نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره۳ ، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، ص ۵۲۰-۵۰۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 3, July – Aug. 2010, p. 508-520

تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران

علیرضا کوچکی*[۱] - غلامعلی کمالی[۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تولید گندم دیم کشور انجام گرفت. به این منظور داده های آب و هوایی تولید شده بوسیله مدل گردش عمومی براساس سناریوهای اقلیمی مجمع بین دول تغییر اقلیم برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی (مطابق با ۱۴۰۵ و ۱۴۳۰ شمسی) شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر و میزان بارش یعنوان ورودی های یک مدل شبیه سازی رشد و عملکرد برای گندم دیم که قبلاً برای پیش بینی عملکرد و رشد گندم در شرایط فعلی واسنجی و تعیین اعتبار شده بود مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب این امکان فراهم شد که با اجرای مدل مذکور در شرایط تغییر اقلیم رشد و عملکرد گندم دیم در مناطق مختلف کشور پیش بینی شده و نتایج با وضعیت فعلی مقایسه گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص سطح برگ و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گندم در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی کاهش خواهد یافت. کاهش جذب تشعشع باعث کاهش سرعت رشد محصول شده و در نتیجه تولید ماده خشک بطور چشمگیری کاهش خواهد یافت. ارزیابی شاخص تنش خشکی در شرایط اقلیمی آینده نشان داد که کاهش سرعت رشد عمدتا به دلیل کمبود آب ناشی از افزایش تبخیر و تعرق می‌باشد. کاهش طول فصل رشد همراه با کاهش قابل توجه شاخص برداشت عملکرد دانه گندم دیم را علیرغم اثرات مثبت افزایش غلظت دی اکسید کربن، به میزان قابل توجهی کاهش خواهد داد. شدت کاهش با عمیق تر شدن شرایط تغییر اقلیم از سال ۲۰۲۵ به سال ۲۰۵۰ بیشتر خواهد بود. نتایج شبیه سازی نشان داد که شدت کاهش عملکرد در مناطق شرقی کشور نسبت به مناطق غرب کشور بیشتر است. میزان پیش بینی شده کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور برای سال ۲۰۲۵ در محدوده ۱۶ تا ۲۴ درصد و برای سال ۲۰۵۰ میلادی در دامنه ۲۲ تا ۳۲ درصد می‌باشد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، گندم دیم، مدلهای گردش عمومی، شبیه سازی، عملکرد، طول دوره رشد، ایران

مقدمه

علیرغم عدم قطعیتهای موجود در پیش بینی های مربوط به تغییرات اقلیمی آینده، وقوع این پدیده مورد پذیرش عمومی محققین بوده و پی آمدهای ناشی از آن بر تولیدات زراعی محرز می باشد. دست یابی به اطلاعات دقیق تر در مورد این پدیده، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه ای و پیش بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات می باشد.

اقلیم های خشک و نیمه خشک که کشور ما نیز در گروه آنها قرار دارد، به دلیل ساختار اکولوژیکی خاص خود بیش از سایر اقلیم‌ها نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده و آسیب پذیری بیشتری دارند. بنابراین به نظر می رسد که وقوع تغییرات احتمالی اقلیمی در این مناطق اثرات قابل ملاحظه ای بر سیستم های تولید کشاورزی به همراه داشته باشد (۱۵). با این حال علیرغم اینکه اغلب مناطق خشک و نیمه خشک جهان در کشورهای در حال توسعه واقع شده اند، تحقیقات و پژوهشهای علمی مربوط به اثرات تغییر اقلیم در این مناطق بسیار محدود می باشد. نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سالهای اخیر در ایران انجام شده است همگی موید بروز این پدیده در کشور بوده اند. البته این تحقیقات عمدتاً بر شاخصهای اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر تولیدات کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

از آنجا که تولید محصولات دیم، اساساً بر ویژگی‌های اقلیمی و آب و هوائی متکی می باشد بروز تغییرات اقلیمی این سیستم‌ها را به مراتب بیش تر از سیستم‌های تولید آبی متاثر خواهد ساخت (۱۶). در کشور ایران بخش عمده ای از اراضی کشور به تولیدات دیم اختصاص

۱- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو گروه پژوهشی زیست محیطی خاوران
۲- دانشیار گروه هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران و عضو گروه پژوهشی زیست محیطی خاوران
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@ferdowsi.um.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

دارد و در نتیجه بخش قابل ملاحظه ای از تولیدات غذایی نیز از این سیستم‌ها تأمین می شود. در این میان نقش و جایگاه غلات دیم و بویژه گندم در مقایسه با سایر محصولات بارزتر می باشد (۱). با این وجود مطالعات اندکی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر تولید سیستم‌های دیم غلات در ایران صورت گرفته است. بدیهی است بهره برداری موفقیت آمیز از این سیستم‌ها مستلزم آگاهی دقیق از وضعیت درازمدت تولید آنها در مواجهه با تغییرات اقلیمی می باشد.

در مقیاس جهانی تولید سرانهٔ غذا تحت تأثیر دو عامل اصلی قرار دارد که عبارتند از کاهش دسترسی به زمین و آب و افزایش سالانهٔ جمعیت که حدود ۹۰ میلیون نفر برآورد شده است (۳۴). کاهش سطح اراضی قابل کشت ناشی از توسعهٔ شهرها، فرسایش، کاهش حاصلخیزی، شور شدن، اسیدی شدن و فشردگی خاک در اثر تکرار عملیات زراعی است (۳۵). بعلاوه پیش بینی می شود که گرمایش جهانی کره زمین نیز باعث تغییراتی در درجه حرارت و الگوهای بارش خواهد شد. توجه به این امر که تا سال ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از منابع آب و خاک کمتر یا حداقل مشابه امروز، تولید غلات نسبت به سال ۲۰۰۰ باید ۲۹٪ افزایش یابد (۳۳)، اهمیت دو منبع مهم تولید یعنی آب و زمین را بارزتر خواهد ساخت. برای مثال در مورد برنج تنش آب بعنوان مهمترین تنش غیر زندهٔ مؤثر بر تولید شناخته شده است و حتی در صورت انجام آبیاری تلفات سالانه ناشی از کمبود آب تنها در آسیا ۱۳۴ کیلوگرم در هکتار (معادل ۹/۹ میلیون تن دانه در سال) برآورد شده است (۳۶) و به نظر می رسد که در آینده با کمبود جدی آب در آسیا این تلفات بطور چشمگیری افزایش خواهد یافت. آگاروال (۹) نشان داد که در مورد گندم نیز کمبود آب در مرحله اول و نیتروژن در مرحله دوم، اصلی ترین عوامل تلفات عملکرد در کشور هندوستان محسوب می شوند. با وجودیکه چنین مطالعاتی در کشور ما انجام نشده است ولی با اطمینان می توان کمبود آب را عامل اصلی تلفات تولیدات کشاورزی ایران در نظر گرفت.

کوچکی و همکاران (۳ و ۲۹) با ارزیابی شاخص های اقلیمی-کشاورزی ایران نشان دادند که در طی ۲۰ سال آینده میانگین درجه حرارت ماهانه تقریبا در تمامی مناطق کشور افزایش خواهد یافت و افزایش تبخیر و تعرق یکی از مهمترین پی آمدهای این گرمایش است. به طور کلی در عرضهای جغرافیایی میانه به ازاء هر درجه سانتیگراد افزایش میانگین درجه حرارت سالانه، تبخیر به میزان ۵ درصد افزایش می یابد (۴۰). بنابراین چنانچه در منطقه ای درجه حرارت ۲ درجه سانتی گراد بالاتر برود، تبخیر بالقوه (با فرض عدم تغییر در میزان بارندگی) ۱۰-۹ درصد افزایش می یابد. این اثر در مراحل ابتدایی دورهٔ رشد گیاهان زراعی (ابتدای فصل رشد) چندان بارز نیست ولی در ادامه و در ماههای تابستان کمبود رطوبت خاک مشکلات جدی برای رشد گیاهان بویژه محصولات دیم فراهم خواهد ساخت (۳۷). چنانچه پیش بینی های مربوط به کاهش میزان بارش در کشور (۳ و ۸) نیز به پی آمدهای ناشی از افزایش دما اضافه شود، اثرات منفی تغییر اقلیم بر محصولات دیم بارز تر خواهد شد.

