نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم، شماره ۳۸، پاییز۹۴

شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی گیاه برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری درمنطقه خزری: ایستگاه رشت

دریافت مقاله:۹۴/۲/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۴/۸/۶
صفحات:۲۰۵-۱۸۷

حسین محمدی: استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران[۱]
Email: hmmohammadi@yahoo.com
فاطمه ربانی: دانش آموخته دکتری اقلیم شناسی از دانشگاه تهران
Email*: rabbani۸۰sep@yahoo.com
داریوش مظاهری: استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران
Email: dmazaher@ut.ac.ir

چکیده

تغییر اقلیم اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر تولید محصول و امنیت غذایی دارد. هدف این بررسی، شبیه‌سازی اثرتغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی برنج درمدیریت‌های مختلف آبیاری در منطقه خزری است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی، خاک شناسی و مدیریت محصول می‌باشد. داده‌های هواشناسی شامل داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش ایستگاه رشت برای دوره آماری ۲۰۱۰- ۱۹۸۰و داده‌های ماهانه دما و بارش مربوط به ۶ مدل گردش عمومی جو برای دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه جهت بررسی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو است. داده‌های خاک و داده‌های مدیریت محصول از آزمایش مزرعه‌ای سال ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ برداشت شده‌اند. چشم‌انداز اقلیم آینده براساس مدل MPEH۵ و تحت سناریوهای SRA۱B،SRA۲وSRB۱ برای دوره‌های۲۰۳۲-۲۰۱۱مشخص گردید. نتایج چشم انداز اقلیم آینده نشان داد که میانگین دما افزایش و مجموع بارش کاهش خواهد یافت. اثر تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی برنج با مدل زراعی CERES-Rice در سه رژیم غرقاب دائم، آبیاری با فاصله ۵ روز و ۸ روز شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان داد که زمان آغاز خوشه‌دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک با افزایش دما کاهش خواهد یافت. همچنین بررسی مراحل فنولوژی برنج در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش بیش از یک درجه دمای هوا، آغاز خوشه دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک در شرایطی که نیاز آبی گیاه تأمین باشد (غرقاب دائم) با تأخیر همراه خواهد بود.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، فنولوژی برنج، منطقه خزری، مدل MPEH۵، مدل Ceres-Rice.

---

[۱].**نویسنده مسئول**:تهران- خ وصال- دانشکده جغرافیا- گروه جغرافیای طبیعی.

مقدمه

براساس مشاهدات هیأت بین الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، میانگین دمای جهان در قرن بیستم با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها برابر ۰/۲± ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, ۲۰۰۱: ۲). با اینکه افزایش ۰/۶ درجه سلسیوس در متوسط دمای جهانی از آغاز قرن بیستم به نظر کوچک می‌رسد، شواهد نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی هم اکنون بر انواع سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی تأثیر داشته‌اند (Barrie Pittock, ۲۰۰۹،۱۲). سرعت تغییر اقلیم به دلیل مداخله بشر در اکوسیستم طبیعی به گونه‌ای بوده است که بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کلیه فعالیت‌های بشری در محافل علمی از حساسیت خاصی برخوردار گردید.

در عصر حاضر تغییر اقلیم به عنوان مهمترین تهدید برای توسعه پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح است. از دیدگاه توسعه اقتصادی، نقش کشاورزی به دلیل کمک آن به پیشبرد جریان رشد و توسعه اقتصادی، تأمین غذا برای جمعیت رو به رشد، تولید ارز، اشتغال‌زایی و توسعه فعالیت‌های مربوط به تولید محصول حائز اهمیت است (کوپاهی، ۱۳۸۶: ۶۳). از طرفی، کشاورزی و تولید محصولات زراعی یکی از عوامل بسیار وابسته به شرایط آب و هوایی است. به طورکلی موجودات زنده و از جمله گیاهان در طی دوران طولانی با محیط خود سازگار شده و مراحل رشد و نمو خود را با این شرایط محیطی تطبیق داده‌اند. در این رابطه، هرگونه تغییر سریع در شرایط آب و هوایی باعث تغییرات قابل توجهی در الگوهای رشد و نمو این گیاهان شده و بسته به شدت تغییرات ممکن است باعث جابجایی مکانی و زمانی آنها و در نهایت حتی حذف آنها از سیستم کشاورزی یک منطقه خاص شود (Horie et al., ۲۰۰۰: ۸۴).

آثار تغییر اقلیم بر رشد و نمو و تولید محصولات زراعی چون گندم، ذرت و غیره توسط محققان مختلف بررسی شده است. این آثار بسته به نوع گیاه، مسیر فتوسنتزی آن و منطقه جغرافیایی مورد مطالعه متغیر بوده و اظهار نظر کلی در مورد پاسخ گونه‌های مختلف به تغییر اقلیم مستلزم انجام مطالعات موردی می‌باشد. کوچکی و همکاران (۱۳۸۰) به شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در مشهد پرداختند. در این بررسی از داده‌های هواشناسی مشهد، خروجی مدل سازمان هواشناسی انگلستان در سال ۱۴۰۰ و آزمایش مزرعه‌ای استفاده شده است. نتایج نشان داد که افزایش دما موجب ۲۶ روز کاهش در طول دوره رشد گندم خواهد شد و بیوماس و عملکرد گندم به ترتیب ۶ و ۳۰ درصد در شرایط اقلیمی سال ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت. آگاروال و مال (۲۰۰۲) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و رشد محصول برنج در مناطق مختلف آگروکلیمایی هندوستان را با استفاده از دو مدل شبیه‌سازی محصول (ORYZAIN وCERES-Rice) بررسی و مقایسه نمودند. تحقیق آنان نشان

