

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۷

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۶

صفحات: ۶۳ - ۷۸

اثرات تغییر اقلیم بر میزان ریسک تنش سرما در الگوی کشت پاییزه سیب زمینی (مطالعه موردی: مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری استان کرمان)

فاطمه بیاتانی^۱، غلامعباس فلاح قالهری^{۲*}، مختار گرمی^۳، جواد طایبی سمیرمی^۴

چکیده

گرمايش جهانی موجب تغییر در الگوهای بارش، دما و سایر متغیرهای اقلیمی شده است. این تغییرها ریسک وقوع تنش‌های حرارتی را نیز در نظام‌های کشت گیاهان زراعی تحت تأثیر قرار داده است. این پژوهش به منظور ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر تغییرهای وقوع تنش سرما روی گیاه سیب‌زمینی در مناطق گرمسیری استان کرمان انجام شد. به همین منظور، در این پژوهش تغییرهای وقوع تنش سرما در داده‌های دیدبانی سه ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۱ و دوره آینده ۲۰۱۰-۲۰۱۱ بررسی شد. داده‌های دوره آینده، با استفاده از برون‌داد مدل گردش کلی CanESM2، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، با به‌کارگیری نرم‌افزار SDSM ریزمقیاس و تولید شدند. شاخص‌های اقلیمی مورد استفاده برای ارزیابی تغییرهای وقوع تنش سرما در سیب‌زمینی از طریق آستانه‌های بردباری سیب‌زمینی و بر اساس میانگین آمار بلندمدت اقلیمی تعیین و احتمال وقوع آن در طول دوره رشد ارزیابی گردید. در ایستگاه جیرفت، احتمال وقوع دماهای زودرس و دیررس زیر ۵ درجه به ترتیب تا ۸۳ درصد و ۶۳ کاهش یافته است. در ایستگاه کهنوج و منوجان احتمال وقوع دماهای زودرس و دیررس زیر ۵ درجه در دوره‌ی آینده به ترتیب، کاهش و افزایش یافت. تاریخ شروع و پایان وقوع تنش سرما به ترتیب به ابتدای و انتهای فصل سرد سال جابه‌جا شده است. نتایج آماری حاکی از افزایش روزهای با تنش سرمازدگی ($T \leq 5$)، در ایستگاه جیرفت در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و ایستگاه منوجان در دوره ۲۰۷۱-۲۰۱۰ است؛ اما تنش سرمازدگی در ایستگاه کهنوج کاهش می‌یابد. این در حالی است که روزهای با تنش یخ‌زدگی در ایستگاه‌های جیرفت، کهنوج و منوجان در دوره اقلیمی آینده افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهند به‌طور متوسط تاریخ وقوع سرماهای زودرس ۱۰ روز زودتر و سرماهای دیررس ۱۴ روز دیرتر از میانگین بلندمدت اقلیمی در منطقه مورد مطالعه رخ می‌دهند.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی، ریزمقیاس نمایی، سیب‌زمینی، کرمان.

bayatanifateme@gmail.com

g.fallah@hsu.ac.ir

M.karamio8@yahoo.co.uk

Jtaei@ujir.ac.ir

^۱ - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۲ - دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسئول)

^۳ - استادیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۴ - استادیار زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه جیرفت

مقدمه

تغییرهای آب و هوایی یا تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ بدهد. پدیده تغییر اقلیم و تأثیرهای آن به عنوان یکی از مهم ترین چالش های پیش رو در بخش های کشاورزی و منابع آب است. هیئت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC^۱) در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است. میانگین درجه حرارت جهان از سال ۱۸۶۱ میلادی روندی افزایشی داشته و حتی در قرن بیستم میلادی نیز این افزایش بین $(\pm 0.6 \text{ } ^\circ\text{C})$ درجه سانتی گراد بوده است (IPCC, ۲۰۰۱).

عملکرد گیاهان زراعی و سازگاری آنها تحت تأثیر تغییرهای اقلیمی قرار دارد. اگر روند این تغییرها سریع باشد، چون گیاهان نسبت به سایر موجودات زنده امکان گریز از شرایط نامساعد را ندارند، بنابراین زیان بیشتری را متحمل خواهند شد (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷)؛ بنابراین تغییرها در پارامترهای اقلیمی به نوبه خود، تغییر در تولید محصول های کشاورزی را به ارمغان می آورد. کاهش میزان تولید محصول های کشاورزی در اثر سرمازدگی، تگرگ و یخزدگی از جمله اثرهای گرمایش جهانی در بخش کشاورزی و در سطح منطقه ای می باشد. بنابراین دمای هوا یکی از مهم ترین فاکتورهای اقلیمی مؤثر بر رشد گیاهان و تولیدهای کشاورزی محسوب می شود. پروتوپلاسم گیاه فقط در یک دامنه محدود از درجه حرارت قادر به ادامه فعالیت های خود می باشد (علیزاده، ۱۳۸۹)، گیاه در شرایط خارج از این محدوده دمایی، با تنش روبرو شده و ممکن است خسارت ببیند. تنش عبارت از مواجه شدن گیاه با شرایط نامساعد محیطی در طول فصل رشد یا مرحله ای از رشد است که عامل ایجاد آن بتواند تغییرهای فیزیولوژیک قابل توجهی را بر رشد یا تولید محصول باعث گردد.

با توجه به اهمیت وضع هوا و اقلیم بر بخش کشاورزی، دستیابی به پیش بینی های بلندمدت اقلیمی در این بخش ضروری است. پیدایش مدل های اقلیم جهانی (GCM^۲) و منطقه ای (RCM^۳) این امکان را به وجود آورده است تا محققان بتوانند تأثیر وضع هوا و اقلیم را در مقیاس های زمانی بلندمدت بر محصول های مختلف کشاورزی بررسی نمایند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). برخی از تغییرهای رخ داده در دوره رشد گیاهی در مقابل تغییر شرایط اقلیمی، در مقیاس محلی و منطقه ای قابل مشاهده است. به طور مثال در ایرلند (هولدن و همکاران، ۲۰۰۳) با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی HADCM3Gal اثرهای تغییرهای اقلیمی را بر روی عملکرد گیاه جو و سیب زمینی ارزیابی کردند. نتایج بررسی ها نشان داد که تغییرهای اندکی در عملکرد جو رخ خواهد داد. در مقابل عملکرد سیب زمینی در هر دو دوره کاهش می یابد و تقاضا برای آبیاری سیب زمینی به ویژه در شرق ایرلند در فصل تابستان بسیار قابل توجه خواهد بود. (لوبل و همکاران، ۲۰۰۵) با ترکیب مدل های آماری و دینامیکی (مدل CERES-Rice) نشان دادند که بخش اعظمی از روند رو به رشد عملکرد گندم در ایالات شمال غربی مکزیک به دلیل تغییرهای

1- International Panel on Climate Change

2- General circulation model.

3- Regional climate model.

