

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقليمی کشاورزی ایران

مهدی نصیری محلانی - علیرضا گوچکی - غلامعلی کمالی - حسن هرعشی^۱

تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۲۹

چکیده

شاخص‌های اقليمی کشاورزی، اثر عوامل اقليمی موثر بر رشد گیاهان را با استفاده از پارامترهای هواشناسی محاسبه و تصویری از وضعیت رشد، نمو و تولید محصولات زراعی در شرایط مختلف آب و هوای ارائه می‌دهند. در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقليمی کشاورزی نیز مستخوش تغییر شده که با ارزیابی تغییر این شاخص‌های امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده می‌سر خواهد شد. هدف از این تحقیق محاسبه شاخص‌های اقليمی کشاورزی تحت شرایط آینده اقلیمی، مقایسه این شاخص‌های با شرایط فعلی و نهایتاً پیش‌بینی وسعتی تولیدات کشاورزی در اقلیم احتمالی آینده ایران می‌باشد. جهت آنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی ۱۴ متغیر شاخص در طول فصل شکسته شده و تعداد ۵۵ متغیر جدید بدست آمد که تغییرات فصلی شاخص‌های اگروکلیماتیک را نشان می‌دادند. این شاخصها در شرایط فعلی و همچنین برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ محاسبه شدند. نتایج حاصل نشان داد که تاریخ و قوع اولین یخنداز پاییزه در استگاههای مورد مطالعه برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب به میزان ۹-۵ روز و ۱۵-۸ روز به تأخیر خواهد افتاد و شدت تغییر از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی های مدل‌های گردش عمومی حاکی از وقوع زودتر آخرين یخنداز بهاره به میزان ۴-۸ روز و ۷-۷ روز به ترتیب برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بود بطوریکه شدت جابجایی از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور افزایش می‌باشد. با توجه به تأخیر در تاریخ و قوع اولین یخنداز پاییزه و جلو افتادن تاریخ آخرين یخنداز بهاره طول فصل رشد در تعامی استگاههای مورد مطالعه به میزان ۲۳-۵ روز و ۴۲-۱۶ روز به ترتیب برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روزهای یخنداز، طول فصل رشد، ایران.

مقدمه

نمو گیاهان زراعی متمرکز می‌باشد. در این مطالعات که معمولاً در محیط‌های کشتی شده و یا در مزرعه با استفاده از ابزار و تکنولوژی خاص اجرا می‌شوند غلظت گاز کربنیک و دما بطرور منفرد یا بصورت توان در سطوح مختلف و بطرور مضبوطی افزایش داده شده و پاسخ‌های رشدی گیاهان مانند فتوستز، تنفس، مقاومت روزنه ای و بسیاری صفات دیگر اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند^(۸). این گونه مطالعات که مبانی فیزیولوژیکی برهمکنش گیاهان به تغییر اقلیم را هدف خود قرار داده اند، اطلاعات بالارزشی را در مورد سازوکار پاسخ گیاهان به تغییرات آینده فراهم ساخته اند^(۱۸). علی‌رغم اهمیت این دسته از مطالعات در آشکار ساختن پاسخ‌های رشدی گیاهان به تغییر

با وجود تمامی پیشرفت‌های علمی و فن آوری در زمینه افزایش عملکرد و تولید محصولات زراعی، کشاورزی به شدت به آب و هوای اقلیم وابسته است و از این روند تنوع اقلیمی و تغییرات آن چه در کوتاه مدت (در طول فصل رشد) و چه در دراز مدت، سهم تعیین کننده ای در موفقیت تولید دارد. به همین دلیل تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر کشاورزی و تولیدات آن مورد توجه محققین قرار گرفته است.

مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی معمولاً به دو صورت کاملاً متفاوت انجام می‌گیرد. بخش نسبتاً وسیعی از این پژوهش‌ها بر تأثیر اقلیم بر جنبه‌های فیزیولوژیکی رشد و

^۱- به ترتیب نفر اول دانشیار، نفر دوم استاد و نفر چهارم استادیار گروه زراعت و اصلاح بیانات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، نفر سوم عضو هیات علمی سازمان هواشناسی کشور

آینده میسر خواهد شد. هدف از این تحقیق پیش بینی پارامترهای هواشناسی کشور در شرایط تغیر اقلیم، محاسبه شاخصهای اقلیمی کشاورزی (شاخصهای اگروکلیماتیک) تحت شرایط آینده اقلیمی، مقایسه این شاخصهای با شرایط کنونی و نهایتاً پیش بینی وضعیت تولیدات کشاورزی در اقلیم احتمالی آینده در تولید محصولات زراعی فراهم سازند. بطور کلی اساس مطالعه ارات منطقه ای تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی عبارت است از تعیین نمایه های اقلیمی کشاورزی (شاخصهای اقلیمی که بر رشد گیاهان در مقیاس منطقه ای موثرند) در شرایط کنونی، پیش بینی شرایط اقلیمی آینده بر اساس ستاربیوهای مختلف بوسیله مدلهای گردش عمومی (GCMs)، محاسبه شاخصهای اقلیمی کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم و مقایسه آنها با شرایط کنونی و نهایتاً ارزیابی شرایط اقلیمی آینده جهت رشد و تولید گیاهان می باشد (۴ و ۳).