داد که تغییر اقلیم در هر دو حالت اثر مثبتی بر محصول برنج خواهد داشت. همچنین افزایش دما موجب کاهش طول مدت گلدهی خواهد شد و تغییر دما قبل از گلدهی بر سایر فرایندهای فنولوژی اثر نداشته است. زانگ و تائو (۲۰۱۳) پاسخ فنولوژی برنج به تغییر اقلیم را با استفاده از پنج مدل زراعی در مناطق اقلیمی مختلف در چین مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها بعد از کالیبره شدن می‌توانند مراحل فنولوژیکی برنج را به خوبی شبیه‌سازی نمایند. همچنین تحت شرایط تغییر اقلیم طول فصل رشد برنج بین ۰/۴ تا ۵/۷ روز کاهش خواهد یافت اما در نواحی شمالی چین همراه با افزایش دما طول فصل رشد افزایش می‌یابد. آرتی رانی و ماراگاتام (۲۰۱۳) افزایش دما را بر فنولوژی گیاه برنج و درجه روز رشد تجمعی تحت شرایط کنترل شده بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زمان بلوغ گیاه با ۴ درجه سانتیگراد افزایش دما، ۹۶ روز و در ۲ درجه افزایش دما، ۱۰۲ روز طول خواهد کشید. همچنین با افزایش دما درجه روز رشد و عملکرد محصول برنج کاهش خواهد یافت. دوکوتا و همکاران (۲۰۱۳) اثر تغییر اقلیم را بر فنولوژی و عملکرد گیاه برنج در نواحی مرکزی آسیا با استفاده از مدل زراعی ORYZA۲۰۰۰ و آزمایش مزرعه‌ای در فصل رشد برنج در ازبکستان شبیه‌سازی کردند. دما و غلظت دی اکسید کربن براساس سناریوهای B۱ و A۱F۱ برای دوره ۶۹-۲۰۴۰ مشخص گردید. نتایج نشان داد که تاریخ جوانه زنی در ارقام مورد بررسی به مدت ۱۰ روز تأخیر داشته است که موجب کاهش عملکرد برنج می شود.

در ایران براساس نتایج طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایش دما مشاهده شده است (رحیم زاده و عسگری، ۱۳۸۳: ۱۶۸). همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی جو نشان می‌دهد که در شرایط دو برابر شدن گاز دی اکسیدکربن این افزایش در شمال و غرب ایران بیش از شرق و جنوب خواهد بود (کوچکی و همکاران،۱۳۸۲: ۱۸۷). در منطقه خزری بررسی تغییرات دما نشان داده که روندها در برخی ایستگاه‌ها افزایشی و در برخی ایستگاه‌ها کاهشی بوده است (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۲۶). دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در مورد پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای آن در ایران، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات می‌باشد (کوچکی و نصیری محلاتی ،۱۳۸۷: ۱۴۰). با این حال در ایران مطالعات اندکی در مورد اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی صورت گرفته است.

فنولوژی و طول دوره رشد گیاه برنج از عوامل عمده تعیین کننده تناسب زراعی و اکولوژیک ارقام برنج در منطقه مورد کشت می‌باشد. پیش‌بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاهان زراعی برای بهینه‌سازی فعالیت‌های مدیریتی در مزرعه و سازگاری بهتر تقویم زراعی با سیستم‌های

اگرواکولوژیک خاص، بسیار مهم می‌باشد (امیری لاریجانی و همکاران،۱۳۹۰: ۴۶۷). استان‌های شمالی ایران (گیلان، مازندران و گلستان) با در اختیار داشتن ۷۸/۲ درصد از سطح زیرکشت برنج کشور از مهمترین نواحی کشت برنج محسوب می‌شوند (آمارنامه کشاورزی،۱۳۸۹: ۳۶). علاوه بر این، افزایش سطح زیر کشت اراضی شالیزاری در کشور به دلیل عدم تأمین آب کافی دچار محدودیت است و افزایش تولید و عملکرد برنج در گرو عوامل مختلفی است که مهمترین آن شرایط مساعد جوی است. این امر با توجه به اینکه میزان مصرف سرانه برنج در ایران زیاد بوده و غذای اصلی مردم را تشکیل می‌دهد ضرورت بررسی اثر تغییر اقلیم آینده را بر مراحل رشد و عملکرد محصول برنج ضروری می‌سازد.

روش تحقیق

در بررسی حاضر، جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر محصول زراعی برنج، ایستگاه رشت به عنوان منطقه‌ای با آمار هواشناسی ۵۷ ساله و سابقه طولانی کشت برنج در منطقه خزری انتخاب گردید. میانگین دمای بیشینه ۱۱ تا ۳۰ درجه و دمای کمینه بین ۶ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مجموع بارش سالانه در رشت ۱۳۳۱/۵ میلیمتر است که حداکثر بارش در فصل پاییز رخ می‌دهد. داده‌های مورد نیاز جهت انجام این بررسی شامل داده‌های هواشناسی، خاک‌شناسی و مدیریت محصول می‌باشند. داده‌های هواشناسی جهت چشم انداز اقلیم آینده از سازمان هواشناسی کشور و مرکز تغییر اقلیم کانادا[1] استخراج شده‌اند که شامل داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش ایستگاه رشت برای دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ و داده‌های ماهانه دما و بارش مربوط به ۶ مدل گردش عمومی جو برای دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه جهت بررسی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. داده‌های خاک و داده‌های مدیریت محصول براساس آزمایش مزرعه‌ای انجام شده در مرکز تحقیقات برنج رشت در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ میلادی در طول فصل رشد برنج (آوریل تا آگوست) به دست آمده است. داده‌های خاک شامل طبقه‌بندی خاک، نگهداشت آب خاک، کربن آلی، ضریب زهکشی، اسیدیته و عامل رشد ریشه است. مقادیر آب خاک، نیترات، آمونیوم و باقیمانده‌های محصول قبلی نیز مورد نیاز است. داده‌های مدیریت محصول شامل تاریخ کشت، عمق کشت، فاصله ردیف‌ها، جمعیت گیاه، کود دادن، آبیاری، کشت و زرع و تاریخ برداشت می باشد.