اقلیمی، به‌ویژه کاهش درجه حرارت شب در طی فصل رشد است. همچنین در آینده نزدیک روند این افزایش کند خواهد شد. (داکچی و همکاران، ۲۰۱۱) اثرهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد گیاه سیب‌زمینی را با استفاده از ترکیب خروجی‌های مدل‌های چرخشی عمومی (GCM) و مدل رشد سیب‌زمینی (SUBSTOR-Potato) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با فرض اینکه عوامل مؤثر در زراعت سیب‌زمینی تغییر نکنند، عملکرد محصول به میزان ۶-۳ درصد افزایش می‌یابد. در مقابل عملکرد پتانسیل در آینده بدون محدودیت آب و کود حدود ۱۶-۱۳ درصد قابل‌افزایش است و با توجه به افزایش عملکرد پیش‌بینی‌شده حدود ۳۰-۱۴ درصد نیاز آب قابل آبیاری افزایش خواهد یافت. (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴) تغییرهای عملکرد برنج را با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3¹ تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 با روش ریزمقیاس‌نمایی آماری² SDSM در چین مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه عملکرد برنج کاهش قابل‌توجه و دوره رشد برنج کوتاه‌تر می‌شود. (نارش کومار و همکاران ۲۰۱۵) از دو مدل گردش عمومی جو MIROCHI.3.2³ و PRECIS³ برای ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی گیاه سیب‌زمینی استفاده نمودند. آنها نشان دادند که دوره رشد محصول و راندمان آب قابل آبیاری کاهش، تبخیر و تعرق افزایش و موجب کاهش ۱۱ درصدی عملکرد سیب‌زمینی خواهد شد. بنابراین مهم‌ترین گزینه در سازگاری با شرایط آینده، تغییر زمان کاشت در آینده خواهد بود. (پولاتو و همکاران، ۲۰۱۵) با به‌کارگیری سناریوهای RCP⁴ برای دوره ۲۰۰۰-۱۹۹۱ به مطالعه اثرهای بالقوه گرم شدن آب‌وهوا بر روی فنولوژی محصول سیب‌زمینی و استرس دمایی پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد با کشت زودتر سیب‌زمینی می‌توان سیب‌زمینی را یک ماه زودتر برداشت کرد. ولی با این حال ظهور اولیه سیب‌زمینی با افزایش ریسک خطر سرمازدگی در بیشتر نقاط شمال اروپا همراه خواهد بود. اثرهای تغییرهای آب‌وهوا بر روی آب مورد نیاز گندم زمستانه و گوجه‌فرنگی در منطقه مدیترانه توسط (سادی و همکاران، ۲۰۱۵) شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج حاصل شده بارش کاهش و دما (به میزان $1/5 \pm 0/27$)، تبخیر و تعرق سالیانه به میزان $6/7$ درصد افزایش نشان می‌دهند. میانگین طول فصل رشد در دوره ۲۰۵۰ برای گندم و گوجه‌فرنگی کوتاه‌تر خواهد شد. در داخل کشور اکثر تحقیق‌ها با موضوع تغییر اقلیم بر اساس آشکارسازی تغییرهای دو متغیر اصلی دما و بارش تمرکز داشته و در محدوده مطالعاتی که با استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی صورت گرفته، کمتر به جنبه کاربردی میزان تغییرهای پیش‌بینی‌شده بر بخش‌های مختلف پرداخته شده است. در همین ارتباط (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰) با به‌کارگیری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوهای B1, A2 و A1B اثرهای تغییرهای اقلیمی را بر گیاه چغندر قند و گندم در مقیاس ماهانه در استان خراسان رضوی مورد ارزیابی قرارداد. نتایج نشان داد نیاز آبی هر دو گیاه در تربت‌جام افزایش و در سرخس کاهش خواهد یافت. در مطالعه‌ای دیگر با کارگیری مدل ریزمقیاس آماری ASD⁵ اثرهای

1- Hadley Center for Climate Prediction and Research's HadCM3.

2 - Statistical Downscaling Model.

3 - Providing Regional Climate for Impact Study.

4 - Representative Concentration Pathway.

5-Automated Statistical Downscaling.

تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان حوضه کشف رود مورد ارزیابی قرار گرفت. برآورد میزان تبخیر و تعرق با استفاده از معادله هارگریوز-سامانی در دوره‌های مختلف محاسبه و نتایج حاکی از افزایش میزان تبخیر و تعرق در دوره‌های آینده می‌باشد. همچنین با توجه به بررسی شاخص‌های خشکسالی^۱ PNPI،^۲ ARI و^۳ SPI تعداد وقوع دوره‌های خشک افزایش، اما از شدت آنها کاسته می‌شود (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). (دلقدی و همکاران، ۱۳۹۳) باهدف ارزیابی پتانسیل تأثیرهای تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در محدوده شهرستان اهواز، از مدل AOGCM استفاده نمود. با توجه به واسنجی و ارزیابی رشد گندم توسط مدل گیاهی CERES-Wheat، نتایج حاکی از کوتاه‌تر شدن دوره رشد گندم می‌باشد. (رضایی زمان و افروزی ۱۳۹۴) در مطالعه‌ای از مدل ریزمقیاس نمای SDSM برای شبیه‌سازی و ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر محصول‌ها در حوضه سیمینه‌رود استفاده نمودند و راهبرد تغییر الگوی کشت را به‌عنوان یک راهکار تطبیقی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش تنش آبی و دمایی و کاهش عملکرد محصول‌ها در این حوضه است. (محمدی و گل‌خو، ۱۳۸۹) تأثیرهای یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره را بر کشت غلات در ایستگاه کرج مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، یخبندان دیررس بهاره بر عملکرد محصول گندم تأثیر بسزایی دارد؛ اما یخبندان‌های زودرس پاییزه باوجود تأخیر در رشد گیاه تأثیر چندانی بر عملکرد گیاه نداشته و آسیب گیاه در این فصل بیشتر، حساس به تاریخ کشت و شدت یخبندان و هم‌زمانی مرحله‌ی جوانه‌زنی با این سرما می‌باشد. (طایی‌سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۵) در پژوهشی به ارزیابی تناسب اقلیمی-کشاورزی نظام کشت زمستانه سیب‌زمینی باهدف بررسی احتمال وقوع تنش‌های حرارتی گرما، سرما و یخ‌زدگی در طول دوره رشد در استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که قسمتی از مناطق جنوبی و شرقی استان از لحاظ اقلیمی برای نظام کشت زمستانه مناسب و مناطق مرتفع غربی و مرکزی ضعیف تا نامناسب است. مناطق شرقی استان شامل دشت لوت به دلایل خاص اکولوژیک از توان لازم برای کاربری کشاورزی برخوردار نیست.

تنش سرما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که باعث کاهش عملکرد محصول‌ها در کشت پاییزه در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری می‌شود. طبق گزارش‌های سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان، افت شدید دما در مهر و موم‌های ۱۳۶۰، ۱۳۶۹، ۱۳۷۲، ۱۳۷۳، ۱۳۷۴، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۱ موجب وارد شدن خسارت شدید به محصول‌های زراعی (سیب‌زمینی) در اثر پدیده سرمازدگی و یخبندان شده است. بنابراین با توجه به مطالعه‌های اسنادی و همچنین مطابقت میزان تولید سیب‌زمینی در جنوب استان کرمان با سال‌های وقوع یخبندان‌های پاییزه، مهم‌ترین عامل خسارت‌زا و محدودکننده تولید و توسعه سیب‌زمینی، وقوع دماهای بحرانی به‌خصوص بروز دماهای کمتر از دمای پایه سیب‌زمینی است. همچنین طول دوره سرما و یخبندان و تعداد وقوع آن‌ها نیز می‌تواند در تصمیم‌گیری برای مناسب بودن الگوی کشت گیاهان زراعی با توجه به هزینه لازم برای کاهش و جبران خسارت‌ها مؤثر باشد. بنابراین مطالعه سرماها و یخبندان‌ها در بخش کشاورزی می‌تواند از بنیادی‌ترین مطالعه‌ها در بخش کشاورزی باشد.

1- Percent of Normal Precipitation Index.

2 - Rainfall Anomaly Index.

3 - Standardized Precipitation Index.

این تحقیق به منظور ارزیابی ریسک تنش سرما به عنوان مهم‌ترین عامل خسارت‌زا روی سیب‌زمینی در منطقه جنوب استان کرمان که یکی از نواحی مهم کشت و تأمین‌کننده‌ی سیب‌زمینی فصل زمستان است، با استفاده از ریزمقیاس نمایی برون‌داد مدل گردش کلی جو CanEMS2 تحت سناریوهای RCP مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند جهت اتخاذ روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم مورد استفاده مسئولان سازمان جهاد کشاورزی قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

۱- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، جیرفت، کهنوج و منوجان (ایستگاه کلیماتولوژی) (جدول ۱)، با طول دوره آماری ۲۵ ساله استفاده شده است. سه نوع داده در این تحقیق برای ریزمقیاس نمایی دمای حداقل مورد استفاده قرار گرفت که عبارت‌اند از: فراسنج‌های بزرگ‌مقیاس در دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۱۱) حاصل از مدل گردش کلی CanESM2، فراسنج‌های بزرگ‌مقیاس باز تحلیل از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی آمریکا^۱ NCEP در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۱ و داده‌های دیدبانی دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه. متدولوژی بررسی آینده شرایط اقلیمی بر اساس سناریوهای RCP در دو بخش وضعیت موجود و آینده انجام شد که هر کدام شامل مراحل مختلفی می‌باشند.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
جیرفت	۲۸.۳۵	۵۷.۴۸	۶۰۱
کهنوج	۲۷.۵۸	۵۷.۴۲	۴۶۹.۷
منوجان	۲۷.۲۶	۵۷.۳۰	۳۴۰

۲- مدل تولید داده SDSM

یکی از مهم‌ترین مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری، مدل SDSM است که مولد مصنوعی داده‌های هواشناسی می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی rcp26، rcp45 و rcp85 استفاده شده است. مدل SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان تهیه شده است. مدل SDSM روابط آماری را بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) محاسبه می‌کند (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۲). در این مدل، اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ‌مقیاس منطقه در فرم $R=F(X)$ بیان می‌شود. که در اینجا R نشان‌دهنده متغیر محلی است که کوچک‌مقیاس شده است، X

1- National Center Environment Prediction.

مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس است و F یک تابع تعیین مشروط به X است که بر اساس آموزش و اعتبارسنجی داده‌های تاریخی به دست می‌آید.

در این تحقیق، ابتدا به منظور واسنجی و صحت یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ‌مقیاس مشاهداتی منطقه مورد مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره ۱۹۸۱-۲۰۰۵ (متغیرهای استخراج‌شده از NCEP) به‌عنوان متغیر مستقل و دمای حداقل روزانه مشاهداتی منطقه در همین دوره، به‌عنوان متغیر وابسته به‌طور جداگانه وارد مدل شدند. پس از واسنجی مدل SDSM، در ادامه به‌منظور بررسی توانایی مدل گردش کلی CanESM2 در شبیه‌سازی دمای حداقل منطقه، متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل CanESM2 در دوره ۱۹۸۱-۲۰۰۵ به مدل SDSM (واسنجی شده در مرحله قبل) وارد گردید و متغیر دمای حداقل منطقه برای این دوره کوچک‌مقیاس شد. در نهایت متغیرهای کوچک‌مقیاس شده منطقه با متغیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته و پس از کسب اطمینان از توانایی مدل CanESM2 در کوچک‌مقیاس کردن متغیر دمای حداقل منطقه، سری زمانی متغیر با معرفی متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل CanESM2 در دوره‌های (۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱) به مدل SDSM (واسنجی شده از مرحله قبل) برای دوره‌های آبی شبیه‌سازی شد.

سپس با توجه به موضوع تحقیق، محاسبه‌های آماری لازم انجام و نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس متغیر دمای حداقل صورت گرفت. برای انجام فرایند پهنه‌بندی، از سه ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان (جنوب استان کرمان) با دوره آماری ۲۵ ساله استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های استفاده‌شده را نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

۱- تعیین آستانه‌های دمایی و تاریخ‌های شروع، پایان و طول دوره یخبندان و سرما

در این مطالعه داده‌ها در دو دوره آماری، یکی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۰۵ بر اساس داده‌های موجود به‌عنوان دوره گذشته و دیگری داده‌های تولیدشده توسط مدل SDSM به‌عنوان دوره آینده تقسیم و سری زمانی دماهای حداقل برای هر یک از روزهای سال طی هر دوره برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه تشکیل شد. برای تبدیل تاریخ به عدد از ۱۵ اکتبر (۲۳ مهرماه) شماره مسلسل روزها به‌عنوان شماره روز در نظر گرفته شد. با توجه به جدول ۲، دمای پایه سیب‌زمینی ۳-۷ درجه سانتی‌گراد است (اوینگ، ۱۹۸۱؛ هاورکت و مکرون، ۱۹۹۵؛ نادلر، ۲۰۰۷؛ سندس و همکاران، ۱۹۷۹؛ سرپرست و مشایخی، ۲۰۱۴). به همین خاطر دمای پایه سیب‌زمینی به‌طور میانگین ۵ درجه سلسیوس انتخاب شد. بنابراین اولین تاریخی که حداقل دمای هوا به زیر ۵ درجه سانتی‌گراد نزول می‌کند، تاریخ اولین سرمای زودرس پاییزه در نظر گرفته شد. در این پژوهش، تنش دمایی در گیاه سیب‌زمینی در دو بخش تنش سرمازدگی (بازه دمایی بین ۵ و صفر درجه سانتی‌گراد) و تنش یخ‌زدگی (کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، تاریخ وقوع و اتمام هر دو نوع تنش دمایی برای سه ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان بر اساس تاریخ ژولیوسی محاسبه گردید. همچنین در هر سال فاصله بین شماره اولین و آخرین روزهایی که دما از این آستانه‌ها پایین‌تر بودند، به‌عنوان طول دوره سرما و یخبندان به حساب آمد. پس از تشکیل سری زمانی

شماره روز و طول دوره سرماها و یخبندانها، بهترین توزیع آماری بر آنها برازش داده شد و بر اساس آن، مقادیر با احتمال ۵۰ درصد یا احتمال میانگین برآورد و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت. نمودار توزیع تجمعی PDF سرماهای زودرس و دیررس برای دوره‌ی دیدبانی و آینده و همچنین نمودار باکس پلات برای دوره آینده رسم گردید و نتایج آنها مورد تحلیل قرار گرفت.

در مرحله بعد، جهت تعمیم داده‌های نقطه‌ای به داده‌های منطقه‌ای و ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی، از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. بر اساس روابط موجود بین تاریخ اولین سرمای زودرس (آخرین سرمای دیررس) با دمای حداقل دوره سرد سال و ارتفاع معادله رگرسیون مربوطه به دست آورده شد. این معادله‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGis10.3 اعمال و نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شد. بر اساس این نقشه‌ها، تاریخ وقوع اولین سرمای زودرس و آخرین سرمای دیررس در دوره‌های اقلیمی آینده در منطقه مشخص شد. جدول ۲ دماهای بحرانی گیاه سیب‌زمینی در مراحل مختلف فنولوژی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: پارامترهای مرتبط با نیاز دمایی سیب‌زمینی

پارامتر	دامنه (سانتی‌گراد)
دمای پایه	۷-۳
دمای بهینه	۳۰
حد پایینی دمای بهینه	۱۵
حد بالایی دمای بهینه	۳۵
حداکثر دمای قابل تحمل	۴۰

۲- تغییرهای شروع و پایان و طول دوره سرما

تاریخ رخداد اولین سرمای زودرس، از سالی به سال دیگر متغیر است و تعیین آن به‌طور مطلق تقریباً ممکن نیست، اما با استفاده از علم آمار و احتمالات و با توجه به آمار بلندمدت می‌توان با احتمال‌های مختلف تاریخ شروع سرماهای زودرس و دیررس را تعیین کرد. بدین منظور با توجه به تعیین آستانه ۵ درجه و با بررسی داده‌های روزانه برای هرسال زراعی، تاریخ عبور حداقل دما به زیر آستانه ۵ درجه سانتی‌گراد، طی دوره دیدبانی ۱۹۸۱-۲۰۰۵ و سه دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، توزیع‌های آماری بر روی آنها برازش شد. آزمون‌های نکویی برازش مشخص کرد توزیع آماری نرمال، بهترین برازش را بر تاریخ وقوع دماهای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد دارد. بر اساس تابع چگالی احتمالاتی، توزیع نرمال شماره روز با مقادیر احتمالاتی ۵۰ درصد تعیین شد. خلاصه پارامترهای آماری تاریخ اولین سرمای زودرس پاییزه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: خلاصه پارامترهای آماری تاریخ اولین و آخرین تنش سرمایی (واحد روز ژولیوسی)

منوجان	کهنوج	جیرفت	ایستگاه		
			اولین تنش سرما	آخرین تنش سرما	طول سرما (روز)
۷۶	۷۱	۶۰	۲۰۰۵-۱۹۸۱	دوره مشاهداتی	اولین تنش سرما
۱۰۷	۱۱۵	۱۲۹			آخرین تنش سرما
۳۱	۴۴	۶۹			طول سرما (روز)
۶۳	۵۹	۵۰	۲۰۴۰-۲۰۱۱	دوره آینده	اولین تنش سرما
۱۲۴	۱۲۷	۱۴۱			آخرین تنش سرما
۶۱	۶۸	۹۱			طول سرما (روز)
۶۶	۶۰	۵۵	اولین تنش سرما		
۱۲۷	۱۲۷	۱۴۰	آخرین تنش سرما		
۶۱	۶۷	۸۵	طول سرما (روز)		
۶۳	۶۰	۵۴	۲۱۰۰-۲۰۷۱		اولین تنش سرما
۱۲۵	۱۲۹	۱۴۲			آخرین تنش سرما
۶۲	۶۹	۸۸			طول سرما (روز)