مواد و روش ها

داده های مورد نیاز این تحقیق که شامل آمار درازمدت (حداقل ۳ ساله) در فاصله سالهای ۱۳۷۷-۱۳۴۸ و طولانی تر شامل دههای حداقل، حداثت و میانگین ماهانه، بارندگی و تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه و سالانه بود از سازمان هواشناسی کشور و مرکز ملی اقلیم شناسی تهیه شد. در این مطالعه داده های مربوط به ایستگاههای مختلف کشور (جدول ۱) مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاهها به نحوی انتخاب شده اند که پوشش کاملی از نقاط مختلف اقلیمی ایران را فراهم ساخته و معرف وضعیت عمومی کشور باشند.

جهت بررسی تأثیر تغیرات اقلیمی بر شاخصهای اقلیمی کشاورزی کشور، نتایج حاصل از جبرای مدل گردش عمومی UKMO برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی (مطابق با سالهای ۱۴۰۴ و ۱۴۲۹ خورشیدی) بکار گرفته شد (۳). مدل گردش عمومی بر اساس ستاربیوی تعریف شده توسط مجتمع بین دول تغییر اقلیم برای سالهای هدف (۱۱) به اجرا در آمد. شرح کامل روش استفاده از مدل گردش عمومی در شرایط اقلیمی ایران توسط کوچکی و همکاران (۱۲ و ۱۳) ارائه شده است. با استفاده از داده های درازمدت هواشناسی شاخصهای تاریخ و قوع اولين يخيندان پايزه، تاریخ و قوع آخرین يخيندان بهاره، متسط اولين تاریخ و قوع يخيندان پايزه، متسط تاریخ و قوع آخرین يخيندان بهار، تعداد و وزهای بدون يخيندان (طول فصل رشد)، مجموع درجه-روزهای رشد (براساس دمای بالاتر از درجه سانتی گراد) برای ایستگاههای مورد مطالعه محاسب شدند.

جهت بررسی تأثیر تغیرات اقلیمی بر شاخصهای اقلیمی کشاورزی کشور، با استفاده از نتایج حاصل از اجرای مدل گردش عمومی کلیه شاخصهای اقلیمی کشاورزی محاسبه شده در شرایط کنونی مجدداً برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ محاسب

اقلیم، احلاعاتی در مورد اثرات منطقه ای تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی بحسب نمی دهنده (۱۰). بنابراین، بخش دیگری از تحقیقات به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در مقیاس منطقه ای پرداخته اند تا از این طریق اطلاعات کاملی در مورد وضعیت تولید، سحدودیت ها و موانع اقلیمی آینده در تولید محصولات زراعی فراهم سازند. بطور کلی اساس مطالعه ارات منطقه ای تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی عبارت است از تعیین نمایه های اقلیمی کشاورزی (شاخصهای اقلیمی که بر رشد گیاهان در مقیاس منطقه ای موثرند) در شرایط کنونی، پیش بینی شرایط اقلیمی آینده بر اساس ستاربیوهای مختلف بوسیله مدلهای گردش عمومی (GCMs)، محاسبه شاخصهای اقلیمی کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم و مقایسه آنها با شرایط کنونی و نهایتاً ارزیابی شرایط اقلیمی آینده جهت رشد و تولید گیاهان می باشد (۴ و ۳).

پژوهشگران مختلف در مطالعات منطقه ای شاخصهای اگروکلیماتیک متفاوتی را جهت ارزیابی خود مورد استفاده قرار داده اند. هارس و موجو (۸) در مطالعه خود علاوه بر میانگین ماهانه دما و بارندگی، تبخیر و تعرق بالقوه فصلی و بارندگی فصلی و نیز درجه روزهای رشد را بعنوان شاخصهای اقلیمی کشاورزی در بررسی منطقه ای مورد استفاده قرار دادند. لین و همکاران (۱۴) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در فنلاند تغییر مجموعه واحدهای حرارتی و کمبود فصلی آب (نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق بالقوه) را جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه ای بکار گردند. سمنوف و پوپرتر (۱۹) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در فنلاند تغییر زمان و قوع مراحل نمو را مبنای مطالعه اثرات قرار داده و با استفاده از درجه روزهای رشد و آستانه های بالا و پایین حرارت بعنوان شاخصهای اقلیمی کشاورزی، پاسخ گیاهان را در شرایط تغییر در مقیاس منطقه ای ارزیابی کردند.

شاخصهای اقلیمی کشاورزی به گونه ای طراحی شده اند که عوامل اقلیمی موثر بر رشد گیاهان را با استفاده از پارامترهای هواشناسی محاسبه و تصویری از وضعیت رشد و نمو و نهایتاً تولید محصولات زراعی در شرایط مختلف آب و هوایی ارائه دهند (۷، ۱۳). تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخصهای اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و یا ارزیابی تغییر این شاخصهای امکان بررسی پاسخ گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی

جدول (۱) میانگین تاریخ و قوع اولین یخندهان پاییزه (استعمال ۵۰ درصد) در ایستگاههای مختلف کشور و میزان جابجایی این تاریخ برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی، محاسبه شده براساس نتایج حاصل از مدل گردش عمومی UKMO