[1]- CCCSN

چشم انداز اقلیم آینده

در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی جهت شناخت تغییرات آب و هوا و پیامدهای آن در دهه‌ها و قرن‌های بعد مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، به منظور چشم انداز اقلیم آینده در منطقه مورد مطالعه از مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی استفاده گردید. از آنجائی‌که مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند لازم است تا عملکرد مدل‌های گردش عمومی در چشم انداز اقلیم آینده منطقه مورد مطالعه ارزیابی گردد. در این مطالعه، جهت بررسی عدم قطعیت مدل‌های مختلف، از تابع توزیع احتمال استفاده گردید. برای ایجاد توزیع احتمال از روش میانگین دما و بارش مشاهده شده (MOTP) استفاده گردید (مساح بوانی و مرید،۱۳۸۴: ۴۳). در این روش هر یک از مدل‌ها براساس مقدار انحراف میانگین دما و بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی طبق رابطه (۱) وزن‌دهی می‌شوند:

رابطه (۱)

$$W_i = \frac{1/\Delta T_i}{\sum_{i=1}^{N} 1/\Delta T_i}$$

که در آن، Wi وزن هر مدل در دوره مورد نظر، i ΔT انحراف میانگین طولانی مدت پارامتر اقلیمی شبیه سازی شده توسط هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد مدل‌های گردش عمومی می باشد. در حقیقت براساس این روش، مدلی که بیشترین وزن را در شبیه‌سازی میانگین بلند مدت پارامترهای اقلیمی در دوره پایه داشته باشد انتظار می‌رود در مدل‌سازی آینده هم کم و بیش همان وزن را داشته باشد. در گزارش چهارم هیأت بین الدول تغییر اقلیم، ۶ مدل MPEH۵، HadCM۳، IPCM۴، GFDL۲، INCM۳ و NCCCSM اقلیم آینده را براساس هر سه سناریوی SRA۱B، SRA۲ و SRB۱ پیش‌بینی داده‌اند که در این بررسی وزن این مدل‌ها در چشم انداز دما و بارش ایستگاه رشت محاسبه شده است.

برای فائق آمدن به نقیصهٔ تفکیک فضایی کم در مدل‌های گردش عمومی جو از تکنیک ریزگردانی آماری برای تبدیل خروجی مدل‌های گردش عمومی به متغیرهایی در مقیاس محلی استفاده گردید. تکنیک‌های ریزگردانی آماری برونداد گردش عمومی جو عبارتند از: روش‌های مبتنی بر الگوی آب و هوا، روش‌های تصادفی و روش‌های وایازی. روش مولد تصادفی داده‌های آب و هوایی[۱] برای ریزگردانی امتیاز بیشتری دارد. این روش سری‌های طولانی مدت را تولید

[۱]. Weather Generator

می‌کند و عدم قطعیت نوسانات اقلیمی را کاهش می‌دهد (Khazaei, et al., ۲۰۱۱: ۱۹۹۸). در این روش علاوه بر تغییر در میانگین، تغییر در نوسانات نیز نشان داده می‌شود (Prudhomme, et al., ۲۰۰۲, ۱۱۳۸). در این بررسی از مدل مولد داده‌های آب و هوایی لارس- دبلیوجی[۱] برای ریزگردانی آماری استفاده شده است. از این رو، ابتدا توانایی مدل ریزگردانی لارس در تولید داده‌های آب و هوایی ایستگاه رشت با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی و سپس داده-های اقلیمی آینده ایستگاه رشت تحت سه سناریوی SRA۱B، SRB۱ و SRA۲ برای دوره آماری ۲۰۳۲- ۲۰۱۱ تولید شدند. این سناریوها براساس گزارش چهارم هیأت بین الدول تغییر اقلیم به شرح زیر تعریف شده اند:

سناریوی SRA۱B با تأکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی، گویای جهانی است که در آن رشد اقتصاد و تکنولوژی سریع می‌باشد. براساس این سناریو غلظت $CO_۲$ حدود ۱۵ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۱/۷ تا ۶/۴ درجه سسلسیوس افزایش خواهد یافت. سناریوی SRA۲ گویای جهانی نامتجانس است که در آن جمعیت جهان پیوسته در حال افزایش و رشد منطقه‌ای اقتصاد آهسته و منطقه محور می‌باشد. براساس این سناریو غلظت $CO_۲$ حدود ۳۰ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. سناریوی SRB۱ بر رشد سریع اقتصاد همرا با ارائه خدمات، استفاده از منابع پاک، فناوری‌های نوین و کاهش مواد آلاینده تأکید دارد. براساس این سناریو غلظت CO۲ تغییر چندانی نداشته و دما بین ۱/۱ تا ۲/۹ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (IPCC,۲۰۰۷).

آزمایش مزرعه ای

این آزمایش در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در مرکز تحقیقات برنج رشت با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی در ارتفاع ۷ متر پایین‌تر از سطح دریا و در فصل کشت برنج انجام شده است. رقم محصول در این بررسی رقم هاشمی می‌باشد که از ارقام عمده و پرمحصول برنج در شمال ایران است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متر و با فاصله ۱۰ سانتی‌متر تعیین شده است (جدول ۱). این آزمایش در کرت‌های جداگانه همراه با سه رژیم آبیاری (غرقاب دائم، آبیاری با تناوب ۵ روز و تناوب ۸ روز) و ۴ سطح نیتروژن (۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و سه بار تکرار انجام پذیرفت. آزمایش در کرت‌هایی به ابعاد ۳ × ۵ متر با فاصله ۲۵ سانتی متر انجام

[۱]-LARS-WG

شده است. بذرپاشی در خزانه در اواخر فروردین انجام شد و نشاها پس از ۴-۳ برگی شدن در اواخر اردیبهشت به زمین اصلی منتقل شدند. محصول برنج در اواخر مرداد برداشت شد.

جدول (۱). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

ویژگی های خاک	عمق (سانتی متر)			
	۰ -۱۰	۱۰ -۲۰	۲۰ -۳۰	۳۰ -۴۰
رس (درصد)	۴۷	۴۴	۴۷	۴۷
شن (درصد)	۱۴	۱۷	۹	۱۱
لوم (درصد)	۳۹	۳۹	۴۴	۴۲
وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۱۰	۱/۲۰	۱/۳۲	۱/۳۱
مقدار آب موجود در لایه خاک در اشباع (cm^3/cm^3)	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰
مقدار آب در ظرفیت زراعی (cm^3/cm^3)	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۲
مقدار آب در پژمردگی دایم (PWP) (cm^3/cm^3)	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
کربن آلی (درصد)	۱/۷۲	۱/۵۴	۱/۲۵	۰/۷۶
پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۹۵	۱۷۶	۱۸۵	۱۶۱
فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۰/۱	۷/۳	۵/۲	۳/۲