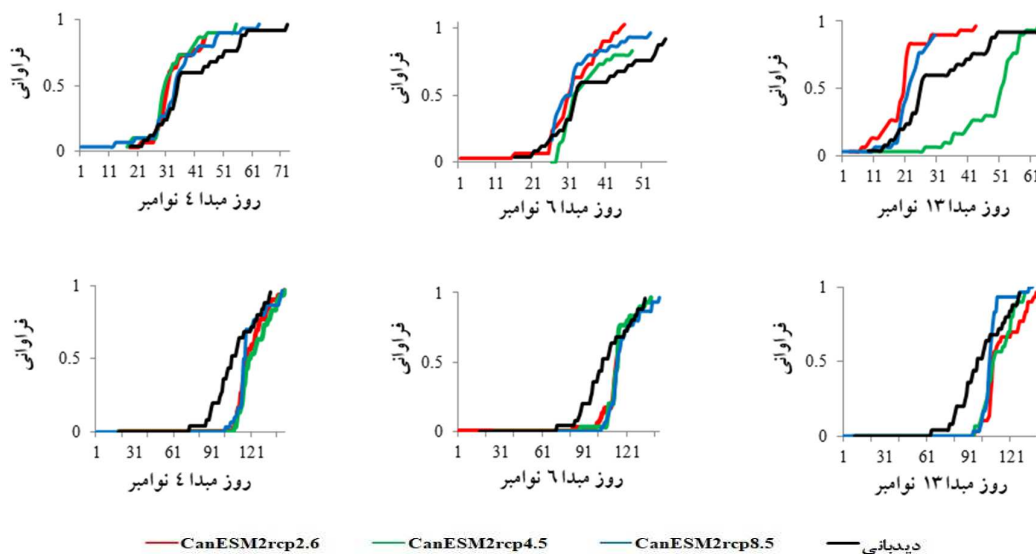
بررسی این مقادیر احتمالی نشان می‌دهد در ایستگاه جیرفت تنش‌های سرمایی بین ۱۰-۵ روز زودتر شروع شده و ۱۳-۱۱ روز دیرتر به پایان می‌رسد. در ایستگاه کهنوج اولین تنش‌های سرمایی بین ۱۳-۱۱ روز زودتر از دوره دیدبانی شروع و ۱۴-۱۲ روز آخرین تنش‌های سرمایی خاتمه می‌یابد. در ایستگاه منوجان تنش‌های سرمایی در دوره آینده ۱۳-۱۰ روز زودتر از دوره دیدبانی و ۲۰-۱۷ روز دیرتر به پایان می‌رسد.

نتایج و بحث

۱- احتمال وقوع تنش سرما

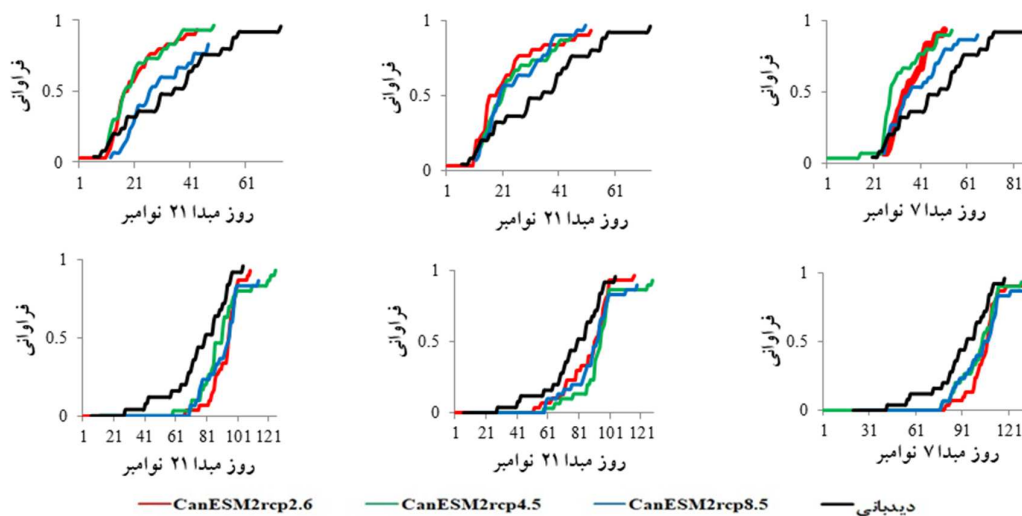
شکل ۱ احتمال وقوع دمای زودرس زیر ۵ درجه سلسیوس ایستگاه جیرفت را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود حداکثر احتمال وقوع دمای زیر ۵ درجه در این منطقه بر اساس داده‌های دیدبانی بالای ۹۰ درصد است؛ یعنی به‌طور متوسط هر یک سال یک‌بار (دوره‌ی برگشت ۱ سال) احتمال وقوع سرمای زیر ۵ درجه وجود دارد؛ به‌عبارت‌دیگر در کمتر از ۱۰ درصد سال‌ها دمای هوا به زیر ۵ درجه سلسیوس نمی‌رسد. سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نشان می‌دهند که در اثر تغییر اقلیم، آستانه دوره برگشت دوره دیدبانی یک‌ساله است. تنها در سناریوی rcp8.5 احتمال وقوع دمای زیر ۵ درجه ۹۰ درصد است و در دو سناریوی rcp2.6 و rcp4.5 آستانه دوره برگشت بالای ۹۰ است. شکل منحنی نشان می‌دهد که توزیع احتمال وقوع در سناریوهای مختلف نسبت به دوره دیدبانی به سمت ابتدای پاییز جابجا شده است. این امر نشان‌دهنده این مطلب است که تاریخ وقوع اولین سرمای زیر ۵ درجه سلسیوس در دوره برگشت‌های مختلف به سمت ابتدای فصل سرد منطقه جابجا می‌شود. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱

احتمال وقوع دمای زیر ۵ درجه در سناریوی rcp2.6 به یک افزایش و در سناریوی rcp4.5 به ۸۳ درصد کاهش یافته است. در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نیز تنها در سناریوی rcp2.6 احتمال وقوع به ۸۶ درصد کاهش یافته است. در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5، تغییرهایی نسبت به دوره دیدبانی نشان نمی‌دهند. در شکل ۱ منحنی احتمال وقوع دمای دیررس تنها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در سناریوی rcp8.5، به یک افزایش و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ در سناریوی rcp2.6، به ۶۳ درصد کاهش یافته است. شکل منحنی نیز نشان می‌دهد که توزیع احتمال وقوع به سمت انتهای فصل سرد کشیده شده است.



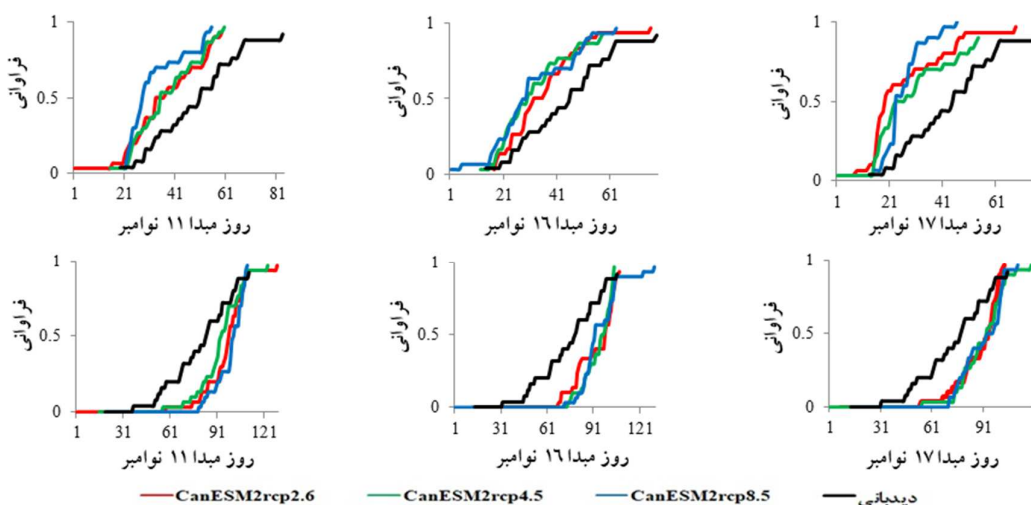
شکل ۱: توزیع تجمعی احتمال وقوع سرمای زودرس (بالا) و دیررس (پایین) زیر ۵ درجه سلسیوس برای دوره ۲۰۲۰ (راست)، ۲۰۵۰ (وسط) و ۲۰۸۰ (چپ) در ایستگاه جیرفت.

