نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 1، فروردین – اردیبهشت 1395، ص. 311-300

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 300-311

راهکارهای سازگاری گندم با شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)

مهدی دلقندی[1*]-سعیدبرومندنسب[2]- بهرام اندرزیان[3]-علیرضامساح بوانی[4]

تاریخ دریافت: 1393/06/07
تاریخ پذیرش: 1394/08/09

چکیده

در این مطالعه راهکارهای سازگاری گندم با تغییر اقلیم، توسط مدل گیاهی ارزیابی شده CERES-Wheat برای شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور سناریوهای تغییر اقلیم برای دو دوره آتی 2045-2015 و 20100-2070 با استفاده از 13 مدل GCM تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B1 با ریسک 0/10 تولید شد. نتایج مقایسه عملکرد در شرایط تغییر اقلیم با دوره مبنا (2010-1980) نشان داد، با قبول ریسک 0/10، عملکرد در دوره‌های 2045-2015 و 2100-2070 به ترتیب حدود 4 و 15 کاهش می‌یابد. برای سازگاری با تغییر اقلیم، 4 راهکار به‌زراعی (تغییر تاریخ کشت، تغییر مقدار نیتروژن مصرفی، تغییر رژیم آبیاری و اصلاح واریته گندم) مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفته شد که تاریخ کشت‌های 30 آبان‌ماه (تاریخ کشت نرمال دوره مبنا) و 20 آذرماه به ترتیب برای دوره‌های 2045-2015 و دوره 2100-2070، مناسب‌ترین تاریخ کشت می‌باشند. ارقام دیررس متحمل به گرما عملکرد بالاتری را نسبت به ارقام میان‌رس و زودرس داشتند، که نشان می‌دهد اصلاح واریته گیاهی راهکاری مناسب برای سازگاری با تغییر اقلیم می‌باشد. همچنین مشخص گردید که در دوره‌های آتی مقدار مصرف نیتروژن به میزان 20 درصد کاهش خواهد یافت. افزایش و کاهش یک نوبت آبیاری (40 میلی‌متر) نسبت به رژیم آبیاری دوره مبنا، بهترین نتایج عملکرد را به ترتیب برای دوره 2045-2015 و 2100-2070 به همراه داشت. اما از نظر بهره‌وری مصرف آب (WP_I)، کاهش دو نوبت آبیاری نسبت به رژیم آبیاری دوره مبنا، بهترین رژیم آبیاری برای هر دو دوره آتی معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: سناریوی انتشار، گرمایش جهانی، مدل‌های گردش عمومی جو، مدل گیاهی

مقدمه

امنیت غذایی یکی از دغدغه‌های جامعه بشری می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود با رشد جمعیت، برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز جامعه جهانی در سال 2050، تولید مواد غذایی حدود 70 درصد افزایش یابد (2). با توجه به محدویت گسترش اراضی کشاورزی، این کمبود، باید از طریق افزایش بهروه‌وری کشاورزی صورت گیرد (21). در ایران، غلات و در رأس آن، گندم مهمترین نقش را در امنیت غذایی به عهده دارند.حدود 40 درصد کالری مصرفی مردم ایرانناز گندم تأمین می‌شود. همین امر باعث گردیده است این محصول برخلاف این‌که از گیاهان سودآور محسوب نمی‌شود، جزو محصولات استراتژیک کشور به شمار آید و نیل به خودکفایی آن سرلوحه برنامه‌های توسعه کشور قرار گیرد (4).گرم شدن جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای (به ویژه دی اکسید کربن) در دهه‌های اخیر که از آن به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود باعث تغییر در الگوی پارامترهای هواشناسی گردیده است و موجب افزایش تعداد و مقدار رخدادهای حدی مانند خشکسالی شده است (16). افزایش دما و وقوع خشکسالی‌های ناشی از تغییر اقلیم، تهدیدی جدی برای امنیت غذایی آینده جامعه جهانی محسوب می‌شود (17). افزایش دما و دی اکسید کربن می‌تواند باعث ایجاد تغییرات اساسی در سیستم کشاورزی گردد (10، 11و 20). اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان با ارزیابی خروجی‌های مدل‌های گیاهی برای دو دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم قابل بررسی می‌باشد (6). با استفاده از مدل‌های گیاهی می‌توان راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم را بررسی نمود و با اتخاذ تصمیمات مدیریتی و زراعی مناسب از نتایج منفی آن بر عملکرد محصول کاست و چه بسا بتوان عملکرد محصول را نسبت به زمان فعلی افزایش داد. کشاورزان می‌توانند با تغییر سیاست‌های کشاورزی، اثرات منفی تغییر اقلیم را کاهش دهند از این رو بایستی روی نقش راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم بیشتر متمرکز شد (19). سازگاری

1- استادیارگروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود
(*- نویسنده مسئول: Email: delghandi@gmail.com)
2- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
3 - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
4- استادیارگروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

با تغییر اقلیم شامل همه اعمال، اعم از ابتکاری و غیر ابتکاری می‌شود که برای کاهش اثرات آسیب‌پذیری سیستم‌های شهری و طبیعت در مقابل اثرات منفی تغییر اقلیم صورت می‌گیرد. انواع مختلفی از راهکارهای سازگاری وجود دارند که تعدادی از آن‌ها که قابلیت اجرا شدن در سطح مدیریت مزرعه دارند عبارتند از تغییر تاریخ کشت، تغییر رژیم آبیاری، تغییر میزان کود مصرفی، اصلاح واریته گیاهی، تغییر روش شخم، تغییر تناوب زراعی و غیره. در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم بیشتر از گزینه تغییر تاریخ کشت و تغییر نوع کالتیوار به عنوان راهکارهای سازگاری استفاده شده است (25). هلدنو همکاران (9) گزینه‌های تأمین آب و نیتروژن را به عنوان دو راهکار برای سازگاری با تغییر اقلیم بررسی نمودند. لوو همکاران (18)، استراتژی‌های اصلاح‌نژادی و مدیریت کود نیتروژن را برای سازگاری رشد گندم با تغییر اقلیم در جنوب استرالیا را مورد آنالیز قرار دادند. سمنوف و همکاران (24) عنوان نمودند برای سازگاری گندم با تغییر اقلیم در شرایط آب و هوایی اروپا بایستی با عملیات به نژادی، دوره رشد رقم‌های گندم را کوتاه نمود تا رسیدگی فیزیولوژیک با دوره تنش حرارتی مصادف نگردد. همچنین پیشنهاد نمودند رقم‌های گندم را به گرما مقاوم‌تر نمود.

به طور خلاصه می‌توان گفت آنچه آمد، بررسی دقیق‌تر وضعیت آینده اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی کشور را امری ضروری می‌سازد. متأسفانه برخلاف اهمیت این موضوع، در سطح کشور در تحقیقات اندکی به این موضوع پرداخته شده است. این مهم انگیزه‌ای برای پیشنهاد طرح حاضر بوده است. در این مطالعه، سناریوهای تغییراقلیم (دما و بارش) برای دو دوره آتی (2045-2015 و 2100-2070) برای شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز تعیین خواهد شد و اثرات این سناریوهابر عملکرد گندم (رقم چمران) در هر دو دوره آتی توسط مدل گیاهی CERES-Wheat مشخص و در نهایت راهکارهای سازگاری گندم با تغییر اقلیم توسط مدل گیاهی CERES-Wheatمورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای تحقیق حاضر، شهرستان اهواز واقع در استان خوزستان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک با تابستان‌های بسیار گرم است.

تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره‌های آتی با ریسک 0/10

برای تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه منطقه، برای دوره‌های آتی از خروجی 13 مدل AOGCM (HadCm3، GFDL-CM2.0، CSIRO-MK3.5، ECHAM5/MPI-OM، CNRM-CM3 (T63)، CGCM3، GISS-ER، MRI-CGCM2.3.2a، IPSL-CM4، CCSM3، ECHO-G، BCCR-BCM2.0 و MIROC3.2 medres) تحت دو سناریوی انتشار A2 وB1 مربوط به چهارمین گزارش ارزیابیIPCC، (AR4) استفاده شد. سناریوی A2 در برگیرنده بحرانی‌ترین و سناریوی B1 در برگیرنده کمترین میزانانتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند (12). دوره 2000-1970 به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره 2045-2015 و 2100-2070 به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM، مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه 1) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه 2) بین میانگین 31 ساله در دوره‌های آتی (2045-2015 یا 2100-2070) و دوره شبیه-سازی شده پایه (2000-1970) توسط همان مدل، محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میزان میانگین 31 ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد.

$$\Delta T_i = T_{fut_i} - T_{base_i} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \frac{P_{fut_i}}{P_{base_i}} \quad (2)$$

که ΔT_i و ΔP_iبه‌ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت 31 ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، T_{fut_i} میانگین 31 ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، T_{base_i}میانگین 31 ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی مدل‌های AOGCM در اتصال به برخی از مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل CERES-Wheat امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا این پیش‌بینی‌ها علاوه بر قدرت تفکیک مکانی کم،به صورت میانگین‌های ماهانه می‌باشند، در صورتی که مدل CERES-Wheat به سری‌های زمانی روزانه آب و هوا نیازمند می‌باشد. ریز مقیاس کردنداده‌های اقلیمی یکی از منابع عدم قطعیت به شمار می‌آید. در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد (22). از طرفی مطالعاتی که در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی صورت گرفته است، نشان از اهمیت بیشتر منابع عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به بقیه منابع عدم قطعیت دارد (15). در این تحقیق نظر به اهمیت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، عدم قطعیت این دو منبع مورد بررسی قرار گرفت.

برای تولید سناریوهای اقلیمی روزانهبه این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT و ΔP (معادلات 1و 2) برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوی انتشار A2 و B1 و برای هر ماه و هر دو

دوره آتی جداگانه محاسبه گردید. به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه 13 تا ΔTوΔP محاسبه گردید. با توجه به تعداد محدود ΔT و ΔP (13 تا برای هر ماه)، برای هر ماه یک تابع توزیع بتا برای ΔTهای همان ماه و یک تابع توزیع بتا برای ΔPهایهمان ماه حاصل گردید.تابع توزیع تجمعی احتمالاتی $\Delta(CDF)T$ و ΔP برای هر ماه، از تابع توزیع بتای مربوطه استخراج گردید.

دلقندی (3) در مطالعه خود به این نتیجه رسید که برای منطقه اهواز در شرایط تغییر اقلیم، افزایش دما و کاهش بارندگی هر دو باعث کاهش محصول گندم می‌گردند. برای اعمال گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، معمولاً سناریوهایی که دارای کمترین عملکرد می‌باشند انتخاب می‌گردند، بنابراین در این مطالعه برای هر دوره آتی تحت هر سناریوی انتشار، یک سناریوی اقلیمی بدبینانه (با ریسک 0/10) تولید گردید. بدین منظور مقادیر ΔT و ΔP با ریسک 0/10 (ΔT با سطح احتمالاتی 0/90 و ΔP با سطح احتمالاتی 0/10) از CDF مربوطه استخراج گردیدند. این عمل برای همه 12 ماه تکرار گردید. برای جزئیات بیشتر به مقاله دلقندی و همکاران (5) مراجعه شود.

مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی، حداقل نیاز به داده‌های بارش، دمای حداکثر، حداقل و تابش خورشیدی روزانه دارد. کوچکی و همکارانعنوان نمودند که تأثیر تغییر اقلیم بر تشعشع ورودی برای ایستگاه‌های مختلف ناچیز است (14). علاوه بر آن در منطقه خوزستان با توجه به زیاد بودن ساعات آفتابی و تشعشع، این پارامتر (تشعشع) هیچ گونه محدودیتی برای رشد گیاه ایجاد نمی کند. بنابراین می‌توان میزان تشعشع در دوره‌های آتی با دوره پایه یکسان در نظر گرفته شود.

در ادامه برای تولید داده‌های روزانه و ریز مقیاس شده اقلیمی، از مولد آب و هوای تصادفیLARS-WG استفاده گردید. مدل LARS-WG قبل از استفاده بایستی مورد صحت سنجی قرار گیرد. توانایی و کارایی این مدل در تحقیقاتی که صورت گرفته، به اثبات رسیده است (23). این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور با استفاده از داده‌های مشاهداتی دوره پایه 2000-1970 (مربوط به ایستگاه سینوپتیک اهواز) و مقادیرΔT و ΔP سناریوهای اقلیمی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای دو دوره 31 ساله آتی (دوره 2045-2015 و 2100-2070) تولید گردید. به این ترتیب برای هر دوره آتی تحت هر کدام از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، یک سناریوی اقلیمی (ترکیبی از دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش خورشید) تولید گردید. سناریوی اقلیمی حاصل از سناریوهای انتشار A2 و B1، برای دوره آتی اول به ترتیب با نام A2030 و B2030 و برای دوره آتی دوم با نام A2085 و B2085 کدگذاری شدند.

شبیه‌سازی رشد گندم برای دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم

برای شبیه‌سازی رشد گندم (رقم چمران) برای دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم، از مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT[1] 4.5 استفاده شد. این مدل از گروه مدل‌هایCERES می‌باشد که برای غلات تهیه شده است. این مدل خود یکی از زیر مدل‌های DSSAT است. لازمه استفاده از مدلCERES-Wheat، واسنجی و ارزیابی این مدل می‌باشد. به منظور واسنجی مدل، باید 7 ضریب ژنتیکیبرای رقم موردنظر (در این مطالعه رقم چمران) تنظیم و تعیین گردد. با استفاده از آزمایشات مزرعه‌ای، مدل مذکور برای رقم چمران در منطقه مورد مطالعه واسنجی و ارزیابی گردید و نتایج آن در مقاله دیگری ارائه شده است(4).