تأثیر تغییرات آینده اقلیمی بر رشد، فنولوژی و عملکرد برخی از محصولات کشور از جمله گندم آبی (۲)، نخود و آفتابگردان (۲۸) مورد بررسی قرار گرفته است در حالیکه اطلاعات موجود در مورد اثر تغییر اقلیم بر محصولات دیم کشور بسیار محدود می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت و جایگاه گندم در نظام های زراعی ایران هدف از این تحقیق ارزیابی رشد و تولید گندم دیم در شرایط اقلیمی آینده و در مقیاس ملی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سناریو های تغییر اقلیم: در این مطالعه سناریوهای اقلیمی حاصل از پیش بینی مدل گردش عمومی (GCM)[1] مورد ارزیابی قرار گرفت و به این منظور از مدل گردش عمومی GISS[2] (۴۳) جهت پیش بینی تغییرات آینده اقلیمی استفاده شد. این مدل براساس سناریوهای IPCC (۲۳) برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی، به ترتیب مطابق با سالهای ۱۴۰۵ و ۱۴۳۰ شمسی واسنجی شد. لازم به ذکر است که غلظت CO_2 آتمسفر برای سالهای هدف به ترتیب معادل ۴۲۵ و ۵۰۰ ppm می‌باشد. جهت پیش بینی شرایط آینده، مدلها در دورهٔ مختلف اقلیمی (دورهٔ مبنا: ۲۰۰۵-۱۹۶۵) و سناریوهای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی اجرا شدند. اختلاف بین آیندهٔ شبیه سازی شده و شرایط فعلی شبیه سازی شده محاسبه و به مقادیر داده های مبنا اضافه شدند تا سناریوی آینده اقلیمی تولید گردد.

در هنگام استفاده از مدلهای گردش عمومی و قبل از شبیه سازی وضعیت آینده لازم است که مدل بصورت شاهد اجرا شود. شاهد در واقع معرف وضعیت فعلی (قبل از شروع تغییرات اقلیمی) است. این دوره شاهد که اصطلاحا دوره مبنا نیز نامیده می‌شود توسط مجمع بین دول تغییر اقلیم دوره ۳۰ ساله ۱۹۹۵-۱۹۶۵ در نظر گرفته شده است (۲۴). بر این اساس ابتدا مدل گردش عمومی برای دوره ۳۰ ساله مذکور اجرا شده و روند تغییرات درجه حرارت و بارندگی توسط مدل پیش بینی می‌شود. سپس مدل گردش عمومی مجددا بر اساس سناریوی تغییر اقلیم تعریف شده اجرا و نتایج پیش بینی آینده محاسبه می‌شود. نهایتا تفاوت بین آینده شبیه سازی شده و شرایط فعلی پیش‌بینی شده (اجرای شاهد) به مقادیر دوره مبنا اضافه می‌شود تا پیش‌بینی آینده اقلیمی محاسبه شود. بر این اساس مدلهای گردش عمومی میانگین ماهانه درجه حرارت و بارندگی را بر حسب میزان تغییر نسبت به شرایط فعلی و تشعشع خورشیدی را بر حسب درصد

1 - General Circulation Model
2 - Goddard Institute of Space Science

Archive of SID

www.SID.ir

تغییر نسبت به شرایط فعلی تعیین می‌کنند.

در مقیاس وسیع مدلهای گردش عمومی قادرند تا به سهولت میانگین مهمترین خصوصیات اقلیمی را در شرایط آینده شبیه سازی کنند. البته یکی از معایب این مدلها پایین بودن قدرت تفکیک مکانی آنهاست. در بهترین حالت قدرت تفکیک مکانی این مدلها ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی است، بنابراین استفاده از نتایج آنها بطور مستقیم در مقیاس منطقه ای و محلی چندان رضایت بخش نمی‌باشد. و در نتیجه لازم است تا خلاء بین مقیاس بزرگ که محدوده عمل مدلهاست و مقیاس منطقه ای که جهت ارزیابی مورد نیاز است بنحوی پر شود.

محققین روشهای مختلفی را برای این منظور ارائه کرده اند که رایج ترین آنها تغییر مقیاس آماری[1] است که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. جزئیات بیشتر مربوط به نحوه استفاده از مدلهای گردش عمومی در ایران و نیز تغییر مقیاس آماری نتایج حاصل از پیش بینی آنها توسط کوچکی و همکاران (۳، ۲۸ و ۲۹) ارائه شده و داده های اقلیمی مورد استفاده در این مطالعه از نتایج این محققین برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ استخراج شده است.

داده های عملکرد: داده های مربوط به عملکرد گندم دیم کشور از مناطق مختلف کشت گندم دیم جمع آوری گردید. به این منظور ابتدا بر اساس آمار گردآوری شده از بانک اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی و سایر منابع آماری کشاورزی تولیدات گندم کشور (اعم از دیم و آبی) بر حسب درصد در استان های مختلف تعیین گردید. سپس با توجه به آمار جمع آوری شده درصد تولید دیم برای هر استان محاسبه گردید تا مشخص شود مناطق اصلی تولید گندم دیم کشور چگونه پراکنده شده اند. برای مثال استان فارس ۱۶ درصد از کل گندم کشور را تولید می کند در حالیکه تنها ۵ درصد از کل تولیدات گندم این استان بصورت دیم می باشد در حالیکه سهم استان کردستان در تولید گندم کشور تنها ۵ درصد است ولی ۷۴ درصد از کل گندم تولید شده در این استان بصورت دیم می باشد. به این ترتیب استانهای اصلی تولید گندم دیم کشور عبارتند از: کردستان، چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه، ایلام، لرستان، کرمانشاه، همدان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی. با این وجود برخی از استانها نظیر خراسان به دلیل وسعت سطح زیر کشت (علیرغم پائین بودن پتانسیل تولید دیم) حائز اهمیت بوده و در این مطالعه گنجانده شدند. استانهای مازندران و گیلان به دلیل محدودیت سطح زیر کشت گندم، از نظر تولید دیم این محصول چندان قابل توجه نمی باشند.

داده های آب و هوایی: آمار دراز مدت داده های هواشناسی شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر، میزان بارندگی روزانه در مناطق اصلی تولید گندم کشور مربوط به شهرستانهای اراک، ارومیه، تبریز، خرم آباد، خوی، زنجان، سقز، سنندج، شهر کرد، قزوین، کرمانشاه، همدان بجنورد و شیروان (از استان های خراسان) از بانک داده های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. داده های آب و هوایی ایستگاه های مذکور که در مناطق تولید گندم دیم ایران قرار دارند در دورهٔ ۴۰ ساله بعنوان مبنا[2] مورد استفاده قرار گرفت. این داده ها بنحوی که در ادامه توضیح داده خواهد شد جهت انجام پیش بینی های آینده اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. بطور کلی ایستگاه‌ها به نحوی انتخاب شدند که معرف وضعیت اقلیمی مناطق تولید گندم دیم کشور باشند.

شبیه سازی رشد عملکرد گندم: در این مطالعه جهت شبیه سازی رشد و عملکرد گندم دیم از مدل SUCROS_2 که یک مدل دینامیک و تشریحی جهت شبیه سازی رشد گیاهان زراعی است استفاده شد (۴۲). چارچوب عمومی این مدل کاملا مشابه مدل SUCROS می‌باشد با این تفاوت که این مدل قادر است رشد و عملکرد گندم را در شرایط محدودیت آبی نیز محاسبه کند. جزئیات مربوط به مبانی ریاضی این مدل توسط نصیری محلاتی (۷) ارائه شده است. اشاره می‌شود که این مدل بیلان آبی خاک را بر اساس میزان بارش روزانه، میزان تبخیر و تعرق، رواناب و نفوذ عمقی آب با توجه به شرایط آب و هوایی و خصوصیات خاک در چهار لایه از خاک محاسبه می‌کند. میزان آب قابل دسترس بر اساس بیلان آبی خاک و عمق توسعه ریشه برآورد شده و سرعت تولید ماده خشک بر اساس نسبت تبخیر و تعرق واقعی به پتانسیل تعیین می‌گردد. بعلاوه مدل ضریب تنش که مقدار آن بین صفر و یک متغیر است را بعنوان شاخصی از کاهش رشد ناشی از محدودیت آب محاسبه می‌کند، ضریب تنش معادل ۱ نشان دهنده عدم محدویت آب بوده و کاهش مقدار آن به سمت صفر نشان دهنده میزان کاهش رشد ناشی از کم آبی است. لازم به ذکر است که ناثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر فتوسنتز و رشد گندم بر اساس روش ارائه شده توسط کوچکی و نصیری (۵) در مدل تعریف گردید.

