RCP4.5 and RCP8.5 (2020–2070) was analyzed based on observed data and climate models in Lorestan province. The agro-climate indices related to temperature are consists of Daily Temperature Range, Frost Days, Days with temperatures below -20 °C, Length of Growing Season and Growing Degree Days. The results indicate that the Daily Temperature Range is approximately -0.4 °C decreasing and 0.3–0.9 °C increasing in the current situation and in the RCP8.5, respectively. Indices of Frost Days and Days with temperatures below -20 °C will decrease by about 20 days in the future compared to the current condition. Compared with the current situation, Length of Growing Season and Growing Degree Days will increase by an average of 60 days a year and by about 300 degrees in the future, respectively. In general, in the future, the warm and cold periods of the year will increase and decrease, respectively. This leads to an increase in evapotranspiration and a decrease in soil moisture and a reason to reduce water storage and ultimately reduce crop yield.

Keywords, Temperature index, Climate Change Scenarios, Agricultural Climate Indices, Spatio-temporal Analysis, Lorestan province



¹ Ph. D. student Climatology of Geography and Geomorphology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

² Associate Professor. Of Geography and Geomorphology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
(*Corresponding Author Email Address: manijeh2002@yahoo.com)

³ Associate Professor of Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Ph.D. climatology, Remote sensing and GIS Reserarch center, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

جودکی، ع.، ظهوریان پردل، م.، شکبیا، ع.، دشت بزرگی، آ. ۱۴۰۱. تغییرات شاخص‌های دمایی اقلیم کشاورزی استان لرستان بر اساس سناریوهای

تغییر اقلیم. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۸۶-۷۱. DOI: 10.22125/agmj.2022.306077.1125

Judaki, A., Zohoriyan Pordel, M., Shakiba, A., Dasht Bozorgi, A. 2022. Changes in Agricultural Climate Indices Based on Climate Change Scenarios in Lorestan Provinc. Journal of Agricultural Meteorology, 10(1): 71-86. DOI: 10.22125/agmj.2022.306077.1125