مدل زراعی DSSAT

مدل DSSAT[۱] در مرکز بین المللی تبادل اطلاعات تکنولوژی کشاورزی[۲] برای کمک به کاربرد مدل‌های محصول با رویکرد سیستمی برای تحقیقات کشاورزی توسعه یافته است. این مدل شامل مجموعه برنامه‌هایی است که با هم عمل می‌کنند و شامل چند زیر مدل محصول با پیشوند (CERES) می‌باشد (Jones et al., ۲۰۰۳:۲۳۶). مدل‌های این مرکز برای شبیه‌سازی پاسخ محصول به تغییر اقلیم در بسیاری از مناطق اقلیمی جهان به کار برده شده‌اند. جهت شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد برنج در این مطالعه از مدل زراعی برنج (CERES-Rice) استفاده گردید. این مدل فنولوژی، رشد برگ، شاخه و ریشه‌ها، مجموع زیست توده، تعادل آب خاک و میزان استفاده آب محصول و تغییر نیتروژن خاک را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند (Saseendran et al., ۲۰۰۰:۴۹۸). مدل CERES-Rice جهت تخمین عملکرد برنج تغذیه با باران و آبیاری شده، تعیین طول دوره رشد، تولید ماده خشک و فعالیت‌های سیستم

[۱]- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
[۲]-IBSNAT

ریشه، تاثیر آب و نیتروژن خاک بر فتوسنتز و موازنه کربن و آب به کار می‌رود. جهت تخمین این فاکتورها مدل نیاز به مجموعه کافی از داده‌های ورودی دارد (Mahmood, ۱۹۹۸: ۲۰۴).

واسنجی و اعتبارسنجی مدل زراعی

در مطالعه حاضر، مدل زراعی برنج (CERES-Rice) با استفاده از داده‌های به دست آمده از مزرعه آزمایشی سال ۲۰۰۶ واسنجی و براساس سال ۲۰۰۷ اعتبار سنجی شده است. واسنجی عبارت است از فرایند تنظیم و تطبیق برخی پارامترهای مدل با شرایط محلی و به دست آوردن ضرایب ژنتیکی برای ارقام جدید مورد مطالعه. تعیین ضرایب ژنتیکی برای ارقام جدید با استفاده بخش Gencal نرم افزار DSSAT انجام پذیرفت.این برنامه ضرایب ژنتیکی را با اجراهای مکرر مدل محصول همراه با مقادیر نزدیک به ضرایب مربوطه تخمین میزند. در این مرحله داده‌های فنولوژیکی محصول، شامل بلوغ فیزیولوژیکی، فتوسنتز گیاه، عملکرد و اجزاء عملکرد مورد نیاز است. شبیه‌سازی مدت زمان هر مرحله فنولوژیکی استفاده از مفهوم زمان حرارتی یا درجه روز و فتوپریود را به دنبال دارد. جدول شماره (۲) نتایج واسنجی مدل CERES-Rice براساس آزمایشات مزرعه‌ای سال ۲۰۰۶ برای رقم هاشمی را نشان می‌دهد.

جدول (۲). ضرایب ژنتیکی محاسبه شده با برنامه Gencal برای رقم برنج هاشمی

پارامترهای ژنتیکی	تعریف	ضریب
P۱(°C day)	دوره زمانی از ظهور گیاهچه تا پایان مرحله جوانی براساس درجه روز رشد که دمای پایه ۹ درجه سانتیگراد است.	۳۱۰
P۲R(days)	میزان تأخیر در نمو گیاه برای هر افزایش در فتوپریود بالای P۲۰	۲۰
P۵ (°C day)	طول دوره از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیکی	۳۵۰
P۲۰	بلندترین طول روز که بیشتر از آن رشد گیاه کم می‌شود.	۱۳/۵
G۱	تعداد خوشه بالقوه در هرگرم از وزن ساقه اصلی	۵۵
G۲	وزن دانه تحت شرایط رشد ایده آل	۰/۰۲۵
G۳(mg day^{-1})	ضریب پنجه زنی	۱
G۴	ضریب تحمل دما	۱

جهت اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی مدل CERES-Rice از روش‌های آماری استفاده گردید. روش‌های آماری جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل شامل آزمون T جفتی (رابطه ۱)، جذر

میانگین مربعات خطای مطلق (رابطه ۲) و ضریب تعیین (r^2) می‌باشد. اگر مقدار آزمون T بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان معنی است که مقادیر شبیه سازی شده در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه مقادیر اندازه گیری شده است.

رابطه (۱)

$$\bar{\Delta}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i=\bar{x}_1-\bar{x}_2 \quad (1)$$

$$t=\frac{\bar{\Delta}-\mu_\Delta}{\left(s_\Delta^2/n\right)^{1/2}}$$

که$\bar{\Delta}$= میانگین اختلاف نمونه‌ها، t= آماره آزمون، s_Δ^2= واریانس اختلاف نمونه‌ها است (Wilks, ۲۰۰۶: ۱۴۲).

رابطه (۲) $$RMSE_a = [1/n\ \Sigma(Yi - Xi)^2]^{0.5}$$

که در آن Yi= مقدار شبیه سازی شده، Xi= مقدار اندازگیری شده، n= تعداد اندازگیری می‌باشد. ریشه میانگین مربع خطاها روش آماری شناخته شده برای آزمون نکوئی برازش مدل-های شبیه‌سازی می‌باشد (Bouman and Van Laar, ۲۰۰۶: ۱۴). ضریب تعیین (R^2) همانند ضریب همبستگی، نشان می‌دهد که نقاط تا چه اندازه در اطراف خط مستقر شده و برازش یافته‌اند. ارقام نزدیک به یک مشخص می‌کنند که نقاط نمونه نزدیک به خط مستقیم واقع شده‌اند (خورشید دوست و بیورانی، ۱۳۹۰: ۱۸۸).

شبیه سازی فنولوژی برنج

مرحله نمو هر گیاه نشان‌دهنده سن فیزیولوژیک آن گیاه می‌باشد که با تشکیل و ظهور اندام-های مختلف مشخص می‌شود. مهمترین تغییر فنولوژیکی گیاه عبور از مرحله رویشی به زایشی است که موجب تغییر در جابجایی ماده خشک در اندام‌های گیاه می‌شود. مراحل اصلی نمو گیاه برنج شامل ظهور گیاهچه، آغاز خوشه اولیه، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک می‌باشد (امیری لاریجانی و همکاران،۱۳۹۰: ۴۶۸) در این مطالعه، زمان آغاز خوشه‌دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک گیاه برنج در سه رژیم آبیاری برای دوره ۲۰۳۲- ۲۰۱۱ شبیه‌سازی گردید. میانگین دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش و بارش در ایستگاه رشت براساس پیش‌بینی مدل جفت شده جوی - اقیانوسی MPEH۵ برای دوره آماری ۲۰۳۲- ۲۰۱۱ به عنوان داده‌های هواشناسی در مدل زراعی برنج وارد و با استفاده از بخش WeatherMan به فرمتی قابل استفاده

در مدل زراعی تبدیل شدند. پس از مشخص کردن اطلاعات خاک و مدیریت محصول به دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای، مدل برای دوره آماری ۲۰۳۲-۲۰۱۱ اجرا گردید.