شکل ۲ توزیع تجمعی احتمال وقوع سرمای زودرس و دیررس زیر ۵ درجه سلسیوس را در ایستگاه کهنوج را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر سه دوره احتمال وقوع سناریوهای مختلف نسبت به دوره دیدبانی تاریخ وقوع اولین سرمای زودرس به سمت ابتدای فصل پاییز کشیده شده است. در مقابل تاریخ آخرین سرمای زودرس به ابتدای فصل زمستان محدود شده است. این در حالی است که تاریخ وقوع آخرین سرمای زودرس تا انتهای فصل زمستان ادامه دارد. شکل توزیع تجمعی سرمای دیررس در ایستگاه کهنوج نشان می‌دهد، تاریخ رخ داد آخرین سرمای دیررس به انتهای فصل سرد کشیده شده است. بنابراین به‌طور کلی با توجه به تاریخ اولین سرمای زودرس و آخرین سرمای دیررس می‌توان این نتیجه را گرفت که طول دوره سرما در این ایستگاه طولانی‌تر می‌شود.



شکل ۲: توزیع تجمعی احتمال وقوع سرمای زودرس (بالا) و دیررس (پایین) زیر ۵ درجه سلسیوس برای دوره ۲۰۲۰ (راست)، ۲۰۵۰ (وسط) و ۲۰۸۰ (چپ) در ایستگاه کهنوج.

شکل ۳: توزیع تجمعی احتمال وقوع سرماهای زودرس و دیررس زیر ۵ درجه را در ایستگاه منوجان نشان می‌دهد. احتمال وقوع سرمای زودرس در دوره ۲۰۲۰، در هر سه سناریو بالای ۹۰ درصد می‌باشد. سناریوی rcp8.5 احتمال وقوع سرمای زودرس به یک افزایش یافته است. در دو دوره بعدی نیز با توجه به نتایج سناریوها، احتمال وقوع بیشتر از ۹۰ درصد است. در ایستگاه منوجان نیز احتمال وقوع سرمای دیررس همانند ایستگاه جیرفت و کهنوج نسبت به دوره دیدبانی تغییری نشان نمی‌دهد.



شکل ۳: توزیع تجمعی احتمال وقوع سرمای زودرس (بالا) و دیررس (پایین) زیر ۵ درجه سلسیوس برای دوره ۲۰۲۰ (راست)، ۲۰۵۰ (وسط) و ۲۰۸۰ (چپ) در ایستگاه منوجان

به‌طور کلی از نمودار توزیع تجمعی در هر سه ایستگاه مطالعاتی می‌توان این نتیجه را گرفت که احتمال وقوع دمای زودرس و دیررس زیر ۵ درجه تغییر قابل توجهی را نسبت به دوره دیدبانی نشان نمی‌دهند. اما تاریخ شروع و پایان سرمای زودرس و دیررس در بازه زمانی گسترده‌تری رخ می‌دهد. به‌طوری‌که تاریخ رخداد اولین سرمای زودرس به ابتدای فصل پاییز و رخداد آخرین سرمای دیررس به انتهای فصل زمستان جابه‌جا شده است و این به معنای افزایش طول دوره سرد سال در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

۲- فراوانی تعداد روزهای همراه با تنش سرما

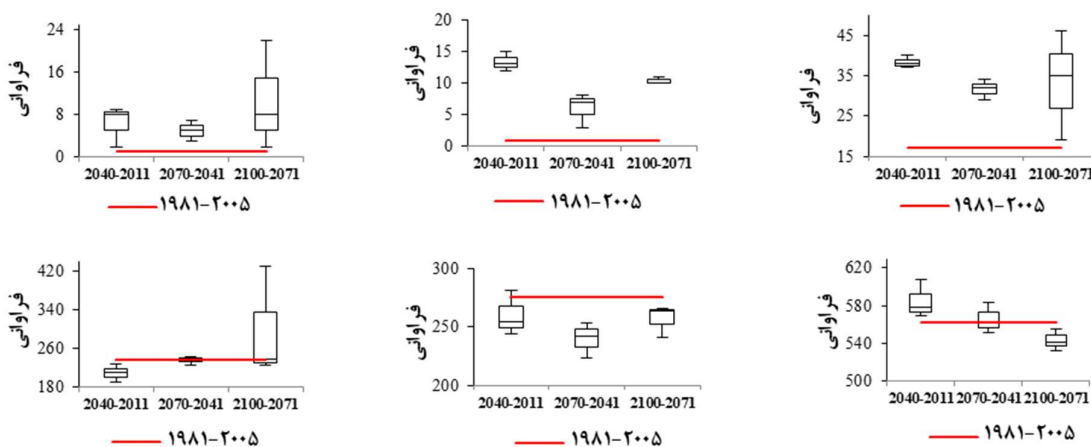
به نظر می‌رسد عامل محدودکننده گیاهان مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری، تنش سرما می‌باشد. وقوع دماهای پایین نتیجه‌ی موازنه‌ی گرمایی منفی در سطح زمین است. واکنش گیاه بسته به شدت و مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض تنش متفاوت است. رشد و عملکرد گیاهان زراعی تابعی از کلیه‌ی عوامل محیطی و اثرهای متقابل آن می‌باشد. جدول شماره ۴ فراوانی روزهای وقوع تنش سرمایی ($0 \leq T \leq 5$) و تنش یخ‌زدگی ($T < 0$) را در سه ایستگاه مطالعاتی جیرفت، کهنوج و منوجان در دوره دیدبانی و دوره‌های آینده نشان می‌دهد.

جدول ۴: فراوانی روزهای تنش سرمایی ($0 \leq T \leq 5$) و تنش یخ‌زدگی ($T < 0$). (واحد: روز)

جیرفت		کهنوج		منوجان		دوره‌های اقلیمی	
$0 \leq T \leq 5$	$T < 0$	$0 \leq T \leq 5$	$T < 0$	$0 \leq T \leq 5$	$T < 0$		
۵۶۲	۱۷	۲۷۶	۴	۲۳۶	۱	دوره دیدبانی	
۶۰۸	۳۸	۲۵۵	۱۲	۲۲۸	۹	RCP2.6	۲۰۱۱-۲۰۴۰
۵۷۸	۳۷	۲۸۱	۱۵	۲۱۱	۲	RCP4.5	
۵۶۹	۴۰	۲۴۴	۱۳	۱۹۱	۸	RCP8.5	
۵۶۳	۳۴	۲۴۲	۷	۲۲۶	۷	RCP2.6	۲۰۴۱-۲۰۷۰
۵۸۳	۲۹	۲۵۴	۳	۲۴۳	۳	RCP4.5	
۵۵۱	۳۲	۲۲۴	۸	۲۳۹	۵	RCP8.5	
۵۵۶	۱۹	۲۶۴	۱۰	۲۳۸	۲	RCP2.6	۲۰۷۱-۲۱۰۰
۵۳۳	۳۵	۲۶۶	۱۰	۲۲۵	۸	RCP4.5	
۵۴۱	۴۶	۲۴۰	۱۲	۴۳۱	۲۲	RCP8.5	

جدول ۵: فراوانی روزهای بی‌دری تنش سرمای (T ≤ ۵ ≤ ۰) و تنش یخ‌زدگی (T < ۰). (واحد: روز)

جیرفت		کهنوج		منوجان		دوره‌های اقلیمی
T ≤ ۵ ≤ ۰	T < ۰	T ≤ ۵ ≤ ۰	T < ۰	T ≤ ۵ ≤ ۰	T < ۰	
۹۳	۱۱	۵۵	۳	۴۲	۱	دوره دیدبانی
۹۹	۱۴	۲۴	۴	۱۸	۱	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5
۸۸	۱۶	۲۹	۱	۱۵	۱	
۷۹	۱۷	۱۴	۱	۱۳	۳	
۸۸	۱۴	۲۳	۱	۲۰	۱	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5
۱۰۱	۱۰	۱۸	۰	۲۰	۲	
۸۳	۱۴	۱۷	۲	۱۷	۳	
۷۳	۸	۲۲	۱	۲۵	۱	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5
۸۲	۱۶	۲۸	۱	۲۰	۱	
۸۱	۲۴	۲۵	۴	۶۴	۱۴	



شکل ۴: فراوانی روزهای با دمای T < ۰ (بالا)، روزهای با دمای ۰ ≤ T ≤ ۵ (پایین)، ایستگاه جیرفت (راست)، ایستگاه کهنوج (وسط) و ایستگاه منوجان (چپ).