مطالعه اثر تغییر اقلیم: مدل شبیه سازی عملکرد گندم دیم پس از اعتبار سنجی جهت انجام مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داده های آب و هوایی حاصل از مدلهای گردش عمومی بعنوان ورودی های مدل برای شرایط اقلیمی سالهای هدف (۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی) بکار گرفته شد. مدلها ابتدا برای شبیه سازی عملکرد در ایستگاههای تحت بررسی در شرایط فعلی اجرا شده، سپس مجددا تحت شرایط مدیریتی مشابه برای شرایط اقلیمی آینده اجرا گردیدند تا به این ترتیب عملکردهای پیش بینی شده برای شرایط تغییر اقلیم با عملکردهای فعلی مقایسه شوند. خروجی مدلهای گردش عمومی بصورت ماهانه بوده در حالیکه ورودی مدلهای رشد داده های آب و هوایی روزانه می‌باشد، جهت تبدیل داده های ماهانه

1 - Statistical Downscaling

2 - Baseline

Archive of SID

www.SID.ir

به روزانه از تولید کنندهٔ داده های آب و هوایی استفاده شد. مطالعات قبلی (۲) نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تشعشع ورودی در ایستگاههای مختلف کشور ناچیز می باشد. در این مطالعه جهت برآورد میزان تشعشع روزانه در ایستگاههای مختلف کشور از روش ارائه شده توسط خودریان (۷) استفاده شد. این روش تشعشع روزانه و طول روز را بر اساس عرض جغرافیائی منطقه محاسبه می کند جهت برآورد تشعشع دریافت شده توسط گیاهان زاعی به علت عدم دسترسی به اطلاعات کامل ساعات آفتابی در شرایط فعلی و نیز در شرایط تغییر اقلیم، میزان نشر آتمسفری به روش ارائه شده توسط فان لار و همکاران (۴۲) برآورد گردید.

واسنجی و تعیین اعتبار مدلها: مدل SUCROS_2 پیش از بکارگیری در مطالعه تغییر اقلیم ابتدا واسنجی و سپس تعیین اعتبار گردید. واسنجی مدل عبارتست از تعیین پارامترها و ضرایب مدل جهت منطقه مورد استفاده به منظور تصحیح مراحل فنولوژی و عملکرد. این عمل معمولاً با اجرای مدل، تصحیح پارامترها و ضرایب جهت اصلاح نتایج نادرست و تکرار این عمل تا حصول نتیجه مطلوب دنبال می‌شود. قبل از تعیین اعتبار مدل اجرای مرحله واسنجی آن ضروری است. پارامترها و ضرایب مدلها در این مطالعه از مطالعات قبلی انجام شده در مورد ارقام رایج گندم دیم و آبی کشور استخراج گردید.

مدل پس از واسنجی براساس داده های آزمایشی، توسط داده‌های عملکرد گندم در مناطق مختلف کشور استخراج شده از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، تعیین اعتبار گردید. قابلیت مدل با محاسبهٔ جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بررسی گردید (معادلهٔ ۱):

$$RMSE(\%) = \sqrt{\sum (O_i - P_i)^2 / n} \cdot \frac{100}{\overline{O}} \qquad (۱)$$

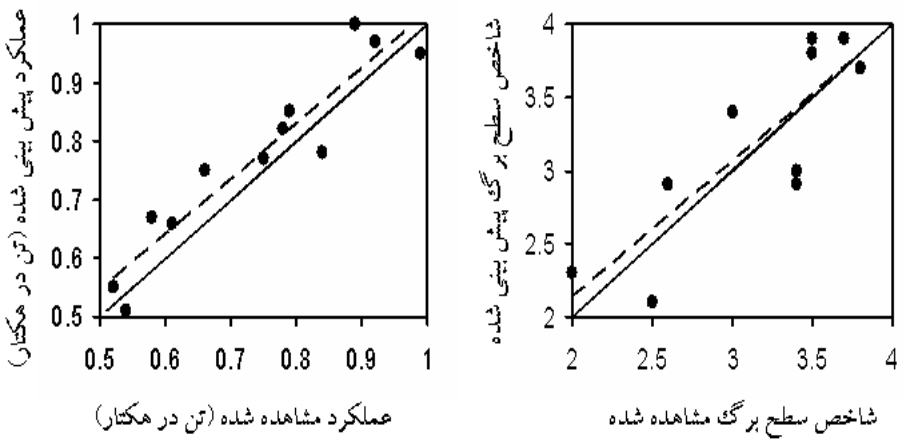
که در آن O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاده شده و پیش بینی شده، n تعداد مشاهدات و $\overline{O}$ میانگین مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

اعتبار سنجی مدلهای شبیه سازی عملکرد

نتایج تعیین اعتبار بر روی مدل SUCROS_2 نشان داد که این مدل قابلیت قابل قبولی در پیش بینی عملکرد و شاخص سطح برگ گندم در شرایط محدودیت آبی (شرایط دیم) دارد. مقدار جذر میانگین مربعات خطا در پیش بینی عملکرد و شاخص سطح برگ در محدوده ۲۰-۱۷ درصد قرار گرفت بعلاوه شیب خط رگرسیون بین مشاهدات و مقادیر پیش بینی شده برای عملکرد و سطح برگ با شیب خط ۱:۱ اختلاف معنی داری نداشت (شکل۱). البته قدرت پیش بینی مدل در مورد شاخص سطح برگ ضعیف تر از عملکرد بود. به نظر می‌رسد که این امر تا حد زیادی به دلیل مشکل موجود در پیش بینی سرعت زوال برگها می‌باشد. زوال برگها و کاهش شاخص سطح برگ سبز در گیاه پدیده ای است که پیش بینی آن در مدلهای رشد معمولا با خطای نسبتا زیادی همراه است (۴۲) و بدیهی است که این خطای برآورد در شرایط تنش آب که مکانیزم پیری و زوال برگها نسبت به شرایط عدم تنش پیچیده تر است، افزایش بیشتری خواهد داشت.

مدل SUCROS قبلا با موفقیت در پیش بینی عملکرد گندم (۱۱) و نیز در مطالعات تغییر اقلیم (۱۸ و ۴۴) مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که استفاده از این مدل جهت پیش بینی عملکرد گندم دیم در ایران با دقت مطلوبی امکان پذیر خواهد بود.



شکل ۱- تعیین اعتبار مدل (چپ) برای پیش بینی عملکرد (تن در هکتار) و شاخص سطح برگ (راست)، نتایج مربوط به گندم دیم می‌باشد. در شکل خط رگرسیون (خط توپر) و خط ۱:۱ (خط مقطع) نیز جهت مقایسه نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

بر این اساس می توان مدل مذکور را جهت شبیه سازی و پیش بینی مراحل نمو و عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم نیز مورد استفاده قرار داد. استفاده از مدلهای شبیه سازی جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان پس از واسنجی و تعیین اعتبار آنها در بسیاری از مطالعات با موفقیت همراه بوده است (۲۱). لازم به ذکر است که در این نوع مطالعات که درمقیاس زمانی و مکانی وسیع انجام می گیرد، دقت برآورد مقادیر شبیه سازی از آنچه در مطالعات و ارزیابی های مدیریتی صورت می گیرد تا حد زیاد کمتر خواهد بود. با این حال استفاده از این مدلها تنها راه حل موجود جهت مطالعهٔ اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه ای می باشد (۶).