نتایج

ارزیابی مدل های گردش عمومی جو

جدول (۳) نتایج بررسی وزن ۶ مدل گردش عمومی جو در شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه رشت را با روش میانگین دما و بارش مشاهده شده (MOTP) نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه رشت، مدل MPEH۵ بیشترین وزن را در شبیه‌سازی دما و بارش دارد. در حالیکه شاخص‌های عملکرد توانایی کمتر سایر مدل‌ها را در شبیه‌سازی دما و بارش منطقه نشان می‌دهند. از این رو با توجه به اصل عدم قطعیت، به دلیل پایین بودن عملکرد سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش جهت کاهش خطای شبیه‌سازی از کاربرد آن‌ها در شبیه‌سازی اقلیم آینده صرف‌نظر شده است. مدل MPEH۵ در مرکز هواشناسی ماکس- پلانک آلمان تولید شده است. در این مرکز تغییر اقلیم با ترکیب مدل‌های سیستم زمین، جو و اقیانوس مدل‌سازی می‌شود. قدرت تفکیک این مدل ۱/۹ ×۱/۹ درجه می‌باشد.

جدول (۳). درصد وزن مدل‌های گردش عمومی در شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه رشت با روشMOTP

مدل‌های گردش عمومی	MPEH۵	HadCM۳	IPCM۴	GFDL۲	INCM۳	NCCCSM
دما	۳۰/۱۴	۱۳/۳۲	۱۸/۲۳	۸/۵۲	۱۲/۴۱	۱۷/۳۸
بارش	۱۷/۱	۱۵/۵۵	۱۵/۷۷	۱۷/۹۸	۱۸/۱۵	۱۵/۴۹
میانگین وزن مدل	۲۳/۶	۱۴/۴۴	۱۷	۱۳/۲۵	۱۳/۹	۱۷/۷

اعتبارسنجی مدل مولد داده های اقلیمی لارس- دبلیوجی

به منظور ارزیابی توانایی مدل لارس- دبلیوجی در شبیه‌سازی اقلیم آینده، آزمون‌های آماری اجرا شده توسط مدل مورد بررسی قرار گرفتند. آزمون کلموگراف- سمیرنوف (K-S) جهت سنجش یکسانی توزیع فصلی سری‌های خشک و تر و توزیع بارش روزانه، آزمون T جفتی جهت تست همانندی برای میانگین بارش ماهانه و میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه روزانه و آزمون F جهت ارزیابی واریانس ماهانه بارش اجرا شده است. جدول شماره (۴) نتایج آزمون-های کلموگراف- سمیرنوف، T و F را در ایستگاه رشت برای هر فصل نشان می‌دهد. اگر مقدار

P-value کمتراز سطح معناداری (۰/۰۵) باشد فرض صفر مبنی بر اینکه داده شبیه‌سازی شده همانند داده واقعی می‌باشد، رد می‌شود.

جدول (۴). ارزیابی مدل ریزگردانی لارس- دبلیوجی در شبیه سازی بارش و دمای روزانه و ماهانه ایستگاه رشت

پارامتر اقلیمی	سری تر و خشک	توزیع بارش روزانه	میانگین بارش ماهانه	واریانس بارش ماهانه	میانگین ماهانه دمای حداقل روزانه	میانگین ماهانه دمای حداکثر روزانه
آزمون آماری	K-S	K-S	T-test	F-test	T-test	T-test
زمستان	۰/۷۹	۱	۰/۵	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۳۴
بهار	۱	۰/۸۹	۰/۶	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۶۳
پاییز	۱	۱	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۴۵	۰/۵۵
تابستان	۱	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۲	۰/۶۲	۰/۷۴

چشم انداز دما و بارش در فصل رشد برنج

جدول‌های (۵)، (۶) و (۷)، چشم‌انداز دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش فصل رشد محصول برنج را براساس مدل MPEH۵ تحت سه سناریوی SRA۱B، SRA۲ وSRB۱ نسبت به میانگین دما و بارش دوره مشاهداتی نشان می‌دهد. در دوره آماری (۲۰۳۲-۲۰۱۱) افزایش دمای کمینه نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰- ۱۹۸۱) براساس سناریوی SRA۱B، ۲/۱ درجه، براساس سناریو SRA۲، ۰/۶۴ درجه و براساس سناریو SRB۱، ۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. همچنین در این دوره دمای بیشینه نسبت به دوره مشاهداتی براساس سناریوی SRA۱B، ۲ درجه، براساس سناریو SRA۲، ۰/۶۸ درجه و براساس سناریو SRB۱، ۰/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. درخصوص میانگین مجموع بارش در طول فصل رشد برنج، هر سه سناریو مقدار بارش را کمتر از میانگین دوره مشاهداتی پیش‌بینی کرده‌اند. سناریو SRA۱B مقدار کاهش بارش را ۱۴/۸ میلیمتر، سناریو SRA۲ مقدار کاهش را ۶/۹ میلیمتر و سناریو SRB۱ مقدار کاهش را ۹/۸ میلیمتر نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد.

جدول (۵). چشم انداز دمای کمینه در ایستگاه رشت براساس مدل MPEH۵

ماه	میانگین دمای کمینه دوره مشاهداتی (سانتیگراد)	میانگین دمای کمینه دوره ۲۰۳۲-۲۰۱۱		
	(۲۰۱۰- ۱۹۸۱)	SRA۱B	SRA۲	SRB۱
آوریل	۱۰/۱	۱۲/۴	۱۱/۲	۱۱/۱
مه	۱۵	۱۷/۱	۱۵/۶	۱۵/۸
ژوئن	۱۹/۲۵	۲۱	۱۹/۷	۱۹/۸
ژوئیه	۲۱/۳	۲۳/۶	۲۲/۱	۲۲/۵
اوت	۲۱/۴	۲۳/۳	۲۱/۶	۲۲
میانگین	۱۷/۴	۱۹/۴۸	۱۸/۰۴	۱۸/۲۴