ادامه جدول (۱)				ایستگاه	تاریخ و قوع اولین یخندهان پاییزه (استعمال ۵۰ درصد) در ایستگاههای مختلف کشور و میزان جابجایی این تاریخ برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی، محاسبه شده براساس نتایج حاصل از مدل گردش عمومی UKMO		
۹	۶	۷/۳۰	سفر		میزان تاخیر بر حسب روز (تاریخ خورشیدی)	میزان تاخیر بر حسب روز (تاریخ خورشیدی)	تاریخ و قوع اولین یخندهان پاییزه
۱۲	۸	۹/۱۳	سمنان	آبادان	۱۰	۸	۱۰/۴
۱۳	۷	۸/۱۱	سنندج	اراک	۱۳	۹	۸/۲۴
۱۵	۹	۸/۲۳	شهرود	ارومیه	۹	۶	۸/۲۰
۱۰	۷	۷/۲۹	شهرکرد	اصفهان	۱۳	۷	۸/۲۸
۱۳	۶	۹/۶	شیرواز	اهواز	۱۴	۹	۱۰/۳
۹	۵	۸/۱۸	قزوین	بابلسر	۱۰	۵	۹/۲۴
۱۳	۸	۹/۱۱	کاشان	بم	۱۱	۷	۹/۲۰
۱۱	۷	۸/۹	کرمان	بندرعباس	۹	۵	۹/۲۵
۹	۵	۸/۱۳	کرمانشاه	بوشهر	-	-	-
۹	۶	۹/۲۱	گرگان	پیر جند	-	-	-
۱۳	۸	۸/۴	مشهد	تبریز	۱۴	۸	۸/۴
شده و با مقایسه این مقادیر و اختلاف آنها با شرایط فعلی، اثرات تغییر اقلیم بر این شاخص‌ها تعیین شد. از آنجاییکه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در طی ماههای سال متغیر بوده و استفاده از میانگین‌های مالانه جهت برآورد آنها از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد(۴)، به منظور تعیین نقش تغییرات فصلی بر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی مورد استفاده در این تحقیق، شاخص‌های مربوط به بارندگی، درجه حرارت و درجه روزهای رشد در طول فصل شکسته شدند. بدین ترتیب که ماههای سپتامبر، اکتبر و نوامبر بعنوان پاییز، دوون، جولای و آگوست بعنوان ماههای تابستان، مارس، آوریل و می بعنوان ماههای بهار و دسامبر، زانویه و فوریه به عنوان ماههای فصل زمستان در نظر گرفته شده و در نتیجه مقادیر هر یک از متغیرهای فوق برای فصول مختلف تعیین گردید. به این ترتیب براساس ۱۴ شاخص اصلی، تعداد ۵۵ تغییر جدید بدست آمد که تغییرات فصلی شاخص‌های اقلیمی کشاورزی را نیز نشان می‌دهند (جدول پیوست). این شاخص‌ها برای هر یک از ۳۶ ایستگاه تحت بررسی استخراج و نتایج جهت بررسی روابط بین متغیرها در معرض آنالیز رگرسیون قرار گرفت.	تریت حیدریه	۸/۳	تهران				
	خرم آباد	۹/۵	تهران				
	خوی	۸/۱۰	رامسر				
	رشت	۹/۱۷	زابل				
	زاهدان	۸/۲۰	زنجان				
	سیزووار	۸/۲۸					

نتایج و بحث

تاریخ و قوع یختندان های پاییزه و بهاره

- وقوع نتایج یختندان پاییزه: نتایج حاصل از داده های درازمدت ایستگاههای مختلف کشور نشان می دهد که تاریخ و قوع اولین یختندان پاییزه براساس احتمال ۵۰ درصد در مناطقی که دارای یختندان می باشند نیمه اول آذرماه و بعد از آن می باشد (جدول ۱). البته در حالت های استثنایی مربوط به برخی از نقاط سردسیر کشور، ممکن است این تاریخ زودتر نیز باشد (برای مثال ۲۰ مهرماه در اردبیل).

پیش بینی مدلهای گردش عمومی نشان می دهد که براساس ستاریوهای اقلیمی تعریف شده برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، میلادی تاریخ و قوع اولین یختندان پاییزه در ایستگاههای مطالعه شده در این تحقیق به تأخیر خواهد افتاد. میزان جابجاگی در تاریخ وقوع اولین یختندان پاییزه نسبت به میانگین درازمدت آن در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که شدت تغییر از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور افزایش خواهد یافت. کوچکی و همکاران (۲) با استفاده از ستاریوهای تغییر اقلیم شبه به این پژوهش گزارش کردند که تغییرات دما در شرایط تغییر اقلیم از شمال به جنوب و از غرب به شرق ایران افزایش پیشتری خواهد داشت بنابراین الگوی مکانی تغییر تاریخ این یختندان مشابه الگوی تغییر دما می باشد.

نتایج مشابه در مورد تأخیر در بروز اولین یختندان سالانه در سایر نقاط جهان نیز گزارش شده است. برای مثال در مطالعات انجام شده در استرالیا، در مناطق کشت گندم این کشور تغییر تاریخ وقوع اولین یختندان پاییزه برای سال ۲۰۶۰ میلادی بین ۱۳ تا ۱۹ روز گزارش شده است (۹). بررسی های تغییر اقلیم در کشور کانادا نیز که با استفاده از مدلهای گردش عمومی صورت گرفته حاکی از تأخیر چشمگیر در زمان وقوع اولین یختندان پاییزه بوده است (۱۰).