نتایج و بحث

نتایج تولید سناریوهای تغییر اقلیم

نتایج مربوط به تغییرات دما و بارش با ریسک 0/10 در دو دوره آتی نسبت به دوره مبنا تحت هر کدام از سناریوهای انتشار در جدول (1) ارائه شده است. با توجه به جدول (1) دما و بارش در هر دو دوره آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد، که این افزایش و کاهش در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول بیشتر خواهد بود. از طرفی دیگر میزان تغییرات دما و بارش در دوره آتی اول تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B1 تقریباً یکسان می‌باشد. اما در دوره آتی دوم افزایش دما و کاهش بارندگی تحت سناریوی انتشار A2 نسبت به سناریوی B1 بیشتر می‌باشد. با استفاده از داده‌های این جدول و به کارگیری مدل LARS-WG5 در مجموع 4 سناریوی تغییر اقلیم (A2030، B2030، A2085 و B2085) تولید گردید.

شبیه‌سازی عملکرد و طول دوره رشد برای دوره مبنا (2010-1980)

به منظور تعیین اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر عملکرد و طول دوره رشد گندم، لازم است مقدار عملکرد، تحت سناریوهای اقلیمی دوره‌های آتی و دوره مبنا تعیین و مورد مقایسه قرار گیرند. بنابراین در گام نخست بایستی مقدار عملکرد گیاه در دوره مبنا محاسبه گردد. بنا به توصیه وایت و همکاران برای این منظور، بایستی دوره 30 ساله زراعی اخیر (2010-1980) در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد (25). غلظت CO_2 برابر با میانگین این دوره یعنی 360 پی‌پی‌ام درنظر گرفته شد (11).

1-Decision Support System for Agrotechnology Transfer

جدول 1- تغییرات دما و بارش در دو دوره آتی نسبت به دوره مبنا تحت هر کدام از سناریوهای انتشار

Table 1- Variation of Temperature and Precipitation for the two future periods in comparison with the base period under emission scenarios

دوره‌آتی Future period	A2		B1	
	ΔT(°C)	ΔP(mm)	ΔT(°C)	ΔP(mm)
2015-2045	1.54	0.67	1.47	0.75
2070-2100	4.51	0.50	1.75	0.62

جدول 2- نتایج شبیه‌سازی خصوصیات اصلی گیاهی در سناریوهای تغییر اقلیم به همراه اختلاف آن‌ها با دوره گذشته (اعداد، نشان دهنده میانه نتایج در دوره 30 ساله شبیه‌سازی می‌باشند)

Table 2- simulated results of main plant characteristics for the climate change scenarios along with their differences with past period. (The data indicate the median of simulated 30-year results)

سناریو Scenario	مرحله رسیدگی Maturity (DAP*)	اختلاف Difference (DAP)	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)	اختلاف** Difference (%)	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	اختلاف Difference (%)
A2030	138	-5	6068	-4.2	269	-0.7
B2030	138	-5	6100	-3.6	266	-1.9
A2085	120	-23	5497	-15.0	231	-17.3
B2085	130	-13	6018	-5.0	264	-2.7

*DAP: روز پس از کاشت.

DAP: Day After Planting

**تفاوت مقادیر ستون قبلی با مقدار آن در دوره مبنا می‌باشد.

Discrepancy between value of previous column and base line period

برای شبیه‌سازی عملکرد در این دوره از تیمارهای نرمال استفاده گردید. بدین منظور تاریخ کشت نرمال یعنی 30 آبان ماه، کوددهی بر اساس مقدار توصیه شده 165 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و در دو مرحله رشد به مدل اعمال گردید. برای تعیین برنامه آبیاری از روش هارمسن و همکاران (8) استفاده گردید. بدین منظور مقدار تبخیر و تعرق واقعی (ETa) گندم به صورت روزانه برای دوره 30 ساله اخیر و با استفاده از روش فائو 56 محاسبه گردید. مقدار ETa روزانه در طول فصل زراعی با احتمال وقوع 80 درصد (ریسک 20 درصد) محاسبه گردید. مقدار بارندگی مؤثر نیز در این دوره با ریسک 20 درصد محاسبه و از تفاضل مقدار ETa و بارندگی مؤثر، مقدار نیاز خالص گندم تعیین گردید. برنامه ریزی آبیاری براساس نیاز خالص گیاه تنظیم و به مدل CERES-Wheat اعمال گردید.

پس از وارد نمودن داده‌های مورد نیاز، مدل CERES-Wheat ارزیابی شده توسط دلقندی و همکاران (4) برای دوره 30 ساله مبنا اجرا شد. خصوصیات اصلی گیاه گندم شامل مراحل فنولوژی و عملکرد دانه شبیه‌سازی گردید و میانه نتایج 30 ساله، برای عملکرد دانه، تبخیر و تعرق فصل رشد و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب اعداد 6320 kg/ha، 271mm و 143 روز بدست آمد. این اعداد به عنوان مبنای مقایسه با نتایج سناریوهای تغییر اقلیم در نظر گرفته شدند.

شبیه‌سازی عملکرد برای دوره‌های 2045-2015 و 2100-2070

عملکرد و صفات گیاهی گندم تحت سناریوهای اقلیمی دوره‌های 2045-2015 و 2100-2070 شبیه‌سازی گردید. مقدار غلظت CO_2 برای دوره 2045-2015 و در هر دو سناریوی انتشار A2 و B1، برابر با 430 پی‌پی‌ام، برای دوره 2100-2070، برای دو سناریوی انتشار A2 و B1 به ترتیب 730 و 540 پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد (10). میانه مربوط به نتایج 30 ساله هر صفت گیاهی، تعیین و با میانه نتایج دوره مبنا مقایسه گردید (جدول 2).

تأثیر تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی گیاه گندم

هر یک از مراحل نمو پس از دریافت مقدار معینی دما برحسب درجه-روز رشد (GDD)[1] تغییر نموده و به مرحله بعدی وارد می‌شود. با توجه به جدول (2)، با افزایش دما، نیاز حرارتی مراحل رشد و نمو گندم زودتر تأمین می‌شود و طول دوره رشد کاهش می‌یابد.

تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه گندم

در دوره آتی اول، عملکرد دانه در هر دو سناریوی تغییر اقلیم حدود 4 درصد کاهش یافته است.در دوره دوم آتی، تحت سناریوی

1- Growth Degree-Day

B1 نیز کاهش عملکرد حدود 5 درصد می باشد. دلیل این امر مشابه بودناین سه سناریوی تغییر اقلیم (چه از نظر تغییرات بارندگی و دما و چه از نظر تغییرات CO_2) می‌باشد. در دوره دوم آتی، تحت سناریوی A2، تغییر عملکرد شدیدتر است. عملکرد دانه در این سناریو، 15 درصد نسبت به دوره مبنا کاهش یافته است. دلیل اصلی این امر افزایش قابل ملاحظه دما نسبت به دوره پایه می‌باشد. در شرایط خوزستان (که نور عامل محدود کننده فتوسنتز نمی‌باشد) که گندم تقریباً در تمام مراحل خود، تنش حرارتی را حس می‌کند و یا نزدیک آستانه تنش حرارتی قرار دارد، با افزایش بیشتر دما، فتوسنتز کاهش و تنفس افزایش می‌یابد که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. افزایش چهار درجه‌ای دما باعث می‌گردد در برخی از روزها، دما از درجه حرارت جبرانی (درجه حرارتی که در آن تنفس و فتوسنتز با هم برابر هستند) نیز بالاتر رود و گیاه دچار گرسنگی و در نتیجه کاهش عملکرد گردد (1).