شاخص سطح برگ

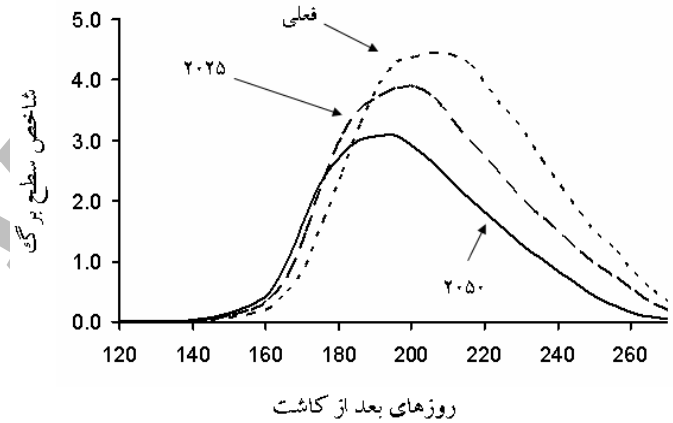
در شکل ۲ روند شبیه سازی شده سطح برگ گندم دیم برای شرایط فعلی و براساس میانگین دراز مدت داده های آب و هوایی در یکی از ایستگاه های غرب کشور نشان داده شده و این روند با شاخص سطح برگ پیش بینی شده برای شرایط تغییر اقلیم مقایسه شده است. نتایج موید دو نکته اصلی در این روند می‌باشد. اولا شاخص سطح برگ گندم دیم در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی نسبت به میانگین فعلی آن بیش از ۱ واحد کاهش خواهد یافت. ثانیا زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به شرایط فعلی بین ۲۰ تا ۳۰ روز زودتر صورت خواهد گرفت.

شاخص سطح برگ نشان دهنده توسعه کانوپی و در نتیجه توانایی گیاه زراعی در جذب تشعشع می‌باشد. بنابراین کاهش سطح برگ به معنی جذب کمتر نور و متعاقبا سرعت کمتر فتوسنتز کانوپی خواهد بود. به نظر می‌رسد در شرایط اقلیمی آینده کمبود آب عامل اصلی کاهش دهنده توسعه سطح برگ می‌باشد. نتایج تحقیقات (۴۱، ۲۶) نشان داده است که کاهش رطوبت خاک در شرایط تغییر اقلیم دسترسی ریشه ها به آب را محدود کرده و از این طریق موجب کاهش سطح برگ گندم خواهد شد.

از سوی دیگر افزایش درجه حرارت در شرایط تغییر اقلیم باعث تجمع سریع تر درجه روزهای رشد گندم شده و در نتیجه با افزایش سرعت توسعه کانوپی حصول حداکثر شاخص سطح برگ در مقایسه با شرایط فعلی تسریع می‌گردد (۲۷). این امر باعث خواهد شد که انطباق زمانی بین حداکثر تشعشع ورودی از خورشید و توسعه کانوپی تغییر کند و در نتیجه کارآیی کانوپی در جذب تشعشع بطور قابل ملاحظه ای کاهش یابد (۳۰).

جذب تشعشع

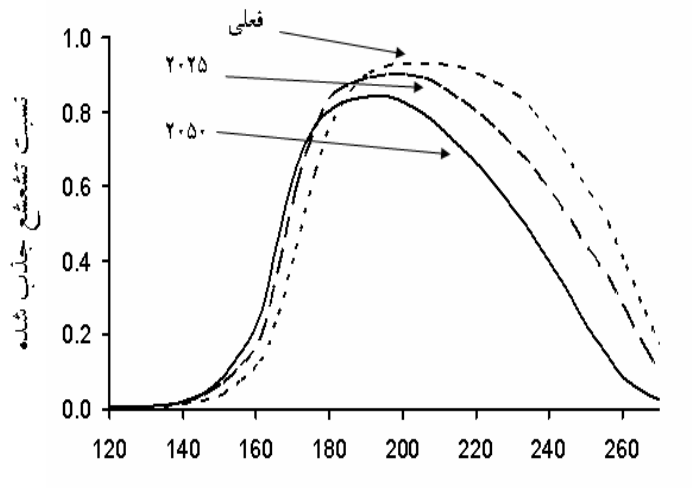
در شکل ۳ روند جذب تشعشع خورشیدی برای شرایط فعلی و سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس روند سطح برگ در شکل ۲ شبیه سازی شده است. نسبت جذب نور که بین صفر و یک تغییر می‌کند مشابه الگوی رشد سطح برگ بوده و با تغییر شرایط اقلیمی علاوه بر کاهش این نسبت به میزان حدود ۲۰ درصد زمان حداکثر جذب نور نیز نسبت به شرایط فعلی زود تر حادث خواهد شد.



شکل ۲- شبیه سازی روند رشد سطح برگ گندم دیم در شرایط فعلی و مقایسه آن با سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت انجام شبیه سازی تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه انتخاب شده است، نتایج مربوط به یکی از ایستگاه‌های غرب کشور می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

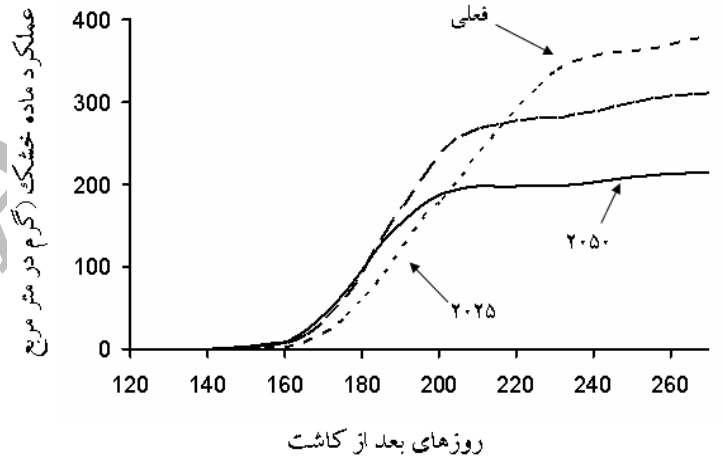


شکل ۳- شبیه سازی روند رشد سطح برگ گندم دیم در شرایط فعلی و مقایسه آن با سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت انجام شبیه سازی تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه انتخاب شده است.

این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که که در شرایط اقلیمی آینده کاهش سطح برگ گندم دیم و افزایش سرعت پیری برگها به دلیل کمبود آب و افزایش درجه حرارت (۱۰) باعث کاهش چشمگیر میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گندم شده و در نتیجه فتوسنتز و تولید ماده خشک را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

تولید ماده خشک

نتایج شبیه سازی نشان داد که تولید ماده خشک قسمت هوایی گندم دیم تحت تأثیر تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی تقلیل می‌یابد. میزان این کاهش در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ به حدود ۴۰ درصد خواهد رسید (شکل ۴). بنظر می‌رسد که کاهش تولید ماده خشک در شرایط اقلیمی آینده عمدتاً به دلیل کوتاه تر شدن طول دوره رشد باشد زیرا پیش بینی های مدل بوضوح نشان می‌دهد که افزایش وزن خشک نسبت به شرایط فعلی زود تر آغاز شده و ثبات آن تیز سریع تر فرا خواهد رسید. این امر که با روند تغییرات شاخص سطح برگ (شکل ۲) انطباق دارد به دلیل جذب تشعشع کمتر توسط کانوپی (شکل ۳) در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ می‌باشد.



شکل ٤- شبیه سازی روند تغییرات ماده خشک قسمتهای هوایی گندم دیم در شرایط فعلی و مقایسه آن با سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت انجام شبیه سازی تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه انتخاب شده است، نتایج مربوط به یکی از ایستگاههای غرب کشور می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

این نتایج موید آن است که اثرات مثبت ناشی از افزایش غلظت دی اکسید کربن بر تولید ماده خشک گندم دیم در سالهای هدف بطور کامل با تأثیر منفی افزایش درجه حرارت و کمبود آب جبران شده و تأثیر توام این عوامل کاهش چشمگیر رشد را بهمراه خواهد داشت.

طول فصل رشد

نتایج مدل گردش عمومی نشان داد که بر اساس تعریف فوق از طول فصل رشد که صرفا بر اساس درجه حرارت (روزهای فاقد یخبندان) تعریف می شود، طول فصل رشد در تمامی مناطق دیم خیز کشور افزایش خواهد یافت. مقایسه طول فصل رشد در شرایط فعلی و شرایط شبیه سازی شده سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی در جدول ۱ ارائه شده است.در واقع تغییر طول دوره رشد یکی از پی آمدهای قطعی تغییر اقلیم می‌باشد که در اکثر مطالعات به آن اشاره شده است (۱۳ و ۳۳). بنا به تعریف طول فصل رشد بالقوه محصولات زراعی عبارتست از فاصله بین آخرین یخبندان بهاره و اولین یخبندان پائیزه، این دوره برای هر گونه گیاهی اختصاصی بوده و به حداقل درجه حرارت رشد آن (صفر پایه) بستگی خواهد داشت (۴).