جدول (۶). چشم انداز دمای بیشینه در ایستگاه رشت براساس مدل MPEH۵

ماه	میانگین دمای بیشینه دوره مشاهداتی (سانتیگراد)	میانگین دمای بیشینه دوره ۲۰۳۲-۲۰۱۱		
	(۲۰۱۰- ۱۹۸۱)	SRA۱B	SRA۲	SRB۱
آوریل	۱۹/۱	۲۱/۵	۲۰/۱	۲۰/۱
مه	۲۳/۷	۲۵/۸	۲۴/۵	۲۴/۷
ژوئن	۲۸/۱	۲۹/۷	۲۸/۴	۲۸/۷
ژوئیه	۳۰/۴	۳۲/۳	۳۰/۹	۳۱/۲
اوت	۳۰/۳	۳۲/۵	۳۰/۹	۳۱/۳
میانگین	۲۶/۳	۲۸/۳۶	۲۶/۹۸	۲۷/۲

جدول (۷). چشم انداز مجموع بارش در ایستگاه رشت براساس مدل MPEH۵

ماه	میانگین مجموع بارش دوره مشاهداتی (میلیمتر)	میانگین بارش دوره ۲۰۳۲-۲۰۱۱		
	(۲۰۱۰- ۱۹۸۱)	SRA۱B	SRA۲	SRB۱
آوریل	۶۶/۱۴	۴۱/۴۴	۶۴/۳۴	۵۳/۵۴
مه	۴۸/۵	۳۶/۳	۳۴/۱	۳۸/۵
ژوئن	۴۰/۱۵	۳۸/۶۵	۳۸/۵۵	۳۲/۰۵
ژوئیه	۳۹/۶	۳۲/۴	۳۸/۱	۳۷

اوت	۷۰/۱	۴۱/۲	۵۴/۵	۵۳/۸
میانگین	۵۲/۸	۳۷/۹۹	۴۵/۹	۴۲/۹۷

ارزیابی مدل زراعی

جدول‌های (۸) و (۹) تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده مراحل فنولوژیک رشد برنج و ارزیابی نتایج شبیه‌سازی را در سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی مدل زراعی نشان می‌دهد که مدل برآورد مناسبی برای پیش‌بینی آغاز خوشه دهی[۱]، گلدهی[۲] و بلوغ فیزیولوژیک[۳] محصول برنج دارد. بنابراین ارتباط نزدیکی بین مقادیر اندازگیری شده و شبیه-سازی شده وجود دارد. مقدار P-value در سطح ۹۵ درصد و ضریب تعیین نشان‌دهنده این است که مدل به خوبی می‌تواند شبیه‌سازی را انجام دهد.

جدول (۸). مقایسه مقادیر شبیه سازی و اندازگیری شده فنولوژی برنج در مدل CERES-Rice

رژیم آبیاری	خوشه دهی (روز)		گلدهی (روز)		بلوغ فیزیولوژیک (روز)	
	میانگین مشاهده شده	میانگین شبیه‌سازی شده	میانگین مشاهده شده	میانگین شبیه‌سازی شده	میانگین مشاهده شده	میانگین شبیه‌سازی شده
غرقاب دائم	۲۴	۲۶	۵۵/۷	۵۸	۸۴	۸۵/۸
آبیاری با فاصله ۵ روز	۲۶	۲۷	۵۷	۵۹	۸۵	۸۶
آبیاری با فاصله ۸ روز	۲۶	۲۷	۵۷	۵۹	۸۵	۸۶

جدول (۹). رزیابی نتایج شبیه سازی مراحل فنولوژیک برنج با استفاده از آزمون های آماری

مراحل فنولوژیک	تعداد داده‌ها	P(t)	RMSE	ضریب تعیین
آغاز خوشه اولیه	۱۲	۰/۰۷	۱/۴	۰/۹۸
زمان گلدهی	۱۲	۰/۰۷	۱	۰/۸۲
رسیدگی فیزیولوژیک	۱۲	۰/۰۶	۲/۵	۰/۸

[۱]- Panicle initiation
[۲]- Anthesis day
[۳]- Physiological maturity

اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی گیاه برنج

جدول (۱۰) نتایج ارتباط خطی و همبستگی میان افزایش میانگین دما در ایستگاه رشت را با مراحل فنولوژیک رقم برنج هاشمی تحت سه سناریو SRA۱B، SRA۲ و SRB۱ در دوره‌های (۲۰۳۲- ۲۰۱۱) نشان می‌دهد. مقادیر منفی شیب خط (a) و ضریب همبستگی (R) نشان می-دهد که با افزایش میانگین دمای هوا، زمان آغاز خوشه‌دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک گیاه برنج در آینده کاهش خواهد یافت. بررسی مقدار شیب خط و ضریب همبستگی در رژیم‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد که به طور میانگین با افزایش دمای هوا، زمان آغاز مراحل فنولوژیک گیاه برنج در غرقاب دائم کاهش بیشتری را نسبت به رژیم آبیاری با فاصله ۵ و ۸ روز نشان می‌دهد. به عبارتی با افزایش فاصله زمان آبیاری زمان آغاز نمو فنولوژیک دیرتر خواهد شد و افزایش فاصله آبیاری، اثر افزایش دما بر کاهش زمان آغاز مراحل فنولوژیک را تقلیل خواهد داد. مقدار شیب خط و ضریب همبستگی در مرحله بلوغ فیزیولوژیک برنج هاشمی، یک مرتبه در آبیاری با فاصله ۵ روز در سناریو SRB۱ و دو مرتبه در آبیاری با فاصله ۸ روز در سناریوهای SRA۱B و SRB۱ با مقداری نزدیک به صفر، مثبت شده است.