راهکارهای مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی در سازگاری با تغییر اقلیم

برای اعمال گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، معمولاً سناریوهایی که دارای کمترین عملکرد می‌باشند انتخاب می‌گردند. بدین ترتیب در دوره 2045-2015 سناریوی A2030 و از دوره 2100-2070 نیز سناریوی A2085 انتخاب شدند. برای سازگاری بیشتر با تغییر اقلیم، 4 راهکار به زراعی در نظر گرفته شد.

تغییرتاریخ کشت:از تغییر تاریخ کشت به یکی از بهترین راهکارها برای سازگاری با تغییر اقلیم یاد می‌شود زیرا اعمال آن بدون هزینه و همیشه نیز امکان‌پذیر است (19). در این تحقیق نیز 4 تاریخ کشت (با فاصله 20 روز) 10 آبان ماه، 30 آبان ماه، 20 آذر و 10 دی برای شبیه سازی عملکرد در دوره آتی انتخاب شدند و به ترتیب با حروف T1، T2، T3 و T4 نام‌گذاری شدند. که تاریخ کشت 30 آبان ماه (T2)، تاریخ کشت نرمال در دوره مبنا می‌باشد.

اصلاح واریته:همان‌گونه که مشاهده شد تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گندم تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود اصلاح واریته گندم از نظر طول دوره رشد می‌تواند راهکار مناسبی به شمار رود. بدین منظور دو گزینه واریته دیررس و زودرس متحمل به گرما به عنوان راهکارهای سازگاری انتخاب شدند. این دو گزینه به همراه رقم چمران که یک رقم میان‌رس است سه تیمار واریته گیاهی را تشکیل می‌دهند. برای ساخت دو رقم دیررس و زودرس، ضرایب ژنتیکی طول دوره رشد (P1D و P5) رقم چمران (که رقمی متحمل به گرماست) به صورتی تغییر داده شدند که طول دوره رشد برای رقم زودرس و دیررس به ترتیب 10 روز کاهش و افزایش یابد. در این تحقیق رقم دیررس با حرف V1، رقم میان‌رس با حرف V2 و رقم زودرس با حرف V3 نام‌گذاری شده‌اند.

تغییر میزان مصرف کود نیتروژنه: با تغییر شرایط اقلیمی انتظار می‌رود که میزان نیتروژن کاربردی نیز دستخوش تغییر گردد. مقدار مناسب نیتروژن مصرفی در شرایط کنونی برای منطقه مورد مطالعه، 165 کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار تعیین شده است. این رقم به عنوان مبنا انتخاب و تیمارهای بعدی نیتروژن به ترتیب 20 و 40 درصد بیشتر از مقدار نیتروژن مبنا (165 Kg/ha) و 20 درصد کمتر از مقدار مبنا در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب تیمارهای مصرف نیتروژن خالص به صورت 132 کیلوگرم بر هکتار (F1)، 165 کیلوگرم بر هکتار (F2)، 198 کیلوگرم بر هکتار (F3) و 231 کیلوگرم بر هکتار (F4) به عنوان راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم تعریف شدند. هر 4 تیمار کودی در 2 مرحله (همزمان با کشت و مرحله ساقه رفتن) به گیاه داده شد.

تغییر رژیم آبیاری: با تغییر دما،تبخیر و تعرق گیاه و در نتیجه، نیازآبی گیاهان دستخوش تغییر می‌شود. از این رو، تغییر رژیم آبیاری یکی از گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، در نظر گرفته شد و4 تیمار آبیاری W1 (آبیاری نرمال دوره مبنا)، W2 (کاهش یک آبیاری نسبت به تیمار آبیاری W1)، W3(کاهش دو آبیاری نسبت به تیمار آبیاری W1) و W4 افزایش یک آبیاری نسبت به تیمار آبیاری W1 انتخاب گردید. به دلیل متفاوت بودن مقدار تبخیر و تعرق کل در تاریخ کشت‌های مختلف، آبیاری نرمال نیز در هر تاریخ کشت متفاوت می‌باشد. از این رو برای تعیین رژیم آبیاری نرمال در هر تاریخ کشت، مدل CERES-Wheat برای چهار تاریخ کشت مذکور اجرا شد و مقدار تبخیر و تعرق روزانه در هر تاریخ کشت برای دوره 30 ساله اخیر محاسبه گردید. با تعیین مقدار تبخیر و تعرق روزانه و بارندگی مؤثر با ریسک 20 درصد، مقدار نیاز خالص آبیاری برای تاریخ کشت‌های مختلف با ریسک 20 درصد محاسبه گردید. در دو تیمار W2 و W3، کاهش آبیاری در مراحل اولیه رشد گیاه اعمال نگردید و کاهش آبیاری در بقیه مراحل رشد که احتمال بارندگی بیشتر می‌باشد اعمال شد.

ارزیابی راهکارهای مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی در سازگاری با تغییر اقلیم

باتوجه به وجود 4 تیمار تاریخ کشت، 4 تیمار آبیاری، 4 تیمار مصرف کود نیتروژنه و 3 تیمار واریته، در مجموع 192 تیمار برای شبیه‌سازی، به مدل CERES-Wheat تعریف گردید و شبیه‌سازی عملکرد، توسط مدل CERES-Wheat تحت سناریوهای تغییر اقلیم مشخص شده یعنی A2030 و A2085 صورت گرفت. به دلیل حجم زیاد نتایج، تنها به ذکر نتایج مربوط به اثرات ساده و اثرات متقابل متقابل تاریخ کشت و واریته گیاهی بسنده می‌گردد.

جدول 3- اثر تاریخ کشت بر عملکرد و رسیدگی فیزیولوژیک در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

Table 3- Effects of planting date on yield and physiological maturity for different climate change scenarios

تاریخ کشت planting date	A2030		A2085	
	رسیدگی Maturity (DAP)	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)	رسیدگی Maturity (DAP)	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)
T1	127	3086	107	2485
T2	138	6077	121	5597
T3	127	5149	116	5748
T4	114	3487	104	3081

نتایج تغییر تاریخ کشت

اثر تاریخ کشت‌های مختلف بر عملکرد و رسیدگی فیزیولوژیک (در شرایط نرمال دوره مبنا یعنی تیمارهای F2، W1 و V2) در جدول (3) ارائه شده است.