جدول ۱- طول فصل رشد (تعداد روزهای بدون یخبندان) در ایستگاههای مختلف در شرایط حاضر (احتمال ۷۵٪) و مقادیر آن برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس نتایج مدل گردش عمومی

ایستگاه	طول بالقوه فصل رشد (تعداد روزهای فاقد یخبندان)		
	فعلی	۲۰۲۵	۲۰۵۰
اراک	۲۱۹	۲۴۰	۲۵۴
ارومیه	۲۱۷	۲۳۴	۲۴۶
تبریز	۲۲۱	۲۳۵	۲۵۳
خرم آباد	۲۵۸	۲۷۴	۲۸۹
خوی	۲۱۵	۲۳۲	۲۴۰
زنجان	۱۸۴	۲۰۰	۲۱۷
سقز	۱۸۴	۲۰۴	۲۲۰
سنندج	۲۰۴	۲۲۵	۲۴۰
شهرکرد	۱۸۳	۲۰۳	۲۲۵
قزوین	۲۱۷	۲۴۰	۲۵۶
کرمانشاه	۲۰۸	۲۲۴	۲۴۳
همدان	۱۸۱	۱۹۵	۲۱۴

شواهد متعدد از مطالعات تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان از جمله استرالیا (۲۲) و چین (۴۵) همگی طولانی تر شدن طول فصل رشد را در شرایط اقلیمی آینده تایید کرده است. با این حال میزان تغییر طول فصل رشد بسته به نوع سناریوی تعریف شده برای تغییر اقلیم متفاوت خواهد بود (۳۸).

بر اساس تعریف FAO، تعیین طول فصل رشد (LGP) صرفاً بر اساس درجه حرارت چندان واقع گرایانه نمی باشد (۱۴). زیرا در بسیاری از مناطق خشک یا نیمه خشک رطوبت عامل اصلی محدود کننده رشد است. لذا حتی در صورت مناسب بودن درجه حرارت برای رشد، عدم دسترسی به آب کافی، رشد را به شدت محدود خواهد کرد. این امر بویژه در شرایط دیم که تولید اساساً بر وجود رطوبت کافی استوار است حائز اهمیت می باشد. بنابراین در دستورالعمل ناحیه بندی اکولوژیکی FAO، تعیین طول فصل رشد (LGP) بر اساس میزان رطوبت قابل استفاده گیاه تعیین می شود. بر اساس روش FAO تعیین طول فصل رشد واقعی با استفاده از میانگین میزان بارندگی ماهانه و میانگین تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه انجام می شود. بدین صورت که با رسم منحنی مربوط به ۵۰ ٪ تبخیر و تعرق ماهانه، نقاط تلاقی این منحنی با منحنی تغییرات بارش، طول فصل رشد (LGP) را مشخص می سازد. جهت محصولات دیم این دوره نشان دهندهٔ طول واقعی فصل رشد می باشد.

در شرایط تغییر اقلیم افزایش درجه حرارت باعث افزایش تبخیر و تعرق شده و از سوی دیگر کاهش میزان نزولات در ترکیب با تغییر تبخیر و تعرق بالقوه، طول فصل رشد را بطور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد. تحت این شرایط تولید محصولات زراعی تنها در صورت انجام آبیاری کافی امکان پذیر خواهد بود، بنابراین در شرایط دیم محدودیتهای جدی بهمراه خواهد داشت (۱۲ و ۴۵).

مطالعات انجام شده در ایران (۲ و ۲۹) حاکی از افزایش درجه حرارت و کاهش میزان بارندگی در کلیهٔ مناطق کشور در شرایط آینده اقلیمی می باشد. بروز این تغییرات در ترکیب با یکدیگر طول فصل رشد موجود برای گندم دیم را در تمامی مناطق دیم خیز کشور کاهش می دهد. بنابراین نتیجه گیری بر اساس درجه حرارت بعنوان مبنای تعیین طول فصل رشد در مورد محصولات دیم چندان منطقی نمی‌باشد. زیرا نتایج مربوط به طول فصل رشد محاسبه شده بر مبنای درجه حرارت مؤید افزایش LGP در مناطق دیمکاری کشور است (جدول ۱)، در حالیکه محاسبهٔ طول فصل رشد بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه کاهش طول دورهٔ رشد را در مناطق تولید گندم کشور تأیید می کند (جدول ۲).

سرعت رشد محصول

تولید ماده خشک گندم تابع سرعت تولید ماده خشک یا سرعت رشد محصول است، بنابراین کاهش تولید ماده خشک در شرایط اقلیم (شکل ۴) به دلیل کاهش سرعت رشد محصول در این شرایط می‌باشد. نتایج شبیه سازی نیز حاکی از آن است که سرعت تولید ماده

Archive of SID

www.SID.ir

خشک در آینده اقلیمی تقریبا در تمام مناطق دیم خیز کشور کاهش می‌یابد (جدول ۳). سرعت رشد محصول شاخصی از سرعت تجمع مادهٔ خشک در گیاهان زراعی است. عوامل محیطی متعددی بر این شاخص مؤثر بود که از میان آنها کمبود رطوبت از اهمیت ویژه ای برخوردار است (۲۵).

جدول ۲-طول فصل رشد در ایستگاههای مختلف در شرایط حاضر (بر اساس آمار درجه حرارت) و مقادیر آن برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی بر اساس روش FAO و با احتساب رطوبت قابل استفاده گیاه محاسبه شده است.

ایستگاه	طول بالقوه فصل رشد (تعداد روزهای فاقد یخبندان)		
	فعلی	۲۰۲۵	۲۰۵۰
اراک	۲۱۹	۲۰۴	۱۹۲
ارومیه	۲۱۷	۲۰۱	۱۸۳
تبریز	۲۲۱	۲۰۸	۱۹۰
خرم آباد	۲۵۸	۲۲۲	۲۰۳
خوی	۲۱۵	۲۰۱	۱۷۸
زنجان	۱۸۴	۱۷۶	۱۶۵
سقز	۱۸۴	۱۷۳	۱۶۱
سنندج	۲۰۴	۱۸۸	۱۷۲
شهرکرد	۱۸۳	۱۷۱	۱۶۰
قزوین	۲۱۷	۲۰۰	۱۸۲
کرمانشاه	۲۰۸	۱۸۹	۱۷۳
همدان	۱۸۱	۱۷۰	۱۶۲

طول فصل رشد در شرایط فعلی مشابه جدول ۱بر اساس تعداد روزهای بدون یخبندان محاسبه شده است.

سرعت رشد گندم نظیر سایر محصولات زراعی از طریق حاصلضرب میزان تشعشع جذب شده (ژول در متر مربع در روز) در کارآئی مصرف نور (RUE، گرم مادهٔ خشک به ازاء ژول انرژی) نیز قابل محاسبه است (۳۲). از آنجا که مطالعات انجام شده قبلی در مورد شاخص‌های اقلیمی توسط مدلهای گردش عمومی نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تشعشع ورودی در اکثر نقاط ایران ناچیز می‌باشد، می توان نتیجه گرفت که کاهش سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم احتمالاً به دلیل تغییر در میزان تشعشع جذب شده و یا کاهش RUE می باشد. شواهد متعدد نشان داده است که با افزایش غلظت گاز کربنیک، سرعت فتوسنتز در گیاهان C3 (از جمله گندم) افزایش خواهد یافت (۳۶). بنابراین، چون کارآئی مصرف نور شاخصی از فتوسنتز خالص گیاهان می باشد، انتظار می رود که تحت شرایط تغییر اقلیم RUE افزایش یابد. آسنگ و همکاران (۱۰) در مطالعه خود جهت شبیه سازی رشد و عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم، میزان افزایش کارایی مصرف نور گندم را در غلظت ۵۵۰ پی پی ام گاز کربنیک معادل ۱۵ درصد فرض کرده اند. بر این اساس با توجه به اینکه کارایی مصرف نور در شرایط تعریف شده برای اقلیم آینده مناطق دیم خیز کشور افزایش خواهد یافت، به نظر می رسد که کاهش سرعت رشد گندم تحت این شرایط به دلیل کاهش چشمگیر جذب نور به دلیل کاهش سطح برگ در اثر بروز خشک باشد. فان ایترسم و همکاران (۴۱) شدت تنش آب را بر حسب نسبت آب قابل دسترس خاک برآورد کرده و نشان دادند که چنانچه در گندم نسبت آب قابل دسترس خاک به کمتر از ۰/۴۵ تقلیل یابد، کاهش رشد برگ آغاز خواهد شد. توقف پنجه زنی در نسبت آب قابل استفاده کمتر از ۰/۵ صورت گرفته در حالیکه فتوسنتز و رشد طولی ریشه در نسبت کمتر از ۰/۲۵ شروع می شود. به نظر می رسد که علیرغم تأثیر مثبت افزایش غلظت گازکربنیک بر کارآیی مصرف نور، این تأثیر بوسیله کاهش فتوسنتز ناشی از خشکی و نیز کاهش جذب نور به دلیل عدم توسعهٔ کافی سطح برگ در کانوپی جبران شده و نهایتاً سرعت رشد گندم به میزان قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. نتایج حاصل از محاسبهٔ میزان کاهش سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی برای مناطق مختلف تولید گندم دیم کشور در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳- میانگین کاهش سرعت رشد گندم نسبت به شرایط فعلی (درصد) در شرایط اقلیمی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