وقوع آخرین یختندان بهاره: میانگین تاریخ و قوع آخرین یختندان بهاره در کشور در شرایط فعلی و براساس آمار درازمدت، در حدود دهه آخر فروردین ماه تا دهه اول اردیبهشت ماه است (جدول ۲). البته در این میان نقاط بسیار سرد کشور نظری اردبیل که تاریخ آخرین یختندان بهاره آن با احتمال ۵ درصد چهارم مردادماه می باشد نیز وجود دارد.

جدول (۲) میانگین تاریخ و قوع اولین یختندان بهاره (احتمال ۵۰ درصد) در ایستگاههای مختلف کشور و میزان جابجاگی این تاریخ برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی، محاسبه شده براساس نتایج حاصل از مدل گردش عمومی UKMO

ایستگاه	تاریخ و قوع اولین یختندان بهاره	میزان تسريع بر حسب روز (تاریخ خورشیدی)
۲۰۵۰	۲۰۲۵	
-	-	آبادان
۹	۴	۱/۱۱
۸	۵	۱/۲۱
۱۱	۷	۱۲/۲۸
۱۰	۰	۱۱/۱۵
۱۰	۶	۱۲/۱
۱۲	۷	۱۱/۲۰
۱۰	۶	۱۲/۲
-	-	بندرانزلی
-	-	بندرعباس
-	-	بوشهر
۱۱	۷	۱/۶
۹	۵	۱/۱۶
۱۱	۶	۱/۱۲
۹	۵	۱۲/۲۷
۱۲	۷	۱۲/۲۴
۷	۴	۱/۲۱
۹	۵	۱۱/۳۰
۹	۶	۱۲/۲۲
۱۱	۷	۱۲/۵
۱۱	۸	۱۲/۲۰
۱۰	۵	۲/۱
۱۲	۷	۱/۳
۹	۶	۲/۲

و ۲۰۵ میلادی اولانه شده است. لازم به ذکر است که تعداد روزها در جدول^(۳) با احتمال ۷۵ درصد برآورده شده است زیرا این احتمال مبنای تصمیم گیری در بسیاری از برنامه های مدیریت زراعی محصور می شود^(۱).

نتایج ارائه شده در جدول (۳) بوضوی شناس دهنده طولانی تر شدن نصل رشد و افزایش تعداد روزهای بدون یخ زدن در تمامی استگاههای تحت بررسی در این مطالعه است. این نتایج با توجه به تغییر در تاریخ وقوع اولین یخ زدن پاییزه و جلو افتادن تاریخ آخرین یخ زدن بهاره دور از انتظار نمی باشد.

شواهد متعدد از مطالعات تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان از جمله اروپا (۱۵) کانادا (۱۰)، چین (۱۴) و استرالیا (۹، ۱۷) همگی بر طریق تر شدن فصل رشد گیاهان زراعی در شرایط آبندگی اقلیمی تأثیر گرفته اند. با اینحال شدت تغییرات طول فصل رشد پسته به منطقه، سناپریوی تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی استفاده شده و نیز فاصله زمانی پیش بینی (برای مثال سال ۲۰۵۰ یا ۲۰۱۰ میلادی) متفاوت می باشد (۱۶).

بر همین اساس پیش بینی های حاصل از این مطالعه در مورد تغییر طول فصل رشد در ایران نیز در ایستگاههای مختلف متفاوت بوده و بعلاوه بر اسال های ۲۰۵۲ و ۲۰۵۰ اختلاف دارد (جدول ۱۷).

در ایستگاههای واقع در بخش های جنوبی کشور که در شرایط
عملی نیز تمام سال فصل رشد پرده و فاقد دوره یختندان می باشد
(برای مثال بوشهر یا پندر عباس) بدینه است که تغیری پیش یعنی
شده است. در سایر نقاط کشور پسنه به شدت افزایش درجه
حرارت افزایش طول فصل رشد گاه سیار چشمگیر می باشد.

همان گونه که در جدول (۳) دیده می شود در شرایط فعلی نصل رشد تقریباً در تمام ایستگاههای تحت بررسی که بطور نسبی شان دهنده وضعیت حاکم در کشور می باشند چهت رشد سیاری زیگاهان زراعی مطلوب و کافی می باشد. بايد توجه داشت که تابع مذکور در جدول (۳) طول بالقوه فصل رشد (تعداد روزهای بدون پیخنдан در سال) می باشد و بطور کلی وجود ۱۸۰ روز بدون پیخنдан چهت کشت مطلوب تقریباً تمامی گیاهان زراعی کافی می باشد. با اینحال وجود زمانهای سرد ممکن است چهت برخی گیاهان زراعی با عادت رشد زمانهای مشکل ساز آشد. در ایران به جز بزرخ نقاط سیار سردسیر نظر ادیسا که

ادامه جدول(۲)			
			سمنان
۱۱	۷	۱۲/۲۳	ستنج
۸	۵	۱/۲۳	شهرورد
۱۰	۶	۱/۱۱	شهرکرد
۹	۶	۲/۱	شیراز
۱۰	۷	۱۲/۱۹	قزوین
۸	۵	۱/۱۷	کاشان
۱۱	۸	۱۲/۱۴	کرمان
۱۲	۷	۱/۷	کرمانشاه
۱۰	۵	۱/۲۱	گرگان
۱۱	۶	۱۲/۱۳	مشهد
۱۰	۵	۱/۱۴	همدان
۹	۵	۱/۳۰	یزد
۱۲	۷	۱۲/۱۵	

نایاب حاصل از پیش بینی مدل گردش عمومی حاکی از وقوع زودتر آخرين یخچندان بهاره در تمامی استگاههای تحت بررسی می باشد. اینها مشابه آتجه که در مورد اولین یخچندان پاییزه ذکر شد شدت جتابگایی از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور افزایش می یابد (جدول ۲).