جدول (۱۰). بررسی ارتباط دمای هوا با مراحل فنولوژیک گیاه برنج در دوره آماری (۲۰۳۲-۲۰۱۱)

رژیم آبیاری	سناریو	خوشه دهی			گلدهی			بلوغ فیزیولوژیک		
		a	b	R	a	b	R	a	b	R
غرقاب دائم	SRA۱B	-۲/۷	۷۵/۵	-۰/۴۵	-۳	۱۱۳	-۰/۴۶	-۱/۷	۱۱۶	-۰/۳
	SRA۲	-۳	۷۶/۷	-۰/۴۸	-۳/۶	۱۱۸/۷	-۰/۵۵	-۲/۲	۱۲۲/۸	-۰/۳۶
	SRB۱	-۰/۹	۴۱/۱	-۰/۰۷	-۲/۹	۱۰۷/۵	-۰/۴۳	-۰/۶۵	۹۵/۵	-۰/۰۷
آبیاری با فاصله ۵ روز	SRA۱B	-۲/۳	۶۹/۴	-۰/۴۱	-۲/۷	۱۰۷	-۰/۴۲	-۰/۷	۹۸/۶	-۰/۱۲
	SRA۲	-۲/۴	۶۷/۵	-۰/۴۲	-۲/۸	۱۰۶/۱	-۰/۴۴	-۱/۱	۱۰۳/۹	-۰/۱۸
	SRB۱	-۰/۹	۴۲/۳	-۰/۱۶	-۲/۳	۹۶/۵	-۰/۲۹	۰/۲۹	۷۹/۸	۰/۰۴
آبیاری با فاصله ۸ روز	SRA۱B	-۲/۸	۷۸/۹	-۰/۵۱	-۱/۳	۸۳/۴	-۰/۰۱	۰/۲	۸۲	۰/۰۱
	SRA۲	-۲/۹	۷۶/۷	-۰/۵	-۳	۱۱۰/۵	-۰/۲۱	-۱/۱	۱۰۵/۴	-۰/۰۸
	SRB۱	-۰/۶	۳۶	-۰/۱۲	-۲/۱	۹۴/۵	-۰/۱۱	۰/۱	۸۶/۱	۰/۰۱

جدول (۱۱) نتایج شبیه‌سازی زمان آغاز خوشه‌دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک برنج هاشمی را تحت سه سناریو SRA۱B، SRA۲ و SRB۱ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در شرایط اقلیم آینده، زمان آغاز خوشه‌دهی در غرقاب دائم ۰/۳ تا ۰/۵ روز، در آبیاری با فاصله ۵ روز، ۰/۹ تا ۱/۳ روز و در آبیاری با فاصله ۸ روز، ۱/۱ تا ۱/۴ روز کاهش می‌یابد. زمان گلدهی در غرقاب دائم، ۰/۳ تا ۱ روز، در آبیاری با فاصله ۵ روز ۰/۸ تا ۱/۵ روز کاهش و در آبیاری با فاصله ۸ روز ۰/۲ تا ۰/۳ روز افزایش می‌یابد. زمان بلوغ فیزیولوژیک در غرقاب دائم ۰/۵ تا ۱/۲ روز، در آبیاری با فاصله ۵ روز ۰/۵ تا ۱/۲ روز کاهش و در آبیاری یا فاصله ۸ روز، ۰/۳ تا ۰/۶روز نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. به عبارتی با افزایش فاصله آبیاری و کمبود رطوبت، مراحل گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک با افزایش دما کاهش نیافته است.

جدول (۱۱). طول زمان مراحل نمو فنولوژیک گیاه برنج در دوره ۲۰۳۲- ۲۰۱۰

رژیم آبیاری	سناریو	خوشه دهی (روز)	گلدهی (روز)	بلوغ فیزیولوژیک (روز)
غرقاب دائم	SRA۱B	۲۵/۷	۵۷/۷	۸۵
	SRA۲	۲۵/۶	۵۷/۶	۸۵
	SRB۱	۲۵/۵	۵۷/۰۴	۸۴/۳
آبیاری با فاصله ۵ روز	SRA۱B	۲۶	۵۸/۱۴	۸۵/۴۶
	SRA۲	۲۶/۱	۵۸/۱۳	۸۵/۴۴
	SRB۱	۲۵/۷	۵۷/۵	۸۴/۸
آبیاری با فاصله ۸ روز	SRA۱B	۲۵/۹	۵۹/۳۲	۸۶/۶
	SRA۲	۲۵/۹	۵۹/۲۷	۸۶/۶۳
	SRB۱	۲۵/۶	۵۹/۲۶	۸۶/۳

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی گیاه برنج در فصل رشد محصول برای دوره آینده (۲۰۳۲- ۲۰۱۱) در ایستگاه رشت شبیه‌سازی گردید. چشم‌انداز اقلیم آینده منطقه با مدل MPEH۵ نشان داد که میانگین دما در ایستگاه رشت در سناریوی SRA۱B نسبت به دوره کنونی ۲/۱ درجه، براساس سناریوی SRA۲، ۰/۷ درجه و براساس سناریوی SRB۱، ۰/۹ درجه

سلسیوس افزایش خواهد یافت. همچنین میانگین مجموع بارش تحت سناریوهای ذکر شده نسبت به دوره کنونی کاهشی بین ۷ تا ۱۴/۸ میلیمتر در فصل رشد برنج خواهد داشت.

نتایج بررسی افزایش میانگین دما با مراحل فنولوژیک گیاه برنج تحت سه سناریو در دوره آینده نشان می‌دهد که زمان آغاز خوشه‌دهی، گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک با افزایش دما در آینده زودتر خواهد بود. همچنین با افزایش فاصله زمان آبیاری، زمان آغاز خوشه دهی، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک افزایش خواهد یافت. در این مطالعه نیز فصل رشد برنج در ایستگاه رشت در هر سه رژیم آبیاری ۰/۳ تا ۲ روز کاهش یافته است که در غرقاب دائم کاهش طول فصل رشد نسبت به آبیاری با فاصله ۵ و ۸ روز بیشتر می‌باشد. این مسئله نیاز آبی گیاه در دمای بالاتر را نشان می‌دهد. همچنین افزایش دما در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که در دماهای بالاتر (افزایش بیش از یک درجه دمای هوا) زمان خوشه‌دهی، زمان گلدهی و بلوغ فیزیولوژیک حتی در شرایطی که نیاز آبی گیاه تأمین باشد (غرقاب دائم) با تأخیر همراه خواهد بود. بررسی‌های انجام شده در ارتباط با اثر تغییر اقلیم بر محصول برنج در هندوستان توسط آگروال و مال در سال ۲۰۰۲ نیز نشان داد که افزایش دما موجب کاهش طول مدت گلدهی خواهد شد و تغییر دما قبل از گلدهی بر سایر فرایندهای فنولوژی اثر نداشته است. مدل‌سازی پاسخ فنولوژی برنج به تغییر اقلیم با استفاده از ۵ مدل زراعی در چین توسط زانگ و تائو در سال ۲۰۱۲ نیز نشان داد که فصل رشد برنج تحت سناریوهای تغییر اقلیم آینده حدود ۰/۴ تا ۵/۷ روز کاهش خواهد یافت. گوهری و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر ۴ نوع از غلات در حوضه زاینده رود نشان دادند که با افزایش دما و کاهش بارش دوره رشد محصول کاهش خواهد یافت.