شکل ۴ فراوانی روزهای با دمای T < ۰ و ۰ ≤ T ≤ ۵ را در هر سه ایستگاه مطالعاتی نشان می‌دهد. در ایستگاه جیرفت در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ روزهای با دمای ۰ ≤ T ≤ ۵ افزایش را نشان می‌دهد؛ ولی در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ این تعداد روز نسبت به دوره دیدبانی کاهش را نشان می‌دهد. در ایستگاه کهنوج در هر سه دوره در بازه دمایی ۰ ≤ T ≤ ۵ فراوانی تعداد روزها کاهش را نشان می‌دهد. ایستگاه منوجان ابتدا در دوره اول کاهش و سپس در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ افزایش چشمگیری در تعداد روزهای با دمای ۰ ≤ T ≤ ۵ مشاهده می‌شود. فراوانی روزهای با دمای زیر صفر درجه در هر سه ایستگاه مطالعاتی نسبت به دوره دیدبانی افزایش را نشان می‌دهند. در ایستگاه جیرفت دوره اول بیشترین فراوانی روزهای با دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص داده و در دو دوره بعد این تعداد کاهش می‌یابد. در ایستگاه کهنوج دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ نسبت به دوره اول تعداد روزهای با دمای صفر درجه کاهش و در دوره

سوم افزایش می‌یابد. بیشترین میزان افزایش روزهای زیر صفر درجه در ایستگاه منوجان مربوط به دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ می‌باشد.

۳- نقشه‌های پهنه‌بندی سرمای زودرس و دیررس در دوره‌های آینده

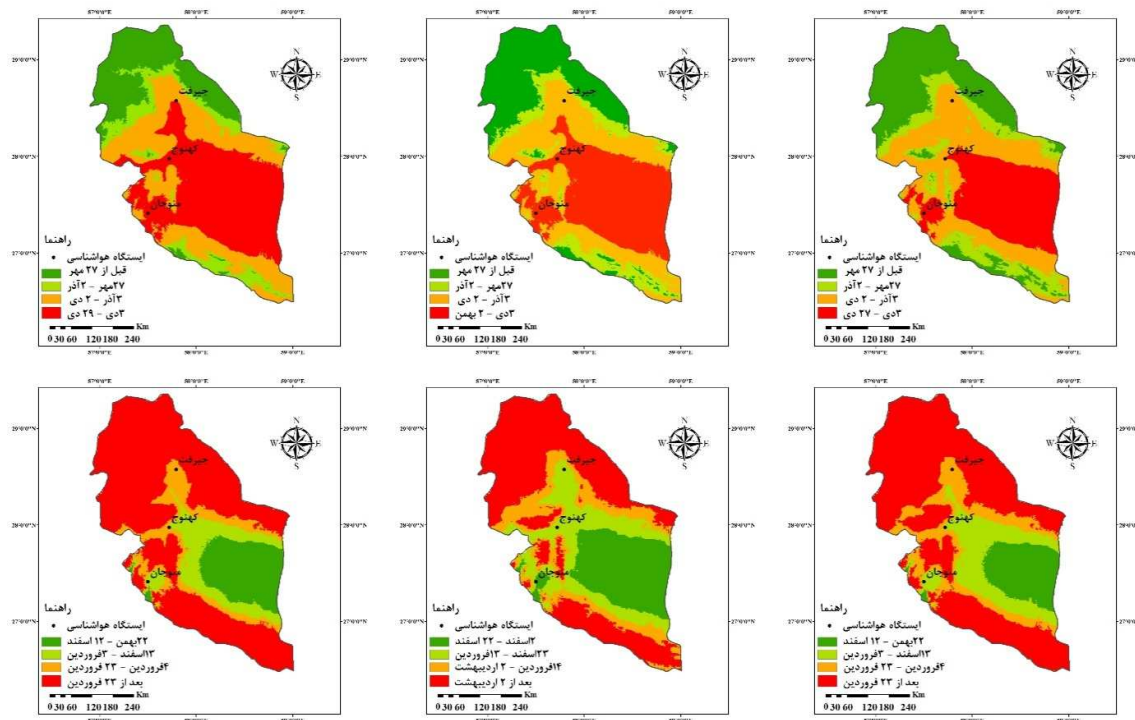
در نواحی بسیار گرم کشور، دمای پاییز و زمستان آنقدر ملایم می‌باشد که تولید سیب‌زمینی در آنها امکان‌پذیر است. برای کشت سیب‌زمینی میانگین دمای روزانه بایستی بین ۱۰ تا ۲۵ درجه قرار گیرد. با توجه به این میزان دما و با توجه به پژوهش‌هایی که در مرکز تحقیقات جیرفت صورت گرفته، بهترین زمان شروع کشت از اوایل آبان شروع و تاریخ برداشت آن با توجه به کاشت نوع سیب‌زمینی از نظر طول دوره رشد مشخص می‌شود. نوع سیب‌زمینی که در منطقه جنوب کرمان کشت می‌شود از نوع میان‌رس و دیررس می‌باشد. بنابراین تاریخ برداشت سیب‌زمینی به فروردین می‌رسد. درحالی‌که طبق طرح استمرار کشت سیب‌زمینی (کشت اول) در جنوب کرمان از اواخر شهریور تا نیمه اول مهر انجام می‌شود و برداشت آن نیمه دوم دی به بعد می‌باشد. بنابراین در کشت پاییزه، سیب‌زمینی در زمان کاشت مشکل گرما و از نیمه دوم آذرماه خطر سرمازدگی پاییزه و وارد آمدن خسارت را افزایش می‌دهد. طبق آمار ثبت‌شده در طی دوره آماری گذشته، منطقه جنوب کرمان شاهد یخبندان‌های زودرس پاییزه و فراگیر در سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۹۰، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۳ بوده است که این مسأله به‌طور بارزی بر میزان تولید و عملکرد سیب‌زمینی تأثیر گذاشته است. البته بروز سرمازدگی و شدت اثرهای آن به عواملی همچون نوع رقم، ویژگی‌های فیزیولوژی و ناهنجاری‌های دمایی در اواخر پاییز بستگی دارد. ارقام متفاوت سیب‌زمینی، دارای تقویم زراعی متفاوت و آستانه‌های بحرانی متفاوت می‌باشند. بنابراین همان‌طور که پیش‌ازاین یاد شد یکی از مشکلات مهم کشت پاییزه سیب‌زمینی در هنگام غده بندی و حجیم شدن غده‌ها، روزها سرد و کوتاه می‌شوند؛ در نتیجه غده‌ها نمی‌توانند به حداکثر وزن و اندازه خود برسند و میزان عملکرد کاهش خواهد یافت. علاوه بر این در کشت پاییزه احتمال از بین رفتن کل محصول یا افت عملکرد بسته به زمان وقوع و مدت یخبندان وجود دارد (دهدار ۱۳۸۷). در این پژوهش از روش رگرسیون چند متغیره برای ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد. معادله‌های زیر نتایج رگرسیون چند متغیره را که از طریق محاسبه همبستگی بین متغیرهای مورد استفاده به‌دست آمده است، نشان می‌دهد. این معادله‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی اعمال شده‌اند.