مطالعات انجام شده در برخی نقاط جهان از جمله کانادا (۱۰) استرالیا (۸) و اسکاتلند (۵) نیز حاکی از قوع زودتر اخیرین یحتجدان بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم است. بعلاوه شواهد حاصل از تابعیت مدل‌های گردش عمومی در مقیاس جهانی داده است که شدت جلو افتادن این پدیده در عرض های جغرافیایی بالا بیشتر از عرض های جغرافیایی می باشد (۶).

طبق فصل رشد
در جدول (۳) تعداد روزهای دارای یخبندان و تعداد روزهای
فاقد یخبندان (روزهای مناسب جهت رشد محصولات زراعی)
برای ایستگاههای تحت بررسی برآساس میانگین درازمدت فعلی
و زیر برآساس پیش بینی مدل گردش عمومی جهت سالهای
۲۰۲۵

جدول (۳) تعداد روزهای یخنیان و طول فصل رشد (تعداد روزهای بدون یخنیان) در استگاههای مختلف کشور در شرایط حاضر (احتمال ۷۵ درصد) و مقادیر پیش‌بینی شده این شاخص‌های اگروکلیماتیک برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی
براساس نتایج حاصل از مدل گردش عمومی UKMO

استگاه	تعداد روزهای دارای دمای صفر یا پایین‌تر (تعداد روزهای بدون یخنیان)			کمتر		
	آستانه	فعالی	آستانه	فعالی	آستانه	فعالی
آذربایجان	۲۰۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰	۲۰۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰
آذربایجان	۳۴۷	۳۳۶	۳۳۱	۱۸	۳۹	۳۴
اراک	۲۵۴	۲۴۰	۲۱۹	۱۱۱	۱۳۵	۱۳۶
ارومیه	۲۴۶	۲۳۴	۲۱۷	۱۱۹	۱۳۱	۱۴۸
اصفهان	۲۹۵	۲۸۳	۲۶۶	۷۰	۸۲	۹۹
اهواز	۳۴۲	۳۳۱	۳۲۶	۲۳	۳۴	۳۹
بابلسر	۳۲۴	۳۱۴	۳۰۱	۴۰	۵۱	۶۴
بم	۳۴۳	۳۲۷	۳۱۴	۲۲	۳۸	۵۱
بندرانزلی	۳۲۵	۳۱۰	۳۰۴	۴۰	۵۰	۶۲
بندرعباس	۳۶۵	۳۶۰	۳۶۰	—	—	—
بوشهر	۳۶۵	۳۶۵	۳۶۵	—	—	—
بیرون‌جند	۲۴۸	۲۳۴	۲۱۰	۱۱۷	۱۳۱	۱۵۰
تبریز	۲۵۳	۲۳۵	۲۲۱	۱۱۲	۱۳۰	۱۴۴
زیست‌حیدریه	۲۴۴	۲۳۰	۲۰۷	۱۲۱	۱۳۰	۱۵۸
تهران	۲۸۵	۲۷۰	۲۵۸	۸۰	۹۰	۱۰۷
خرم‌آباد	۲۸۹	۲۷۴	۲۵۸	۷۶	۹۱	۱۰۷
خوی	۲۴۰	۲۳۲	۲۱۰	۱۱۷	۱۳۳	۱۵۰
رامسر	۳۲۴	۳۱۳	۲۹۹	۴۱	۵۲	۶۶
رشت	۲۹۲	۲۸۲	۲۷۰	۷۳	۸۳	۹۰
زابل	۳۱۴	۳۰۰	۲۸۱	۵۱	۶۵	۸۴
زاهدان	۲۷۴	۲۵۷	۲۴۰	۹۱	۱۰۸	۱۲۵
زنجان	۲۱۷	۲۰۰	۱۸۴	۱۴۸	۱۷۰	۱۸۱
سیزوار	۲۶۸	۲۰۰	۲۳۹	۹۷	۱۱۰	۱۲۶
ستار	۲۲۰	۲۰۴	۱۸۴	۱۴۰	۱۶۱	۱۸۱

ادامه جدول(۳)

۲۹۵	۲۷۹	۲۶۴	۷۰	۸۶	۱۰۱	سمنان
۲۴۰	۲۲۵	۲۰۴	۱۲۵	۱۴۰	۱۶۱	سنندج
۲۰۸	۲۴۴	۲۲۷	۱۰۷	۱۲۱	۱۳۸	شهرورد
۲۲۰	۲۰۳	۱۸۳	۱۴۰	۱۶۲	۱۸۲	شهرکرد
۲۹۳	۲۷۷	۲۶۵	۷۲	۸۸	۱۰۱	شیرواز
۲۴۵	۲۲۹	۲۱۵	۱۲۰	۱۳۶	۱۵۰	قره‌بین
۲۹۸	۲۸۴	۲۷۰	۶۷	۸۱	۹۵	کاشان
۲۰۶	۲۴۰	۲۱۷	۱۰۹	۱۲۵	۱۴۸	کرمان
۲۴۳	۲۲۴	۲۰۸	۱۲۲	۱۴۱	۱۵۷	کرمانشاه
۳۱۱	۲۹۹	۲۸۶	۵۴	۶۶	۷۹	گرگان
۲۳۸	۲۲۱	۲۰۵	۱۲۷	۱۴۴	۱۶۰	مشهد
۲۱۴	۱۹۵	۱۸۱	۱۰۱	۱۷۰	۱۸۴	همدان
۲۸۸	۲۷۵	۲۵۹	۷۷	۹۰	۱۰۶	پرند