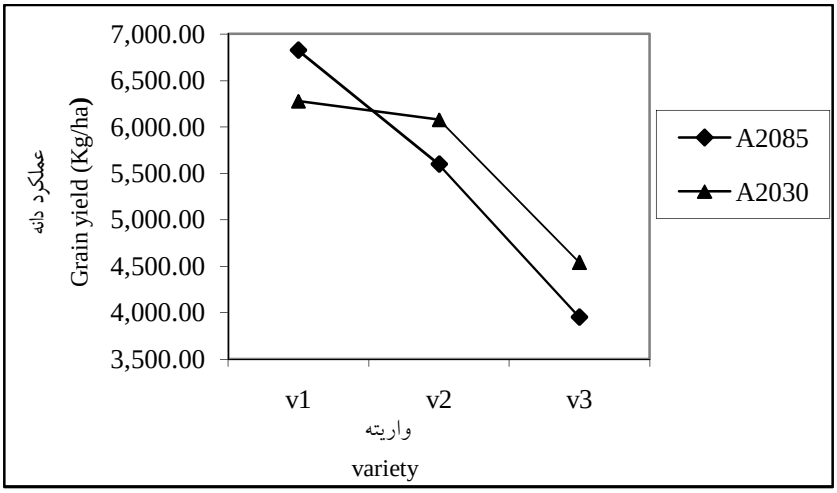
با توجه به جدول (3) مشخص می‌شود که در سناریوی A2030 تاریخ کشت نرمال دوره مبنا یعنی 30 آبان‌ماه (T2)، همچنان مناسب‌ترین تاریخ کشت برای گندم می‌باشد. از آنجائیکه در این سناریو، دما نسبت به دوره گذشته تغییر زیادی نداشته است، تاریخ کشت مناسب نیز تغییر نکرده است اما در سناریوی A2085 افزایش تقریباً 4 درجه‌ای دما باعث گردیده است که مراحل ابتدایی رشد گندم دچار تنش گرما گردند و این موضوع با تغییر تاریخ کشت تعدیل شده است. با شیفت پیدا کردن 20 روزه تاریخ کشت به سمت دوره خنک‌تر (T3)، دمای هوا برای رشد و نموی مراحل ابتدایی گندم مناسب‌تر گردیده است که باعث افزایش شاخص سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی بالاتر گردیده است. ناگفته نماند که در این سناریو کشت با تأخیر 20 روزه سبب کوتاه‌تر شدن 11 روزه دوره رشد نسبت به تاریخ کشت نرمال دوره مبنا (T2) گردیده است. کوتاه شدن دوره رشد در کشت 20 آذرماه نسبت به کشت 30 آبان‌ماه، باعث گردیده مراحل انتهایی رشد در هر دو تیمار، در تاریخ‌های تقریباً یکسانی رخ دهند و از نظر تنش گرمایی انتهای فصل، تفاوت زیادی نداشته باشند. دو تاریخ کشت زودهنگام (T1) و دیرهنگام (T4) هر دو برای شرایط تغییر اقلیم مناسب نمی‌باشند. با کشت زودتر از یک طرف مراحل ابتدایی رشد 20 روز به سمت فصل گرما شیفت پیدا می‌کنند و از طرف دیگر تغییر اقلیم باعث می‌گردد دمای این دوره بیشتر نیز افزایش یابد و گیاه در همین مراحل ابتدایی درجه حرارت‌های بالا را تجربه کند و در اثر تنش گرما ابتدای فصل تعداد دانه در سنبله کاهش یابد (13). گواچ و همکاران (7) نیز کشت زود هنگام را گزینه مناسبی برای سازگاری با تغییر اقلیم ندانستند. در کشت دیر هنگام نیز مراحل انتهایی رشد و نمو به گرمای انتهای فصل رشد برخورد می‌کنند که افزایش دما در مرحله پرشدن دانه باعث تسریع این مرحله و کاهش وزن دانه می‌شود. تنش گرما در مرحله قبل از گلدهی (گل‌انگیزی تا گلدهی) نیز باعث تولید سنبله‌های کوچک‌تر و تعداد دانه کمتر می‌گردد.

نتایج اصلاح واریته گیاهی

نتایج مربوط به اثر واریته‌های مختلف (در تیمارهای نرمال آبیاری W1، تاریخ کشت T2 و کود مصرفی F2) بر عملکرد، (شکل 1) نشان می‌دهد که در هر 2 سناریو تغییر اقلیم، واریته دیررس متحمل به گرما بیشترین عملکرد دانه را داشته است. دلیل آن نیز افزایش طول دوره و در نتیجه آن افزایش تولید اسیمیلات‌ها می‌باشد. اما در سناریوی A2030 مقدار عملکرد در دو تیمار دیررس و میان‌رس تفاوت اندکی با هم دارند. بنابراین برای دوره 2045-2015 واریته میان‌رس چمران نیاز به اصلاح ژنتیکی ندارد. اما در دوره 2100-2070 اصلاح واریته از میان رس به دیررس متحمل به گرما می‌تواند در افزایش عملکرد بسیار مفید باشد و موجب افزایش عملکرد به میزان 1225 کیلوگرم بر هکتار (حدود 20 درصد) گردد.

علاوه بر اصلاح واریته چمران بر اساس طول دوره رشد (به عنوان راهکاری برای گریز از تنش گرما)، اصلاح این واریته بر اساس تحمل بیشتر به گرما (به عنوان راهکاری در راستای سازگاری با گرما) نیز می‌تواند بسیار مفید باشد رقم متحمل به گرما با افزایش سرعت رشد، تا حدودی اثر کاهش دوره‌های رشد و نمو را کاهش می‌دهد. گواچ و همکاران (7) در تحقیق خود متحمل کردن واریته‌ها به گرما را بهترین راهکار به‌نژادی برای سازگاری با تغییر اقلیم معرفی نمودند. کوچکی و نصیری (14) نیز عنوان نمودند برای شرایط مشهد، اصلاح ارقامی از گندم با دامنه مقاومت بالاتر به گرما، در مرحله گلدهی تأثیر چشم‌گیری در بهبود عملکرد خواهد داشت و با افزایش آستانه مقاومت گندم به درجه حرارت بالا در زمان گلدهی به میزان 2 تا 4 درجه‌سانتی‌گراد، از کاهش عملکرد گندم در شرایط اقلیمی سال 2050

به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته خواهدشد.



شکل 1- اثر واریته‌های مختلف بر عملکرد و رسیدگی فیزیولوژیک در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

Figure 1-Effects of different varieties on yield and physiological maturity for different climate change scenarios

نتایج تغییر رژیم آبیاری

در جدول (4) نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد رقم میان‌رس چمران با اعمال تیمار کود F2 و تاریخ کشت T2 (شرایط نرمال دوره مبنا) ارائه شده است. مقایسه نتایج مربوط به دو سناریوی تغییر اقلیم نشان می‌دهد که در هر دو دوره آتی کاهش یک آبیاری اثر چندانی بر عملکرد نداشته است. اما کاهش دو آبیاری، موجب کاهش عملکرد گردیده است. افزایش یک نوبت آبیاری در سناریوی دوره آتی اول، باعث افزایش عملکرد و در سناریوی انتخابی دوره آتی دوم، باعث کاهش عملکرد گردیده است. دلیل این تغییرات عملکرد در تیمارهای مختلف آبیاری را بایستی این‌گونه عنوان نمود که در دوره آتی دوم طول دوره رشد کوتاه‌تر شده و به تبع آن تبخیر و تعرق و نیازآبی خالص گیاه کاهش یافته است. بنابراین با کاهش یک نوبت آبیاری (معادل 40 میلی‌متر) کاهش عملکردی نسبت به تیمار نرمال آبیاری رخ نداده است. اما با کاهش دو نوبت آبیاری، گیاه دچار تنش رطوبتی شده و عملکرد کاهش پیدا کرده است. برای دوره آتی دوم، با کاهش نیاز آبی گیاه نسبت به دوره مبنا، اعمال یک نوبت آبیاری اضافی به مثابه یک تیمار پر آبیاری عمل نموده و باعث شسته شدن نیتروژن خاک و در نتیجه کاهش عملکرد گردیده است.