جدول ۶: معادله‌های رگرسیون چند متغیره دوره آینده

دوره‌های اقلیمی	سرمای دیررس	R ²	سرمای زودرس	R ²
۲۰۴۰-۲۰۱۱	$T_{87.556} - H_{0.103} + 0.128, 0.54 = 2Y$	۰.۸۹	$T_{2.552} + H_{0.078} - 80.742 = 1Y$	۰.۹۵
۲۰۴۱-۲۰۷۰	$T_{52.22} - H_{0.11} + 3110.984 = 2Y$	۰.۹۴	$T_{0.25} - H_{0.088} - 116.675 = 1Y$	۰.۹۴
۲۰۷۱-۲۱۰۰	$T - H_{0.188} + 6463.38 = 2Y$	۰.۸۷	$T_{1.661} - H_{0.084} - 137.41 = 1Y$	۰.۸۹

در معادله‌های بالا ۱Y اولین سرمای زودرس پاییزه ۲Y آخرین سرمای دیررس زمستانه، H معرف ارتفاع و T معرف دما است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌نمایید با توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین به‌دست آمده، می‌توان از این معادله‌ها برای پهنه‌بندی تاریخ وقوع سرمازدگی استفاده نمود. شکل ۶ نقشه‌های پهنه‌بندی وقوع اولین سرمای

زودرس و وقوع آخرین سرمای دیررس را برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ با احتمال ۹۵ درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، وقوع دماهای بحرانی از الگوی ناهم‌واری‌های منطقه تبعیت می‌کند و وقوع اولین سرمای زودرس منطقه، بر نواحی مرتفع رشته‌کوه‌های جبال بارز، اسفندقه و ساردوییه منطبق است. اولین سرمای زودرس در مناطق کوهستانی و مرتفع از اوایل مهرماه شروع می‌شود؛ درحالی‌که در مناطق پست و کم ارتفاع منطقه از آذرماه شروع می‌شود. سرمای دیررس نیز در دهه دوم اسفند در مناطق پست و کم ارتفاع خاتمه می‌یابد و در ارتفاعات تا اوایل اردیبهشت ادامه دارد.



شکل ۶: نقشه‌های پهنه‌بندی وقوع اولین سرمای زودرس (بالا) و آخرین سرمای دیررس (پایین) با احتمال وقوع ۹۵ درصد. در دوره‌های اقلیمی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (راست)، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ (وسط) و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (چپ). منبع: (نگارزنگان، ۱۳۹۷)

نتیجه‌گیری

دستگاه اقلیم یک سیستم بسیار پیچیده است. بنابراین نتایج آماری استخراج‌شده از داده‌های مدل گردش کلی CanESM2 (جدول شماره ۴) افزایش روزهای با تنش سرمازدگی ($T \leq 5^{\circ}C$) در ایستگاه جیرفت در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ایستگاه منوجان در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره گذشته را نشان می‌دهد. در ایستگاه کهنوج فراوانی روزهای با تنش سرمازدگی کاهش می‌یابد. این در حالی است که روزهای با تنش یخ‌زدگی در ایستگاه‌های جیرفت، کهنوج و منوجان در هر سه دوره اقلیمی آینده، افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند. با افزایش تعداد روزهای با تنش یخ‌زدگی، به تبع آن میزان خسارت‌ها در دوره‌های اقلیمی آینده افزایش خواهد یافت. طبق

محاسبه‌های صورت گرفته تاریخ وقوع اولین سرمای زودرس نسبت به دوره دیدبانی زودتر اتفاق می‌افتد و تاریخ وقوع آخرین سرمای دیررس نیز به سمت انتهای فصل سرد سال جابه‌جا شده است. به‌طور متوسط تاریخ وقوع سرمای زودرس ۷، ۱۲ و ۱۲ روز به ترتیب در ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان زودتر از میانگین دوره دیدبانی اتفاق می‌افتد و سرمای دیررس به‌طور متوسط با تأخیر ۱۲، ۱۳ و ۱۸ روزه به ترتیب در ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان نسبت به میانگین دوره دیدبانی اتمام می‌یابد. بنابراین طول دوره سرما و یخبندان در منطقه کرمان جنوبی روبه افزایش است. با افزایش طول دوره سرما ریسک تنش سرمازدگی و تنش یخ‌زدگی در طول دوره رشد گیاه سیب‌زمینی در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد.

منابع

- اسماعیلی، رضا؛ عطایی، هوشمند؛ فلاح قاله‌ری غلامعباس (۱۳۹۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته‌دار بادام و زردآلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی)، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، سال بیست و یکم، شماره ۱، صص ۱۶۲-۱۴۵.
- اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد؛ کمالی، غلامعلی؛ داوری، کامران (۱۳۹۰). پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال بیست و پنجم، شماره ۵، صص ۱۱۹۶-۱۱۸۴.
- رضایی زمان، مصطفی؛ افروزی، علی (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: حوضه سیمینه‌رود)، سال چهارم، شماره ۴، صص ۶۲-۵۱.
- دلقدندی، مهدی؛ مساح یوانی، علیرضا؛ آجورلو، محمد جعفر؛ برومند نسب، سعید؛ اندرزبان، بهرام (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۷۵-۱۶۱.
- سیاری، نسرين؛ علیزاده، امین؛ بنایان اول، محمد؛ فرید حسینی، علیرضا؛ حسامی کرمانی، مسعود رضا (۱۳۹۰). بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف رود، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره دوم، شماره ۷، صص ۴۲-۲۱.
- علیزاده، امین. (۱۳۸۹). اقلیم و هواشناسی کشاورزی. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ اول. ۵۰۲.
- فلاح قاله‌ری، غلامعباس. (۱۳۹۳). ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی. مشهد. انتشارات سخن گستر. چاپ اول. ۲۶۳.
- قربانی، خلیل؛ ولیزاده، اسماعیل (۱۳۹۳). بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مشهد، تبریز و قزوین)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، سال بیست و یکم، شماره ۴، صص ۲۱۴-۱۹۷.
- کوچکی، علیرضا؛ خواجه حسینی، محمد. (۱۳۸۷). زراعت نوین. مشهد. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. ۷۰۴.
- طایی سمیرمی، جواد؛ میرباقری، وهاب؛ امیری، ایرج؛ اعظمی، ذبیح‌اله (۱۳۹۶). ارزیابی تناسب اقلیمی کشاورزی نظام کشت زمستان سیب‌زمینی در استان کرمان، نشریه تولید گیاهان زراعی، سال دهم، شماره ۱، صص ۱۱۳-۹۵.
- محمدی، حسین؛ گزل‌خو مجید (۱۳۸۹). تأثیر یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار بر کشت غلات در شهرستان کرج، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال هفتم، شماره ۲۷، صص ۱۰۹-۹۳.
- Charron, I., (2014), A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions, Ouranos, pp. 86.
- Ewing, E. E., (1981), Heat stress and the tuberization stimulus, Amer, Potato, Vol.1, No.58.
- Haverkort A.J., and MacKerron D.K.L., (1995), Potato Ecology and Modelling of crops under Conditions Limiting Growth, Springer-Science Business Media, B.V. p371.
- Holden, N. M., Brereton, A. J., Fealy, R., Sweeney, J., (2002), Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 116. No.3. pp.181-196.

- IPCC., (2001), Climate change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the intergovernmental Panell on climate change, Cambridge Univ, Press, New York, NY, USA. pp. 881.
- Naresh Kumar, S., Govindakrishnan, P. M., Swarooparani, D. N., Nitin, CH., Surabhi, J., Aggarwal, P. K., (2015), Assessment of the impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. International Journal of Plant Production, Vol. 9, No.1, pp. 151-169.
- Nadler, A. J., (2007), An agro-climatic risk assessment of crop production on the Canada Prairies, A Thesis Submitted for the Degree of MSc, Department of Soil Science, University of Manitoba, Winnipeg Manitoba, pp. 251.
- Pulatov, B., Linderson, M. L., Hall, K., Jönsson, A. M., (2015), Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe, Agricultural and Forest Meteorology, Vol.214, No.215. pp. 281–292.
- Rosenzweig, C., Liverman, D., (2006), Predicated effects of climate change on agriculture: A comparison of temperature and tropical regions in global climate change, pp. 342-61.
- Shock, C. C., Feibert, E. B. G., (2002), Deficit irrigation on a potato. In deficit irrigation practices, FAO Rome, pp. 47-56.
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., Lionello, P., (2015), Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield, Agricultural Water Management, Vol. 147. pp.103–115.
- Sands, P. J., Hackett, C., Nix, H. A., (1979), A model of the development and bulking of potato (*Solanumtuberosum*) derivation from a well-managed crop, Field Crop Res, Vol. 2, pp. 309-331.
- Sarparast, R., and Mashayekhi, K., (2014), Heat unit evaluation of potato genotypes for determining different maturity groups in Gorgan region, EJCP., Vol.7, No.3. pp. 123-143. (In Persian)
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., Lionello, P., (2014), Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region, Agricultural Water Management, pp. 144.54–68.
- Van Keulen, H., Van Diepen, C. A., (1994), Crop growth models and agroecological characterization. Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December 1990, Session 2, pp. 1-16.
- Van Laar, H. H., Goudriaan, J., Van Keulen H., (1992), simulation of crop growth for potential and water-limited production situations (as applied to spring wheat), simulation Report CABOTT 27.CABO-DLO, WAU TPE, Wageningen.