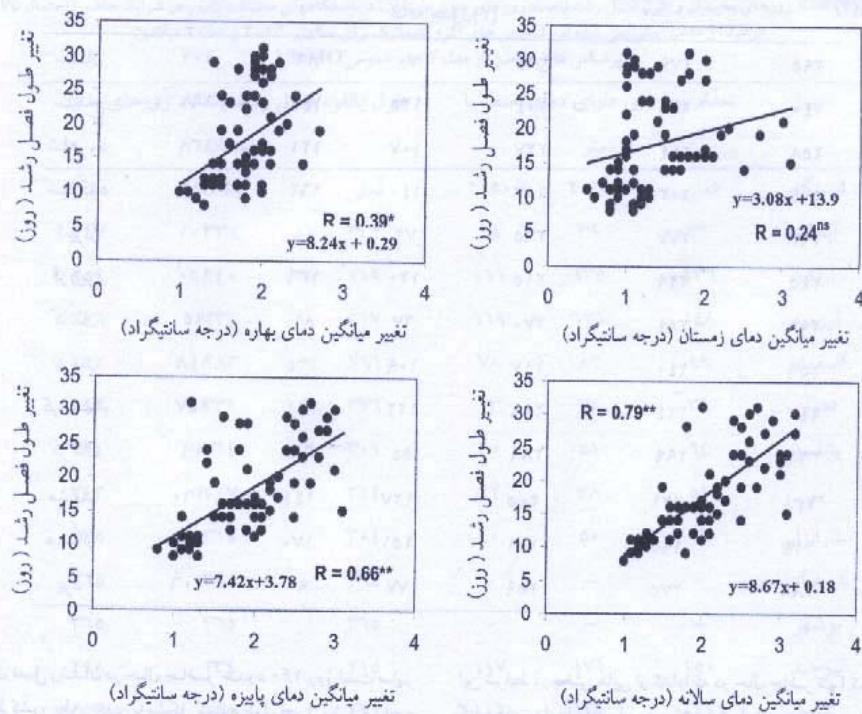
این شرایط در بخش‌هایی از کانادا که در حال حاضر تنها کشت گندم‌های بهاره امکان پذیر می‌باشد، شرایط جهت کشت کشت واریته‌های پاییزه این محصول زیر فراهم خواهد شد و از این طریق انتظار می‌رود به دلیل بالاتر بودن عملکرد گندم پاییزه نسبت به گندم بهاره، تولید گندم در این مناطق افزایش یابد. نتایج مشاهده نیز در مورد تغییر طول فصل دش در اسکاتلند گزارش شده است (۵). به منظور بررسی دقیق تر، رابطه بین افزایش طول فصل رشد و افزایش درجه حرارت ایستگاه‌های مختلف از طریق آنالیز رگرسیون مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجا که طول فصل رشد در واقع تفاوت بین آخرین یخنخان بهاره و اولين یخنخان پاییزه در نظر گرفته شده است، آنالیز رگرسیون بر متغیرهای زیر مورد بررسی قرار گرفت:

میزان افزایش طول فصل رشد (بعنوان متغیر وابسته) و مانگین افزایش دمای فصل بهار، فصل پائیز، فصل زمستان و سالانه (بعنوان متغیر مستقل).

نتایج آنالیز رگرسیون نشان داد که بین طول فصل رشد و کلیه

طول فصل دش آن در حال حاضر حدود ۱۶۰ روز است سایر نقاط کشور بطور جدی یا مشکل کمود طول فصل رشد موواجه نمی‌باشند. البته نتایج این تحقیق نشان می‌ردد که در شرایط تغییر اقلیم طول فصل بطور قابل توجهی افزایش خواهد یافت و بنابراین به نظر می‌رسد که تحت این شرایط حتی در نقاط بسیار سرد کشور نیز طول فصل رشد جهت کشت برخی محصولات زراعی که در حال حاضر امکان رشد آنها وجود ندارد، فراهم گردد.

تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش طول فصل رشد در عرضهای جغرافیایی بالا نظیر کانادا یا شمال انگلستان (اسکاتلند) که کوتاه بودن طول فصل رشد محدودیت مهمی جهت کشت برخی گیاهان زراعی محسوب می‌شود، به مرتب بارزتر است. برای مثال مطالعات انجام شده در کانادا (۱۸) نشان داده است که تحت شرایط تغییرات اقلیمی آینده (سالهای ۲۰۴۰ میلادی) به علت افزایش دما بیویژه در ماههای زمستان، طول فصل رشد و نیز سرمای شدید زمستان بطور قابل ملاحظه تبدیل خواهد شد. بطوریکه تحت



شکل (۱) رابطه رگرسیون بین افزایش طول فصل رشد و افزایش میانگین درجه حرارت فصلی سال در شرایط مختلف تغییر اقلیم برای استگاههای مطالعه شده در این تحقیق

نتایج نشان داد که با وجودیکه افزایش میانگین درجه حرارت سالانه بهترین متغیر جهت پیش بینی طول فصل رشد کشور در شرایط تغییر اقلیم می باشد ولی با توجه به شبیه معادلات رگرسیون، تاثیر افزایش میانگین درجه حرارت فصل پاییزه عامل اصلی افزایش طول فصل رشد کشور در شرایط تغییر اقلیم می باشد.