ایستگاه	میانگین تغییر سرعت رشد محصول (٪)	
	۲۰۲۵	۲۰۵۰
اراک	۲۱	۳۴
ارومیه	۲۸	۳۹
تبریز	۲۳	۳۶
خرم آباد	۲۹	۳۷
خوی	۲۴	۳۵
زنجان	۲۳	۳۸
سقز	۲۴	۳۳
سنندج	۲۱	۳۲
شهرکرد	۳۰	۴۱
قزوین	۲۹	۳۸
کرمانشاه	۲۷	۳۶
همدان	۲۲	۳۴

شدت تنش خشکی

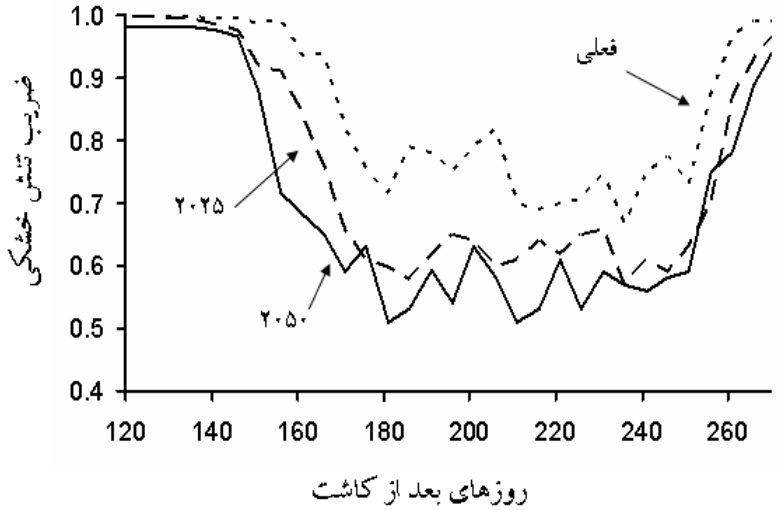
نتایج حاصل از شبیه سازی رشد گندم دیم در این مطالعه نشان داد که سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم تقلیل خواهد یافت (جدول ۳). این کاهش سرعت رشد که پی آمد آن کاهش عملکرد می باشد، عمدتاً به دلیل تشدید شرایط خشکی در اقلیم آینده می باشد. اثر

Archive of SID

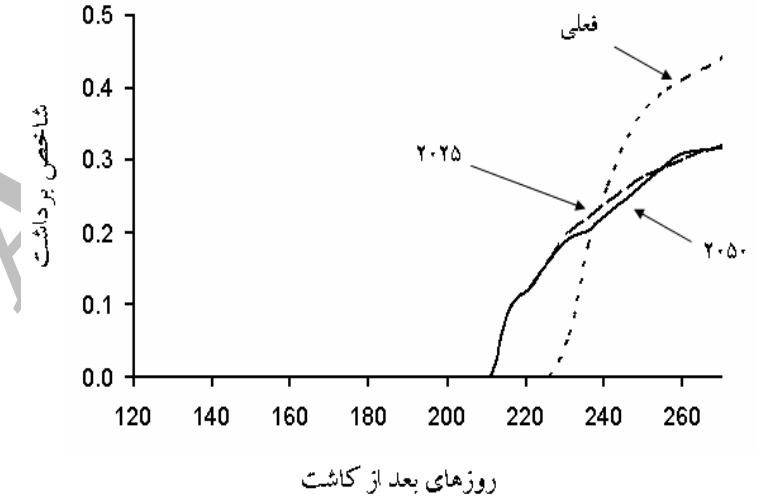
www.SID.ir

خشکی بر سرعت رشد را می توان بوسیلهٔ نوعی فاکتور کاهش دهنده مشخص نمود. این فاکتور کاهش که معمولاً بر اساس نسبت تبخیر و تعرق واقعی (AET) به تبخیر و تعرق بالقوه (PET) تعریف می شود، در شرایط بدون محدودیت آب برابر ۱ می باشد. تحت این شرایط سرعت رشد پتانسیل حاصل شده و در نتیجه پتانسیل عملکرد گندم ظهور خواهد کرد. بر این اساس سرعت رشد واقعی حاصلضرب سرعت رشد پتانسیل در فاکتور کاهش خواهد بود (۴۲).

در شکل ۵ شاخص شبیه سازی شده شدت تنش برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ با شرایط فعلی مقایسه شده است. نتایج بوضوح نشان می‌دهد که در شرایط تغییر اقلیم زمان بروز تنش در مقایسه با شرایط فعلی زودتر آغاز شده و بعلاوه شدت آن نیز بیشتر است. همانگونه در ذکر شد شدت تنش خشکی عامل اصلی کاهش سرعت رشد محصول و در نتیجه کاهش ماده خشک تولیدی گندم در شرایط تغییر اقلیم در مناطق دیم خیز کشور می‌باشد.



شکل ۵- شبیه سازی روند تغییرات ضریب تنش خشکی در شرایط فعلی و مقایسه آن با سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت انجام شبیه سازی تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه انتخاب شده است. لازم به ذکر است که این ضریب بین صفر و یک متغیر است، مقدار ۱ به معنی عدم وجود تنش آبی و مقدار صفر حداکثر شدت تنش می‌باشد. نتایج مربوط به یکی از ایستگاههای غرب کشور می‌باشد.



شکل ٦- شبیه سازی روند تغییرات شاخص برداشت گندم دیم در شرایط فعلی و مقایسه آن با سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. جهت انجام شبیه سازی تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه انتخاب شده است. نتایج مربوط به یکی از ایستگاههای غرب کشور می‌باشد.

www.SID.ir

شاخص برداشت

تغییر اقلیم علاوه بر کاهش ماده خشک تولید شده در قسمت‌های هوایی گندم دیم، انتقال این ماده خشک به دانه را نیز تقلیل خواهد داد. نتایج شبیه سازی تغییرات شاخص برداشت گندم دیم نشان داد که مقدار این شاخص از حدود ۰/۴۳ در شرایط فعلی به حدود ۰/۳۱ در شرایط اقلیمی سال های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد البته اختلاف بین دو شرایط تغییر اقلیم ناچیز می‌باشد (شکل ۶).بر اساس نتایج شبیه سازی تا پیش از شروع دوره پر شدن دانه شاخص برداشت معادل صفر می‌باشد. با شروع انتقال مواد به دانه این شاخص بتدریج افزایش یافته و در رسیدگی کامل به حداکثر خود می‌رسد. با توجه به این روند بنظر می‌رسد که در شرایط تغییر اقلیم زمان پر شدن دانه به دلیل افزایش درجه حرارت زودتر آغاز شده (۱۷) و بعلاوه درجه حرارت های بالا با تأثیر منفی بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه، انتقال مواد به دانه (۴۳) و در نتیجه شاخص برداشت گندم دیم را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد (شکل ۶).