در دوره آتی اول چون تبخیر و تعرق نسبت به دوره مبنا تغییر چندانی نداشته است بنابراین نیاز آبی گندم نیز در این دوره نسبت به دوره مبنا تغییری نکرده است اما از آنجائیکه که نیاز آبی گندم در تیمار آبیاری نرمال (W1)، براساس ریسک 20 درصد محاسبه گردیده است بنابراین افزایش یک نوبت آبیاری باعث گردیده که مقدار این ریسک کاهش پیدا کند و تعداد سال‌هایی که در آن‌ها گندم کمتر از نیازآبی خود، آب دریافت می‌کند، کاهش و یا حتی به صفر برسد. همین امر می‌تواند دلیل افزایش عملکرد در دوره آتی اول در اثر اعمال یک نوبت آبیاری اضافه محسوب گردد. دلیل دیگری که ممکن است در افزایش عملکرد مؤثر بوده باشد خنک‌تر شدن محیط خاک و کاهش تنفس گیاه است.

به طور کلی می‌توان گفت که اگر معیار انتخاب تیمار مناسب آبیاری را افزایش عملکرد در نظر بگیریم، برای دوره آتی اول و دوم، مناسب‌ترین تیمارهای آبیاری به ترتیب تیمار آبیاری W4 (افزایش یک نوبت آبیاری) و W2 (کاهش یک نوبت آبیاری) می‌باشند. اما بر اساس شاخص بهره‌وری آب WP_I[1] (مقدار محصول به ازای واحد آب آبیاری) که مبنایی اقتصادی دارد، در هر دو سناریو دوره‌های آتی، تیمار آبیاری W3 (کاهش دو نوبت آبیاری معادل 80 میلی‌متر) بیشترین بهره‌وری آب را داشته است.

نتایج مدیریت مصرف نیتروژن

نتایج شبیه‌سازی تأثیر کود مصرفی در سازگاری به تغییر اقلیم در شکل (2) نمایش داده شده است. با دقت در این شکل پیداست که افزایش مقدار کود مصرفی در همه سناریوها باعث افزایش عملکرد گندم گردیده است، اما سودحاصل از این افزایش عملکرد هزینه کود مصرفی مازاد را جبران نمی‌کند. این درحالیست که از اثرات زیست محیطی مصرف نیتروژن نیز نبایستی غافل گردید. با جمع بندی مطالب مذکور این نتیجه حاصل می‌شود که برای شرایط آینده بهترین تیمار مصرف کود تیمار F1 (135 کیلوگرم نیتروژن خالص برهکتار) می‌باشد و میزان مصرف کود نیتروژن در شرایط تغییر اقلیم نسبت

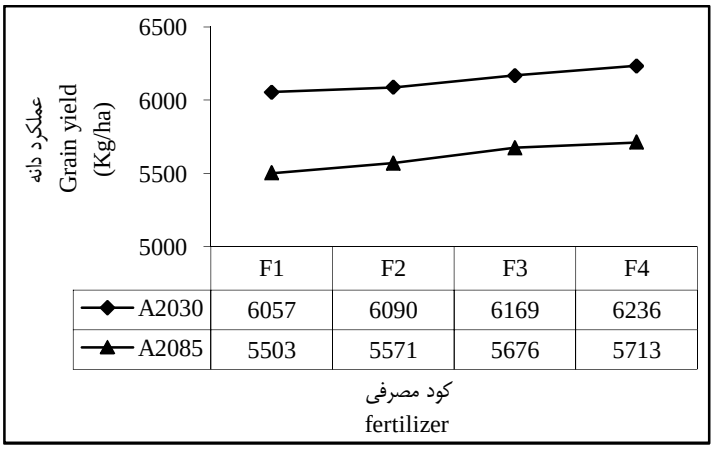
1- Water Productivity

دوره مبنا کاهش پیدا می‌کند. علت کاهش مقدار کود مصرفی مورد نیاز در شرایط تغییر اقلیم بیشتر مربوط به کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد مربوط می‌شود. با کاهش طول دوره رشد، مقدار عملکرد بیولوژیک نیز کاهش می‌یابد. کاهش عملکرد بیولوژیک، کاهش نیاز گیاه به نیتروژن را در پی خواهد داشت.

جدول 4- مقدار عملکرد دانه و شاخص بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبیاری و سناریوهای تغییر اقلیم

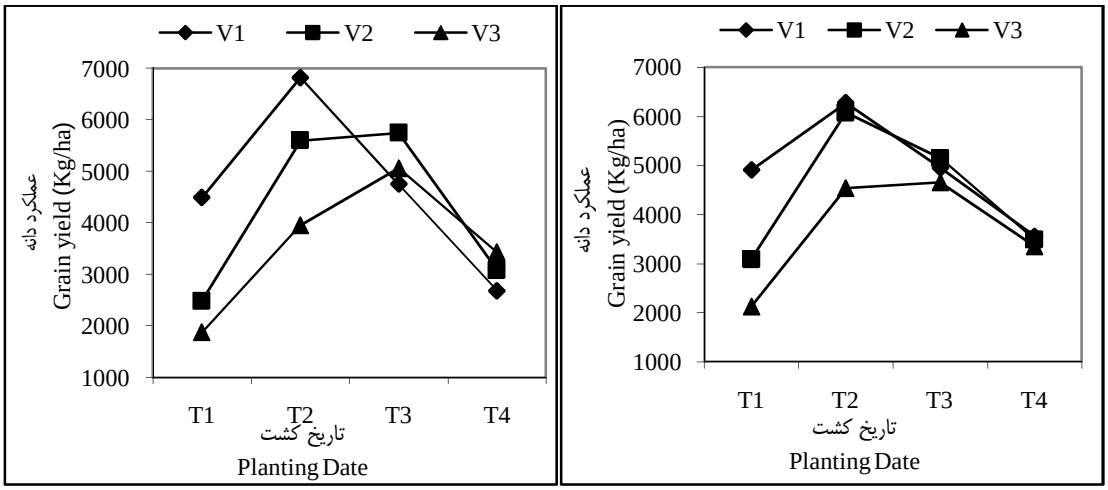
Table 4- Grain yield and water productivity in different irrigation treatments and climate change scenarios

تیمار آبیاری Irrigation Treatment	A2030		A2085	
	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha	WP_I (Kg/m^3)	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha	WP_I (Kg/m^3)
W1	6090	2.10	5571	1.92
W2 (W1-40mm)	6077	2.43	5597	2.24
W3 (W1-80mm)	5822	2.77	5231	2.49
W4 (W1+40mm)	6265	1.90	5554	1.68



شکل 2- اثر تیمارهای کود مصرفی بر عملکرد دانه در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

Figure 2- Effects of fertilizer treatments on Grain yield for different climate change scenarios



شکل 3- اثر تاریخ‌های کشت مختلف بر عملکرد دانه در سناریوی تغییر اقلیم A2030

Figure 3- Effects of planting date on Grain yield for A2030 climate change scenarios

شکل 4- اثر تاریخ‌های کشت مختلف بر عملکرد دانه در سناریوی تغییر اقلیم A2085

Figure 4-Effects of planting date on Grain yield for A2030 climate change scenarios

اثر متقابل تاریخ کشت و واریته

در اشکال 3 و 4عملکرد دانه و رسیدگی فیزیولوژیک در تیمارهای تاریخ کشت و واریته‌های مختلف (در شرایط تیمارهای کودی و آبیاری نرمال دوره مبنا) ارائه شده است.