مطالعه حاضر همانند بسیاری از مطالعات اثر تغییر اقلیم با توجه به سطح کشاورزی در زمان کنونی و بدون در نظر گرفتن توسعه تکنولوژی آینده در بخش کشاورزی انجام شده است. هم چنین در بررسی شرایط آینده سازگاری با تغییر اقلیم از طریق تغییر تاریخ کشت و تغییر واریته برای کاهش تنش گیاه در دماهای زیاد باید مد نظر قرار گیرد.

منابع و مأخذ

۱. امیری لاریجانی، بهمن، طهماسبی سروستانی، زین العابدین، نعمت‌زاده، قربانعلی، امیری، ابراهیم و اصفهانی، مسعود (۱۳۹۰) **شبیه سازی مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه با استفاده از مدل ORYAZ۲۰۰۰**، مجله علوم زراعی، جلد ۱۳، شماره۳، ۴۸۰-۴۶۶.

۲. رحیم زاده، فاطمه و عسگری، احمد (۱۳۸۳) **نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه روزی دما در کشور**، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، ۱۵۵-۱۷۱.

۳. خورشید دوست، محمد علی و بیورانی، حسین (۱۳۹۰) **آمار کاربردی برای پژوهشگران محیط زیست و زیست شناسی**، انتشارات دانشگاه تبریز.

۴. عزیزی، قاسم و روشنی، محمود (۱۳۸۷) **مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال**، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴، ۱۳-۲۸.

۵. کوپاهی، مجید (۱۳۸۶) **اصول اقتصاد کشاورزی**، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ صفحه.

۶. کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، سلطانی، افشین، شریفی، حمیدرضا، کمالی، غلامعلی و رضوانی مقدم، پرویز (۱۳۸۲) **شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی در شرایط دو برابر شدن غلظت به وسیله مدل‌های گردش عمومی**، بیابان، شماره ۲،۱۹۱-۱۷۸.

۷. کوچکی، علیرضا و نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۸۷) **تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری**، پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۶، شماره ۱، ۱۵۳-۱۳۹.

۸. کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، شریفی، حمیدرضا، زند، اسکندر و کمالی، غلامعلی (۱۳۸۰) **شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد**، بیابان، جلد ۶، شماره ۲، ۱۲۷-۱۱۷.

۹. وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۹) **آمارنامه کشاورزی (محصولات زراعی سال۹۰-۱۳۸۹)**، جلد اول، ۱۲۳ صفحه.

۱۰.مساح بوانی، علیرضا و مرید، سعید (۱۳۸۴) **اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولیدات محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱، شماره ۱: ۴۰-۴۷.

Aggarwal, P. K., & Mall, R. K. (۲۰۰۲). ***Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. II. effect of uncertaities in scenarios and crop models on impact Assessment***. Climatic Change, ۵۲, ۳۳۱–۳۴۳.

Arthi Rani, B., & Maragatham, N. (۲۰۱۳). ***Effect of elevated temperature on rice phenology and yield***, Indian journal of science and technology, Vol (۶): ۸, ۵۰۹۵-۵۰۹۷.

Barrie Pittock, A. (۲۰۰۹).***Climatic changes: turning up the heat***. CSIRO Publishing.

Bouman, B. A. M., & Van Laar, H. H. (۲۰۰۶). ***Description and evaluation of the rice growth model ORYZA۲۰۰۰ under nitrogen-limited conditions***. Agricultural Systems, ۸۷.۲۴۹–۲۷۳.

Devkota, K. P., Manschadi, A. M., Devkota, M., Lamers, J. P. A., Ruzibaev, E., Egamberdiev, O., Amiri, E., & Vlek, P. L. G. (۲۰۱۳). ***Simulating the impact of climate change on rice phenology and grain yield in irrigated drylands of central Asia. J. Appl. Meteor. Climatol***., ۵۲, ۲۰۳۳–۲۰۵۰.

Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D., & Madani, K. (۲۰۱۳). ***Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin***. Science of the Total Environment, ۴۴۲, ۴۰۵–۴۱۹.

Horie, T., Baskar, J.T., & Nakagawa, H. (۲۰۰۰).***Climate change and global crop productivity: crop ecosystem responses to climate***

change: Rice. In K.R. Reddy & Hodges, H.F. (Eds.), CABI Publishing (pp. ۸۱-۱۰۶), Wallingford, Oxon.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (۲۰۰۷). ***Impact, adaptation and vulnerability of climate change***. Contribution of working group II to the Fourth assessment report, Cambridge University Press, Cambridge, UK, ۹۷۶.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (۲۰۰۱). ***Climate change ۲۰۰۱: the scientific basis***. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report: Cambridge University Press, UK, ۹۴.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. & Ritchie, J.T. (۲۰۰۳). ***The DSSAT cropping system model***. European Journal Agronomy, ۱۸, ۲۳۵-۲۶۵.

Khazaei, M., Bagher Zahabiyoun, B., & Bahram Saghafian, B. (۲۰۱۱). ***Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model***. International Journal of Climatology, ۳۲, ۱۹۹۷-۲۰۰۶.

Mahmood, R., (۱۹۹۸) ***Air temperature variations and rice productivity in Bangladesh: a comparative study of the performance of the YIELD and the CERES-Rice models***. Ecological Modelling: ۱۰۶, ۲۰۱–۲۱۲.

Prudhomme, C., Reynard, N., & Crooks, S. (۲۰۰۲). ***Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?***. Hydrological Processes, ۱۶ (۶), ۱۱۳۷–۱۱۵۰.

Saseendran, S. A., Singh, K.K., Rathore, L.S., Singh, S.V., & Sinha, S.K. (۲۰۰۰). ***Effects Of climate change on rice production in the tropical humid climate of Kerala, India***. Climatic Change, ۴۴, ۴۹۵–۵۱۴.

Wilks, D.S. (۲۰۰۶). ***Statistical methods in the aatmospheric sciences, second edition***. Academic Press is an imprint of Elsevie.

Zhang, S., & Tao, F. (۲۰۱۳). ***Modeling the response of rice phenology to climate change and variability in different climatic zones: comparisons of five models***. European Journal of Agronomy, ۴۵, ۱۶۵–۱۷۶.