به عبارت دیگر میزان افزایش طول فصل رشد به ازاء هر درجه سانتی گراد افزایش میانگین درجه حرارت فصل پاییز، بیشتر از هر درجه سانتی گراد افزایش میانگین درجه حرارت فصل بهار می باشد. تاثیر افزایش میانگین درجه حرارت فصل زمستان بر افزایش طول فصل رشد چندان زیاد نبوده و در برخی استگاهها از

متغیرهای مستقل بالا رابطه خطی و معنی داری در اغلب استگاههای تحت بررسی وجود دارد. با این حال ضرایب همبستگی بسته به استگاه و نوع متغیر مستقل تفاوت هایی را نشان داد. بطور کلی بالاترین ضریب همبستگی در تمامی استگاههای مورد مطالعه در رابطه بین طول فصل رشد و میانگین درجه حرارت سالانه بدست آمد. شکل (۱) رابطه خطی بین افزایش طول فصل رشد و میانگین درجه حرارت سالانه را برای استگاههای مختلف کشور نشان می دهد. شبیه خط رگرسیون در این معادلات نشان دهنده میزان افزایش طول فصل رشد (روز) به ازاء هر درجه سانتی گراد افزایش میانگین درجه حرارت فصل بهار، پاییز، زمستان و یا میانگین سالانه می باشد.

نظر آماری معنی دار نشده است. این امر ظاهرا به این علت است که میزان افزایش درجه حرارت ماههای زمستان در شرایط تغییر اقلیم به اندازه‌ای نخواهد بود که میانگین دمای این فصل را به الاتر از دمای پیشین‌دان افزایش دهد و بنابراین فصل زمستان حتی در شرایط تغییر اقلیم نیز جزء فصل رشد محضوب نخواهد شد. البته مطالعات انجام شده در عرض‌های جغرافیایی بالا نشان داده است در مورد ایران نیز مؤید همین امر است.

جدول پیوست - شاخص‌های اقتصادی کشاورزی ایستگاه مختلف کشور جهت بررسی تغییرات فصلی

شماره متغیر	توصیف متغیر	۲۴	میانگین درجه حرارت حداقل ماهیانه (زمستان)
۱	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (بهار)	۲۵	کمترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (بهار)
۲	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (تابستان)	۲۶	کمترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (تابستان)
۳	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (پاییز)	۲۷	کمترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (پاییز)
۴	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (زمستان)	۲۸	کمترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (زمستان)
۵	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (بهار)	۲۹	بیشترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (بهار)
۶	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (تابستان)	۳۰	بیشترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (تابستان)
۷	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (پاییز)	۳۱	بیشترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (پاییز)
۸	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (زمستان)	۳۲	بیشترین درجه حرارت متوسط ماهیانه (زمستان)
۹	متوسط درجه حرارت حداقل (بهار)	۳۳	میانگین متوسط درجه حرارت (بهار)
۱۰	متوسط درجه حرارت حداقل (تابستان)	۳۴	میانگین متوسط درجه حرارت (تابستان)
۱۱	متوسط درجه حرارت حداقل (پاییز)	۳۵	میانگین متوسط درجه حرارت (پاییز)
۱۲	متوسط درجه حرارت حداقل (زمستان)	۳۶	میانگین متوسط درجه حرارت (زمستان)
۱۳	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (بهار)	۳۷	کمترین میانگین بارش ماهیانه (بهار)
۱۴	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (تابستان)	۳۸	کمترین میانگین بارش ماهیانه (تابستان)
۱۵	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (پاییز)	۳۹	کمترین میانگین بارش ماهیانه (پاییز)
۱۶	کمترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (زمستان)	۴۰	کمترین میانگین بارش ماهیانه (زمستان)
۱۷	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (بهار)	۴۱	بیشترین میانگین بارش ماهیانه (بهار)
۱۸	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (تابستان)	۴۲	بیشترین میانگین بارش ماهیانه (تابستان)
۱۹	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (پاییز)	۴۳	بیشترین میانگین بارش ماهیانه (پاییز)
۲۰	بیشترین درجه حرارت حداقل ماهیانه (زمستان)	۴۴	بیشترین میانگین بارش ماهیانه (زمستان)
۲۱	میانگین درجه حرارت حداقل (بهار)	۴۵	میانگین متوسط بارش (بهار)
۲۲	میانگین درجه حرارت حداقل (تابستان)	۴۶	میانگین متوسط بارش (تابستان)
۲۳	میانگین درجه حرارت حداقل (پاییز)	۴۷	میانگین متوسط بارش (پاییز)

ادامه جدول پیوست

میانگین متوسط بارش (زمستان)	۴۸
مجموع درجه روزهای رشد (بهار)	۴۹
مجموع درجه روزهای رشد (تابستان)	۵۰
مجموع درجه روزهای رشد (پاییز)	۵۱
مجموع درجه روزهای رشد (زمستان)	۵۲
مجموع روزهای بدون یخبندان (سالیانه)	۵۳
زمان وقوع یخبندان در پاییز	۵۴
زمان وقوع یخبندان در بهار	۵۵