با توجه به شکل (3) در سناریوی دوره آتی اول مناسب‌ترین تاریخ کشت برای دو رقم دیررس متحمل به گرما و میان‌رس متحمل به گرما، تاریخ کشت نرمال دوره مبنا (T2) می‌باشد. اما برای رقم زودرس تاریخ کشت 20 آذر ماه (T3) مناسب‌تر می‌باشد. زیرا با توجه به کوتاه بودن دوره رشد این رقم، کشت زودتر باعث ایجاد تنش گرمایی در مراحل ابتدایی و میانی رشد و کشت دیرهنگام (T4) باعث ایجاد تنش گرمایی در مراحل پایانی رشد می‌گردد. به طور کلی مناسب‌ترین ترکیب تاریخ کشت و واریته برای این دوره، کشت واریته دیررس (V1) در تاریخ کشت نرمال دوره مبنا یعنی T2 می‌باشد. و دو تاریخ کشت T1 و T4 برای کشت هیچکدام از واریته‌ها مناسب نمی‌باشند.

در دوره دوم آتی، مناسب‌ترین ترکیب تاریخ کشت و واریته مربوط به کشت واریته دیررس در تاریخ کشت تیمار T2 می‌باشد. برای دو واریته میان رس و زودرس، تاریخ کشت سوم مناسب‌تر است، اما در این تاریخ کشت، عملکرد واریته دیررس نسبت به تاریخ کشت T2 به شدت کاهش می‌یابد که دلیل این کاهش عملکرد را بایستی اینگونه عنوان نمود که با توجه به دوره رشد 127 روزه این رقم در سناریو A2085 (جدول 3)، کشت دیرتر این رقم باعث می‌گردد دوره‌های پایانی رشد با گرمای انتهای فصل مصادف گردد و کاهش شدید عملکرد دانه را به دنبال داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق راهکارهای سازگاری گندم با تغییر اقلیم در دو دوره آتی 2015-2045 و 2070-20100، برای شرایط اقلیمی شهرستان اهواز مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور 4 راهکار به زراعی تغییر تاریخ کشت، تغییر رژیم آبیاری، تغییر میزان مصرف کود نیتروژنه و اصلاح واریته گیاهی در نظر گرفته شد. و مشخص گردید که برای دو دوره آتی اول و دوم به ترتیب تاریخ کشت 30 آبان‌ماه و 20 آذرماه مناسب‌ترین تاریخ کشت می‌باشد. در هر دو دوره تغییر اقلیم، واریته دیررس متحمل به گرما بیشترین عملکرد دانه را خواهدداشت. با در نظر گرفتن شاخص بهره‌وری آب بعنوان معیار انتخاب تیمار مناسب آبیاری، در هر 2 سناریو دوره‌های آتی کاهش دو نوبت آبیاری معادل 80 میلیمتر بیشترینبهره‌وری آب را به دنبال خواهد داشت. میزان مصرف کود نیتروژن در شرایط تغییر اقلیم نسبت دوره مبنا کاهش پیدا خواهد داشت. مناسب‌ترین ترکیب تاریخ کشت و واریته در شرایط تغییر اقلیم، کشت واریته دیررس در تاریخ کشت 20 آبان ماه خواهد بود.

منابع

1- Aggarwal P.K. 1991. Simulation growth, development and yield of wheat in warm area. PP 429-435. In (eds) Sanders, D.A., and G.H. Hettle. Wheat in heat stressed environments. Irrigated, dry areas and rice-wheat farming system, CIMMYT, Thailand, 549 p.

2- Geerts S., Raes D., and Garcia M. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. Agricultural Water Management, 98: 213-216.

3- Anonymous. 2009. How to feed the world in 2050. High-level Experts Form, FAO, Rome. P.35.

4- Delghandi M. 2012. Risk assessment of climate change impacts on wheat production and adaptation strategies (case study: South of Khuzestan Plain). Department of Irrigation and Drainage, Chamranuniversity, Iran.Ph.D Dissertation. (in Persian with English abstract).

5- Delghandi M., Andarzian B., Broomand-Nasab S., MassahBovani A., and Javaheri E. 2014. Evaluation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study: Ahvaz Region).Journal of Water and Soil, 28(1):82-91. (In Persian with English abstract).

6- Delghandi M., MassahBovani A., Ajorlou M.J., Broomand-Nasab S., and Andarzian B. 2014. Risk assessment of climate change impacts on production and phenology of wheat (case study: Ahvaz Region). Journal of Water and Irrigation Management, 4(2): 161-175. (in Persian with English abstract).

7- Easterling W.E., Aggarwal P.K., Batima P., Brander K.M and others. 2007. Food, fibre and forest products. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, p 273–313.

8- Gouache CH., Bris, X.L., Bogard M., Deudon O., Pagé C.H., and Philippe P.H. 2012. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. European Journal of Agronomy, 39: 62-70.