Research Article

The Impacts of Climate Change on The Risk of Cold Stress in Autumn Crop Pattern (Case Study: Tropical and Subtropical areas of Kerman province)

Fateme Bayatani¹, Gholamabas Fallah Ghalhari*², Mokhtar Karami³, Javad Taei Samiromi⁴

Received: 06-04-2019

Revised: 03-07-2019

Accepted: 17-09-2019

Abstract

Global warming leads to changes in precipitation patterns, temperature, and other climatic variables. These impacts affect the risk of thermal stresses in cropping systems. This study was carried out to evaluate the effect of climate change on the cold stress variation of potato plants in the tropical regions of Kerman province. To this end, changes in the occurrence of cold stress in the observation data of Jiroft, Kahnouj, and Manoajan stations were analyzed (from 1981 to 2005) and the future period (from 2011 to 2100). The future course data, using general circulation model CanESM2 with respect to rcp26, rcp45 and RCP 85 scenarios were quantified by SDSM software. For this, the climatic indices were used to evaluate the changes in cold stress of potatoes by the tolerance thresholds of potatoes and based on the average of long-term climate data and the probability of its occurrence during the growth period. The results showed that in the Jiroft station, the probability of occurrence of early and late temperature below 5° decreased to 83% and 63% respectively. In the Kahnouj and Manoajan stations the probability of occurrence of early and late temperature below 5° in the future period decreased and increased, respectively. Also, the date of the beginning and end of cold stress was shifted to the beginning and end of the cold season. The statistical analysis of data indicated that the days of cold stress ($5 \leq T \leq 0$) will increase from 2011 to 2040 in the Jiroft station, and from 2071 to 2100 in the Manoajan station but it showed a decreasing in the Kahnouj station. The results show that the days with freezing stress will increase in the future in the Jiroft, Kahnouj, and Manoajan stations, as a result, date of early and late cold stress will happen 10 days earlier and 14 days later compared to long term average of climate in the study area.

Keywords: climate change, general circulation model, exponential microscale, potato, Kerman.

¹- PhD Student of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevar University, Sabzevar, Iran.

²- * Associate Professor of Natural Geography, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Email: g.fallah@hsu.ac.ir

³- Assistant Professor of Natural Geography, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

⁴- Assistant Professor of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran.

References

References (in Persian)

- Alizadeh, A., (2010), Climate and meteorological agriculture. Mashhad. Imam Reza University Press. First Edition, 502p. [In Persian]
- Ashraf, B., MousaviBaygi, M., Kamali, GH, A., Davari, K., (2011), Prediction of Water Requirement of Sugar beet during 2011-2030 by Using Simulated Weather Data with LARS-WG Downscaling Model. *Journal of Water and Soil*, 25(5). pp.1184-1196. [In Persian]
- Dalghandy, M., MesahBavaki, E., Ajorluo, M. J., BorumandNasab, S., Andarziyan, B., (2015), Risk Assessment of Climate Change Effects on Wheat Growth Performance and Technology (Case Study: Ahvaz City). *Water and irrigation management*, 4(2). pp.161-175. [In Persian]
- Esmaili, R., Ataie, H., FallahGhalhary, G. A., (2011), Assessment of Climate Change Impact on the Future Development of Apricot and Almond Species. (Case Study: Khorasan Razavi Province). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 21/2(1). pp.145-162. [In Persian]
- FallahGhalhary, G. A., (2014), Statistical downscaling of climatic data. 263p. [In Persian]
- Ghorbani, Kh., Valizadeh, I., (2014), Investigation of the Effects of Ice Falls and Spares in Agriculture Under Climate Change (Case Study: Mashhad, Tabriz, Qazvin), *Water and Soil Conservation Research*, 21(4). pp. 197-214. [In Persian]
- Koocheki, A., KhajehHosseini, M., (2008), *New Farming*. Mashhad. Publications University of Mashhad, 704p. [In Persian]
- Mohammadi, H., Gozlukho, M., (2010), The effect of early and late spring frost on cereal crops in Karaj, *Geographical Quarterly of the Territory*, 7(27). pp.93-109. [In Persian]
- RezaeeZaman, M., Afruzi, A., (2015), Evaluation of the climate change impacts on the crop yields and proposing the changing cropping pattern strategy (case study: Simineh Rood basin) *Journal of Source Custody Water and Soil*, 4(4). pp.64-51. [In Persian]
- Sayary, N., Alizadeh, A., AvalBanayan, M., FaridHosseini, A. R., HesamiKermani, M. R., (2011), Study of drought trend under climate change conditions in Kashfrud basin, *climate research*, 2(7). pp.21-42. [In Persian]
- TaieSamiromi, J., Mirbaghery, V., Amiry, A., Azami, Z., (2017), Evaluation of Agricultural Climate Appropriateness of Potato Winter Cultivars in Kerman Province. *Crop Production*, 10(1). pp.95-113... [In Persian]

References (in English)

- Charron, I., (2014), *A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions*, Ouranos, pp. 86.
- Ewing, E. E., (1981), Heat stress and the tuberization stimulus, *Amer. Potato*, Vol.1, No.58.
- Haverkort A.J., and MacKerron D.K.L., (1995), *Potato Ecology and Modelling of crops under Conditions Limiting Growth*, Springer-Science Business Media, B.V. p371.
- Holden, N. M., Brereton, A. J., Fealy, R., Sweeney, J., (2002), Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 116. No.3. pp.181–196.
- IPCC., (2001), *Climate change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the intergovernmental Panell on climate change*, Cambridge Univ, Press, New York, NY, USA. pp. 881.
- Naresh Kumar, S., Govindakrishnan, P. M., Swarooparani, D. N., Nitin, CH., Surabhi, J., Aggarwal, P. K., (2015), Assessment of the impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *International Journal of Plant Production*, Vol. 9, No.1, pp. 151-169.
- Nadler, A. J., (2007), *An agro-climatic risk assessment of crop production on the Canada Prairies*, A Thesis Submitted for the Degree of MSc, Department of Soil Science, University of Manitoba, Winnipeg Manitoba, pp. 251.
- Pulatov, B., Linderson, M. L., Hall, K., Jönsson, A. M., (2015), Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.214, No.215. pp. 281–292.
- Rosenzweig, C., Liverman. D., (2006), Predicated effects of climate change on agriculture: A comparison of temperature and tropical regions in global climate change, pp. 342-61.
- Shock, C. C., Feibert. E. B. G., (2002), Deficit irrigation on a potato. In *deficit irrigation practices*, FAO Rome, pp. 47-56.
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., Lionello, P., (2015), Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield, *Agricultural Water Management*, Vol. 147. pp.103–115.

- Sands, P. J., Hackett, C., Nix, H. A., (1979), A model of the development and bulking of potato (*Solanum tuberosum*) derivation from a well-managed crop, *Field Crop Res*, Vol. 2, pp. 309-331.
- Sarparast, R., and Mashayekhi, K., (2014), Heat unit evaluation of potato genotypes for determining different maturity groups in Gorgan region, *EJCP.*, Vol.7, No.3. pp. 123-143. (In Persian)
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., Lionello, P., (2014), Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region, *Agricultural Water Management*, pp. 144.54–68.
- Van Keulen, H., Van Diepen, C. A., (1994), Crop growth models and agroecological characterization. Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December 1990, Session 2, pp. 1-16.
- Van Laar, H. H., Goudriaan, J., Van Keulen H., (1992), simulation of crop growth for potential and water-limited production situations (as applied to spring wheat), simulation Report CABOTT 27.CABO-DLO, WAU TPE, Wageningen.