منابع

- کوچکی ع. و نصیری م. ۱۳۷۰. اکولوژی گیاهان زراعی: روابط گیاهان و محیط. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- کوچکی ع.، نصیری م.، اسلطانی ا.، شریفی ح.، کمالی غ. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۲. شبیه سازی تغییرات آب و هوای ایران به وسیله مدلهای گردش عمومی در شرایط دو برابر شدن غلظت گاز کربنیک. مجله بیابان، شماره ۸(۲).
- Anderson, J.R., 1991. A framework for examining the impacts of climate variability. In: Muchow, R.C., Bellamy, J.A. (Eds.), *Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semi-Arid Tropics and Sub-Tropics*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 3-17.
- Antle, J. M. 1996. Meteorological issues in assessing potential impacts of climate change on agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80:67-85.
- Climate Change Impacts UK. 1996. Review of the potential effects of climate change in the UK. HMSO.
- Dinar, Ariel, Robert Mendelsohn, Robert E. Evenson, Jyoti Parikh, Apurva Sanghi, K. Kumar, James McKinsey, and Stephen Lonergan, eds. 1998. *Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture*. World Bank Technical Paper 402. Washington, D.C.
- Frohlich, C. and Lean, J. 1998 The Sun's total irradiance: cycles, trends and related climate change uncertainties. *Geophysical Research Letter*, 25: 4377– 4380.
- Hammer, G.L., Muchow, R.C., 1991. Quantifying climatic risk to sorghum in Australia's semiarid tropics and subtropics: model development and simulation. In: Muchow, R.C., Bellamy, J.A. (Eds.), *Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semi-arid Tropics and Subtropics*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 205-232.
- Hammer, G.L., Nicholls, N., 1996. Managing for climate variability: the role of seasonal climate forecasting in improving agricultural systems. In: Proc. Second Australian Conference on Agricultural Meteorology. Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, Melbourne,

Australia, pp. 19-27.

10. Hill, H.S.J., Butler, D.B., Fuller, S.W., Hammer, G.L., Holzworth, D.P., Love, H.A., Meinke, H., Mjelde, J.W., Park, J., Rosenthal, W., 2001. Effects of seasonal climate variability and the use of climate forecasts on wheat supply in the US, Australia and Canada. American Society of Agronomy, Special Publication Impact of El Nino and Climatic Variability on Agriculture, pp. 101-123.
11. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. IPCC Third Assessment Report, Geneva.
12. Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research, 30: 247-253.
13. Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G.A., and H. Shahandeh. 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. Arid Land Research and Management, 20: 245-259.
14. Lin, E. D., H. X. Zhang and J. H. Wang 1997. Simulation of global climate change impact on China's agriculture. 54-87. China Agricultural Press, Beijing.
15. Menzel, A. and P. Fabian 1999. Growing season extended in Europe. Nature, 397: 659.
16. Myeni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G. & Nemani, R. R. 1997 Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature 386, 698 – 702.
17. Reyenga, P.J., Howden, S.M., Meinke, H. and Hall, W.B. 1999. Global change impacts on wheat production along two environmental gradients in Australia. Report to the Australian Greenhouse Office. CSIRO Wildlife and Ecology, Working Paper 99/12, Canberra.
18. Rosenzweig, Cynthia, and M. L. Parry. 1994. Potential impact of climate change on world food supply. Nature, 367:133-38.
19. Semenov, M.A.. Porter, J.R., 1995. Climatic variability and the modelling of crop yields. Agricultural and Forest Meteorology, 73: 265-283.

Effects of Climate Change on Agroclimatic Indices of Iran

M. Nassiri Mahallati - A. Koocheki - Gh. Kamali - H. Marashi¹

Abstract

Agroclimatic indices are based on climatic factors effective on crop growth and development. Under climate change, these indices are also changed, therefore the pattern of these changes could be associated with crop growth and yield. The purpose of the present investigation was to calculate agroclimatic indices under climate change and compare the changes with the indices of the present climatic conditions and hence prediction changes on crop productivity that may occur. For this purpose 14 key variables were disaggregated to 55 new variables which were indicators of agroclimatic seasonal changes. These indices were calculated for the present and the year 2025 and 2050. Results showed that the first occurrence of autumn freezing day will be delayed by 5-9 to 8-15 days for 2025 and 2050, respectively and the magnitude of these changes will be higher from the North to South and from West to East of the country. However, occurrence of last spring freezing day will be earlier by 4-8 and 7-12 days for these target years. However, again the spatial trend will increase from the West to the East and from the North to the South. Based on these two events, length of growth period will increase by 5-23 to 16-42 days for years 2025 and 2050, respectively.

Key words: Climate change, Freezing days, Growing season, Iran

- Hammer, G.L., McHugh, R.C.: 1995, Quantifying climate risk in Australia: a regional approach and techniques model development and validation. In: McHugh, R.C., Hammer, G.L. (eds.) *Crop Production Models and Management for the Semi-Arid Tropics and Subtropics* (pp. 31-66). Wageningen, The Netherlands.
- Hammer, G.L., Pachepsky, M.: 1996, Managing soil-climate variability: concepts of seasonal climate data series for improving agricultural systems. In: Proc. Second International Conference on

¹- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Iran Meteorological Organization