عملکرد گندم دیم

بر اساس نتایج ارائه شده در این پژوهش در شرایط تغییر اقلیم، کاهش سرعت رشد به دلیل کاهش جذب تشعشع خورشیدی منجر به کاهش تولید ماده خشک شده و این امر توام با کاهش شاخص برداشت باعث کاهش عملکرد دانه در گندم دیم خواهد شد. بدیهی است که با عمیق تر شدن شدت تغییر اقلیم میزان کاهش عملکرد نیز شدید تر خواهد بود. با وجودیکه بین شاخص برداشت گندم در سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ تفاوت قابل ملاحظه ای دیده نشد ولی اختلاف قابل توجه عملکرد ماده خشک گندم در این دو سال باعث خواهد شد تا میزان کاهش عملکرد گندم دیم در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۵ بالاتر باشد.

بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور در صورت تغییر میزان بارش و افزایش درجه حرارت، علیرغم اثرات مثبت بالارفتن غلظت گازکربنیک آتمسفر، کاهش خواهد یافت. میزان این کاهش برای سال ۲۰۲۵ در محدوده ۱۶ تا ۱۶ درصد و برای سال ۲۰۵۰ میلادی در دامنه ۲۲ تا ۳۲ درصد نسبت به شرایط فعلی پیش بینی گردید ۰شکل ۷). بعلاوه شدت کاهش در قسمت های شرقی کشور (نظیر استان خراسان) به دلیل کاهش بیشتر نزولات و گرمایش بیشتر در مقایسه با قسمت های غربی کشور (۲۹) شدیدتر خواهد بود.

همانگونه که قبلاً ذکر شده کاهش عملکرد گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم عمدتاً به دلیل کاهش میزان بارش و افزایش تبخیر و تعرق در اثر افزایش درجه حرارت می باشد. در واقع با نزدیک شدن میزان تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق بالقوه سرعت رشد گندم به پتانسیل خود نزدیک شده و لذا با تولید مادهٔ خشک بیشتر، عملکرد (در شاخص برداشت ثابت) افزایش می یابد (۴۲). بالعکس در شرایط کمبود بارش توام با درجه حرارت بالا، کاهش تبخیر و تعرق واقعی و اختلاف شدید آن با تبخیر و تعرق بالقوه باعث کاهش سرعت تجمع مادهٔ خشک و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد (۱۲). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با وجود افزایش غلظت دی اکسید کربن در سالهای هدف، اثرات مثبت آن بر عملکرد گندم دیم به دلیلی گرمایش و کمبود آب مشهود نخواهد بود. بر اساس نتایج گوجو و همکاران (۱۹) اثرات مثبت افزایش دی اکسید کربن بر عملکرد گندم در صورتی ظاهر خواهد شد که میزان بارندگی سالانه نیز حداقل ۷۵ میلی متر افزایش یابد. نتایج تحقیق مشابهی در ایتالیا مشخص ساخت که افزایش عملکرد گندم در شرایط دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن مستلزم صرف ۷۵ درصد آب بیشتر جهت آبیاری خواهد بود (۳۹).

در شکل ۸ خلاصه ای از نتایج شکل ۷ ارائه شده است تا بتوان الگوهای تأثیر تغییر اقلیم را بر کاهش عملکرد گندم دیم کشور بصورت روشن تری ارزیابی کرد. بطور کلی کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق شمال غربی و جنوب غربی نسبت به نواحی غربی بیشتر خواهد بود. این امر با نتایج مربوط به به الگوهای تغییر درجه حرارت و بارندگی در کشور انطباق داشته و به نظر می‌رسد مناطق تولید دیم واقع در قسمتهای شمال شرق کشور، برای مثال بجنورد و شیروان در استان خراسان نسبت به مناطق غربی در شرایط اقلیمی آینده کاهش عملکرد بیشتری را تجربه خواهند کرد بطوریکه این میزان برای بجنورد و شیروان به ترتیب۲۳ و ۲۵ درصد (برای سال ۲۰۲۵) و ۳۰ و ۳۲ درصد (برای سال ۲۰۵۰) پیش بینی شده است.

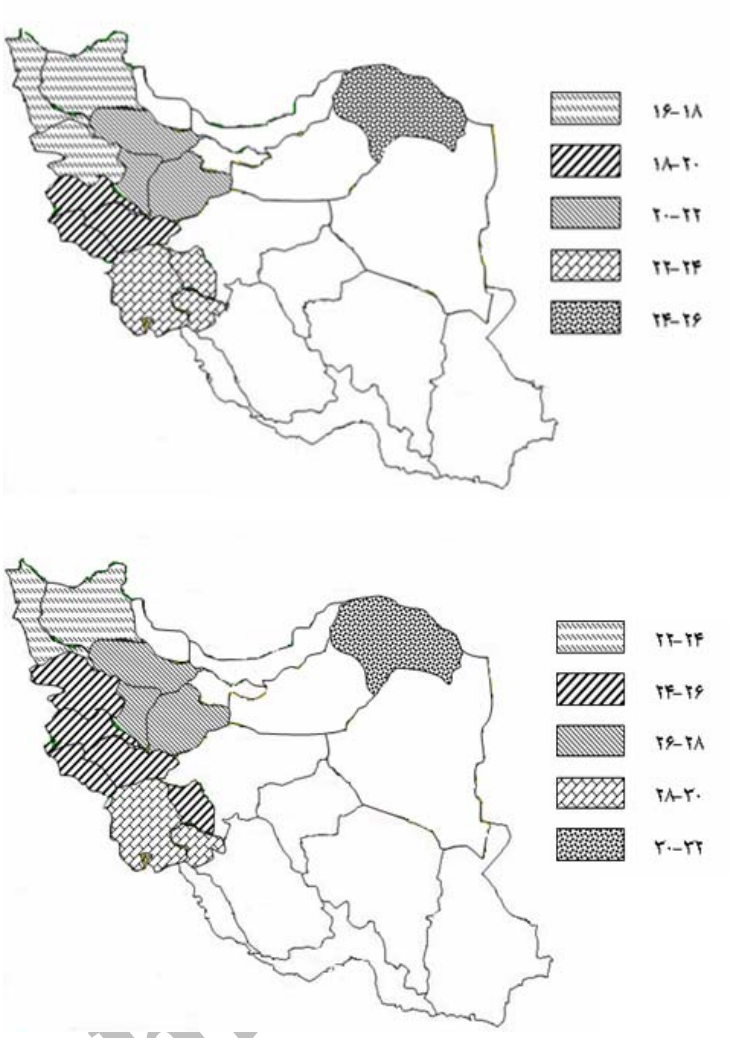
در این تحقیق تأثیر تغییرات آینده اقلیمی بر رشد و عملکرد گندم دیم در مقیاس ملی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در طی ۱۵ سال آینده عملکرد این محصول در مناطق دیم خیز کشور کاهش خواهد یافت. البته کاهش پیش بینی شده بدون احتساب راهکارهای سازگاری و با فرض تداوم مدیریت های زراعی فعلی صورت گرفته است. بررسی های انجام شده در اغلب مناطق جهان موید آن است که با اتخاذ راهکارهای مناسب سازگاری نظیر اصلاح ارقام جدید و تغییر روشهای زراعی، پی آمدهای تغییر اقلیم به میزان قابل ملاحظه ای کنترل خواهد شد. با این وجود از آنجا که اجرایی شدن راهکارهای سازگاری به زمان نسبتا طولانی نیاز دارد مواجهه با اقلیم آینده مستلزم تداوم مطالعات گسترده بر روی این پدیده جهانی می‌باش

قدردانی

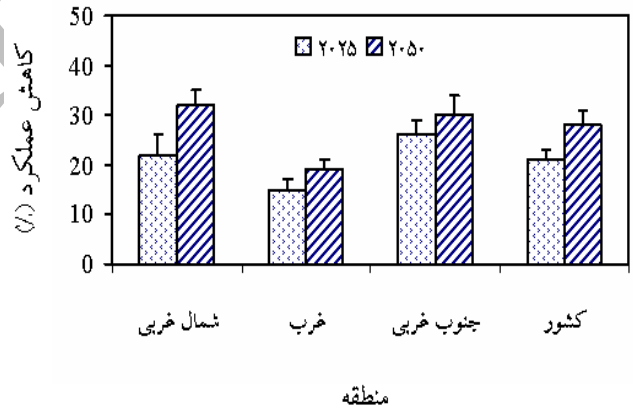
بودجه این تحقیق از پژوهشکده هواشناسی تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- درصد پیش بینی شده کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق اصلی تولید این محصول در کشور برای سالهای ۲۰۲۵ (بالا) و ۲۰۵۰ میلادی (پایین).