9- Harmsen E.W., Miller N.L., Schlegel N.J., and Gonzalez J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. Agricultural Water Management, 96: 1085-1095.
10- Holden N.M., and Brereton A.J. 2006. Adaptation of water and nitrogen management of spring barley and potato as a response to possible climate change in Ireland. Agricultural Water Management, 82: 297–317.
11- IPCC. 2001. Climate change. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A. and Maskell K., 572 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
12- IPCC. 2001. Summary for Policymakers, in McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J.and White, K.S. (eds.) (2001) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability,Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panelon Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-17.
13- IPCC-TGICA. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
14- Ishagh H.M. 1994. Genotype, differences in heat stress in wheat in the irrigated Gazira scheme. pp 170-174. in(eds) Sanders, D.A and G.H. Hettle. Wheat in heat stressed environments. Irrigated, dry areas and rice-wheat farming system, CIMMYT, Thailand, 549 p.
15- KoochekiA., and Nassiri M. 2008. Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. Journal of Iranian Field Crop Research, 6(1):139-153. (In Persian with English abstract).
16- Lobell D.B and Ortiz-Manasterio I. 2006. Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES. Agricultural Water Management, 84: 249-258.
17- Lobell B.D., Sibley A., and Ortiz-Monasterio J.I. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. Nature Climate Change, 2: 186-189.
18- Lobell D.B., Hammer G.L., McLean G., Messina C., Roberts M.J., and Schlenker W. 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. Nature Climate Change, 3: 497-501.
19- Luo Q., Bellotti W., Williams M. and Wang E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies Agriculture. Ecosystems and Environment, 129: 261–267.
20- Mereu V. 2009. Climate change impact on durum wheat in Sardinia. Agrometeorology and Ecophysiology of agricultural Systems and Forestry. XXII ciclo – UniversitadegliStudi di Sassari. Ph.D Dissertation.
21- Parry M.L., Rosenzweig C., and Iglesias A., Livermore M and Fischer G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14: 53-67.
22- Parry M.A.J., Reynolds M., Salvucci M.E., Raines C., Andralojc P.J., Zhu X.G., and Price G.D., Condon A.G., andFurbank R.T. 2011. Raising yield potential of wheat. II.Increasing photosynthetic capacity and efficiency. Journal of Experimental Botany, 62, 453-467.
23- Ruiz-Ramos M and Minguez M.I. 2010. Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. Climate Research, 44: 69-82.
24- Semenov M.A and Stratonovitch P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. Climate Research, 41: 1-14.
25- Semenov M.A., Stratonovitch P., Alghabari F., and Gooding M.J. 2014. Adapting wheat in Europe for climate change. Journal of Cereal Science, 59: 245-256.
26- White J.W., Hoogenboom G., Kimball B.A and Wall G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. Field Crops Research, 124: 357–368.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 300-311

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۵، ص. ۳۱۱-۳۰۰

Adaptation Strategies of Wheat to Climate Change (Case Study: Ahvaz Region)

M. Delghandi[1]*- S. Broomandnasab[2] - B. Andarzian[3] - A.R. Massah-Bovani[4]

Received:29-08-2014
Accepted:31-10-2015

Introduction: In recent years human activities induced increases in atmospheric carbon dioxide (CO_2). Increases in [CO_2] caused global warming and Climate change. Climate change is anticipated to cause negative and adverse impacts on agricultural systems throughout the world. Higher temperatures are expected to lead to a host of problems. On the other hand, increasing of [CO_2] anticipated causing positive impacts on crop yield. Considering the socio-economic importance of agriculture for food security, it is essential to undertake assessments of how future climate change could affect crop yields, so as to provide necessary information to implement appropriate adaptation strategies. In this perspective, the aim of this study was to assess potential climate change impacts and on production for one of the most important varieties of wheat (chamran) in Khouzestan plain and provide directions for possible adaptation strategies.

Materials and Methods: For this study, The Ahvaz region located in the Khuzestan province of Iran was selected.

Ahvaz has a desert climate with long, very hot summers and mild, short winters. At first, thirteen GCM models and two greenhouse gases emission (GHG) scenarios (A2 and B1) was selected for determination of climate change scenarios. ΔP and ΔT parameters at monthly scale were calculated for each GCM model under each GHG emissions scenario by following equation:

$$\Delta T = \overline{T}GCM_{Fut,i} - \overline{T}GCM_{Base,i}$$

$$\Delta P = \frac{\overline{P}GCM_{Fut,i}}{\overline{T}GCM_{Base,i}}$$

Where ΔP, ΔT are long term (thirty years) precipitation and temperature differences between baseline and future period, respectively. $\overline{T}GCM_{Fut,i}$ average future GCM temperature (2015-2044) for each month, $\overline{T}GCM_{Base,i}$, average baseline period GCM temperature (1971-2000) for each month, $\overline{P}GCM_{Fut,i}$, average future GCM precipitation for each month, $\overline{T}GCM_{Base,i}$, average baseline period GCM temperature (1971-2000) for each month and i is index of month. Using calculated ΔPs for each month via AOGCM models and Beta distribution, Cumulative probability distribution function (CDF) determined for generated ΔPs. ΔP was derived for risk level 0.10 from CDF. Using the measured precipitation for the 30 years baseline period (1971-2000) and LARS-WG model, daily precipitation time series under risk level 0.10 were generated for future periods (2015-2045 and 2070-2100). Mentioned process in above was performed for temperature. Afterwards, wheat growth was simulated during future and baseline periods using DSSAT, CERES-Wheat model. DSSAT, CERES4.5 is a model based on the crop growth module in which crop growth and development are controlled by phenological development processes. The DSSAT model contains the soil water, soil dynamic, soil temperature, soil nitrogen and carbon, individual plant growth module and crop management module (including planting, harvesting, irrigation, fertilizer and residue modules). This model is not only used to simulate the crop yield, but also to explore the effects of climate change on agricultural productivity and irrigated water. For model validation, field data from different years of observations were used in this study. Experimental data for the simulation were collected at the experimental farm of the Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research Center (KANRC), located at Ahwaz in south western Iran.

Results and Discussion: Results showed that wheat growth season was shortened under climate change, especially during 2070-2100 periods. Daily evapotranspiration increased and cumulative evapotranspiration decreased due to increasing daily temperatures and shortening of growth season, respectively. Comparing the wheat yield under climate change with base period based on the considered risk value (0.10) showed that wheat yield in 2015-2045 and 2070-2100 was decreased about 4 and 15 percent, respectively. Four adaptation strategies were assessed (shifting in the planting date, changing the amount of nitrogenous fertilizer, irrigation

1-Assistant Professors, soil and Water Department, Agricultural Facualty, Shahrood University, Shahrood
(*- Corresponding Author Email: delghandi@gmail.com)
2-Professors, Water Sciences Engineering Facualty, Shahid Chamran University of Ahwaz
3-Assistant Professor and Lecuture, Khuzestan Agriculture and Natural Resources Resources Research Center (KANRC)
4 -Associate Professors, Department of Water Engineering, Tehran University

regime and breeding strategies) in response to climate change. Results indicated that Nov, 21 and Dec, 11 are the best planting dates for 2015-2045 and 2070-2100, respectively. The late season varieties with heat-tolerant characteristic had higher yield in comparison with short and normal season varieties. It indicated that breeding strategy was an appropriate adaptation under climate change. It was also found that the amount of nitrogen application will be reduced by 20 percent in future periods. The increase and decease of one irrigation application (40mm) to irrigation regime of base period resulted in maximum yield for 2015-2045 and 2070-2100, respectively. But, reduction of two irrigation application (80mm) resulted in maximum water productivity (WP_I).

Conclusions: In the present study, four adaptation strategies of wheat (shifting in the planting date, changing the amount of nitrogenous fertilizer, irrigation regime and breeding strategies) under climate change in Ahvaz region were investigated. Result showed that Nov, 21 and Dec, 11 were the best planting dates for 2015-2045 and 2070-2100, respectively. The late season varieties with heat-tolerant characteristic had higher yield in comparison with short and normal season varieties. It indicated that breeding strategy was an appropriate adaptation strategy under climate change. It was also found that the amount of nitrogen application will be reduced by 20 percent in future periods. The increase and decease of one irrigation application (40mm) to irrigation regime of base period resulted in maximum yield for 2015-2045 and 2070-2100, respectively.

Keywords: Climate Change, Wheat, Adaptation Strategies, Crop Model, Scenario