شکل ۸- شبیه سازی میزان کاهش عملکرد گندم دیم برای شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ در مناطق اصلی تولید گندم دیم در کشور و مقایسه آن نسبت به میانگین عملکرد فعلی کشور (خطوط عمودی انحراف معیار مربوط به ایستگاه های داخل هر یک از مناطق می‌باشد).

Archive
www.SID.ir

منابع

۱- زارع فیض آبادی، ا.، ع. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۵. بررسی روند ۵۰ ساله تغییرات سطح زیر کشت، عملکرد و تولید غلات در کشور و پیش بینی وضعیت آینده. مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۴، شماره ۱.، ۷۰-۴۹.

۲- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ح. شریفی، ا. زند و کمالی، غ. ۱۳۸۰.‹شبیه سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. مجله بیابان. جلد ۶. شماره ۲. صفحات. ۱۱۷-۱۲۷.

۳- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ا. سلطانی، ح. ر. شریفی، غ. کمالی و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۲. شبیه سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط دو برابر شدن غلظت CO_2 بوسیله مدلهای عمومی گردش. مجله بیابان، جلد ۸، شماره ۲.، ۱۷۸ - ۱۹۰.

۴- کوچکی ع. و نصیری م. ۱۳۷۰. اکولوژی گیاهان زراعی: روابط گیاهان و محیط، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵- کوچکی، ع. و م. نصیری. ۱۳۷۸. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزیش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهشهای زراعی ایران، (۲)۶: ۱۵۳-۱۳۹.

۶- نصیری م.، کوچکی ع. و رضوانی مقدم پ. ۱۳۸۱. تاثیر تغییر جهانی اقلیم بر تولیدات کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۷- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدلسازی فرآیند های رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۸- نصیری محلاتی، م.، ع. کوچکی، غ. کمالی و ح. مرعشی. ۱۳۸۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص های اقلیمی کشاورزی ایران. مجله علوم و صنایع کشاورزی، (۷)۲۰: ۷۱-۸۲.

9- Aggarwal, P.K. 2003. Impact of climate change on Indian agriculture. J. Plant Biol. 30: 189–198.

10- Asseng, S., P.D. Jamieson, B., Kimball, P., Pinter, K., Sayre, J.W., Bowden and S.M., Howden. 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO_2. Field Crops Res. 85: 85–102.

11- Bannayan, M. and N.M.J., Crout. 1999. A stochastic modelling approach for real-time forecasting of winter wheat yield. Field Crops Research 62: 85-95.

12- Burkart, S., R., Manderscheid and H.J., Weigel. 2004. Interactive effects of elevated atmospheric CO_2 concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. Eur. J. Agron. 21: 401–417.

13- Ewert, F., M.D.A., Rounsevell, I., Reginster, M.G., Metzger and R., Leemans. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. Agric. Ecosyst. Environ. 107: 101–116.

14- FA0. 2000. FAO Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture. World Food Programme, No. 310, FAO, Rome, 25p.

15- Fischer, G., K. Frohberg, M. L. Parry and C. Rosenzweig. 1994. Climate change and world food supply, demand and trade: who benefits, who loses? Global Environmental Change, 4(1) 7-23

16- Fulco, L. and A., Senthold. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. Agric. Syst. 90: 159–179.

17- Fulu, T., Y., Masayuki, X., Yinlong, H., Yousay and Z., Zhao, 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. Agric. For. Meteorol. 138: 82–92.

18- Goudriaan, J. 1996. Predicting crop yields under global change. In: Walker, B., Steffen, W. (Eds.), Global Change and Terrestrial Ecosystems. International Geosphere/Biosphere Programme Book Series. Cambridge UniversityPress, pp. 260.

19- Guoju, X., Q., Zhang, Y., Yao, H., Zhao, R., Wanga, H., Bai and F., Zhang. 2008. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China. Agriculture, Ecosystems and Environment 127: 37–42

20- Hansen, J., G. Fung, A. Lacis, D., Rind, G. Russel, S. Lebedeff, R. Ruedy and P. Stome. 1988. Global climate change as forecast by GISS 3-D model. Journal of Geographical Research, 93: 9341-9364.

21- Hoogenboom, G., 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. Agricultural and Forest Meteorology, 103, 137-157.

22- Howden, M. and R. Jones. 2001. Costs and benefits of CO2 increase and climate change on the Australian wheat industry. Australian Greenhouse Office, October 2001.

23- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 881 pp.

24- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press.

25- Jones, P.G. and P.K., Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. Glob. Environ. Change 13: 51–59.

26- Kimball, B.A., Pinter Jr., P.J., Garcia, R.L., LaMorte, R.L., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Wechsung, G., Wechsung,

Archive of SID

www.SID.ir

F.and T., Kartschall, 1995. Productivity and water use of wheat under free-air CO2 enrichment. Global Change Biol. 1: 429–442.
27- Kirby, E.J.M. 1990. Number of main shoot leaves in wheat as affected by temperature. Journal of Agricultural Science (Camb.), 45: 270-279.
28- Koocheki, A., M., Nassiri, A., Soltani, H., Sharifi, 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.
29- Koocheki A, M., Nassiri, G.A., Kamali and H., Shahandeh. 2006. Potential impacts of climate change on agro-meteorological indicators in Iran. Arid Land Research and Management, 20: 245-259.
30- Ludwig, F. and S., Asseng, 2006. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems.. Agric. Syst. 90: 159–179.
31- Menzel, A. and P. Fabian. 1999. Growing season extended in Europe. Nature, 397: 659.
32- Monteith, J.L., 1981 Climatic variation and the growth of crops. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 107: 749-774.
33- Parry, M., C., Rosenzweig, A., Inglesias, M., Livermore and G., Gischer. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Glob. Environ. Change 14: 53–67.
34- Parry, M., C., Rosenzweig, A., Inglesias, G., Fischer and M., Livermore, 1999. Climate change and world food security: a new assessment. Global Environ. Change 9: S51–S67.
35- Pauw, E. De , W. Gbela, and H. Adam. 2000. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. Agricultural and Forest Meteorology, 103: 43–58
36- Rosenzweig, C. and M. L. Parry. 1994. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. Nature, 367:133–38.
37- Rowntree, P.R., Callander, B.A., and J., Cochrane. 1989. Modelling climate change and some potential effects on agriculture in the UK. Journal of the Royal Agricultural Society of England.
38- Smith, J.B. and M. Hulme. 1998. Climate change scenarios. In: UNEP Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Studies (Eds. Burton, I., Feenstra, J.F., Smith, J.B. and Tol, R.S.J.), Version 2.0, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.
39- Tubiello, F.N., M., Donatelli, C., Rosenzweig and C.O., Stockle. 2000. Effects of climate change and elevated CO_2 on cropping systems: model predictions at two Italian locations. Eur. J. Agron. 13: 179–189.
40- Tyson, P., E., Odada, R., Schulze and C.I.,Vogel. 2002. Regional–global change linkages: Southern Africa. In: Tyson, P., Fuchs, R., Fu, C., Lebel, L., Mitra, A.P., Odada, E., Perry, J., Steffen, W., Virji, H. (Eds.), Global–regional Linkages in the Earth System. START/IHDP/IGBP/WCRP. Springer, Berlin, London.
41- Van Ittersum, M.K., S.M., Howden and S., Asseng. 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping system in a Mediterranean environment to changes in CO_2, temperature and precipitation. Agric. Ecosyst. Environ. 97: 255–273.
42- Van Laar, H.H., J.,Goudriaan, and H., Van Keulen. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands, pp. 52.
43- Wheeler, T.R., T.D., Hong, R.H., Ellis, G.R., Batts, J.I.L., Morison, and P., Hadley. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO_2. J. Exp. Botany 47: 623–630.
44- Wolf, J. 2002. Comparison of two potato simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. Climate Research 21: 173-186.
45- Xiao, G.J., W.X., Liu, Q., Xu, Z.J., Sun and J., Wang. 2005. Effects of temperature increase and elevated CO_2 concentration, with supplemental irrigation, on rain-fed spring wheat yield in semiarid areas of China. Agric. Water Manage. 74: 243–255.

Archive of SID

www.SID.ir