



تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

میترا رحمانی¹، مجید جامی الاحمدی^{2*}، علی شهیدی³ و مصطفی هادی‌زاده ازغندی⁴

تاریخ دریافت: 1392/07/14

تاریخ پذیرش: 1394/04/08

رحمانی، م.، جامی‌الاحمدی، م.، شهیدی، ع.، و هادی‌زاده ازغندی، م. 1394. تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 7(4): 443-460.

چکیده

تغییرات آب و هوایی ناشی از تغییر اقلیم، در کنار سایر اثرات خود، بر بارندگی و چرخه‌های هیدرولوژیکی اثر خواهد گذاشت و این تأثیرات بر تولیدات کشاورزی که مستقیماً وابسته به محیط فیزیکی هستند بیشتر خواهد بود. کشاورزی به عنوان یک مصرف‌کننده عمده آب نیاز خواهد داشت تا به منظور حصول پایداری، در کنار سایر چالش‌ها، نسبت به این تغییرات تطابق پیدا کند و پیش‌آگاهی در خصوص تغییرات آبی اقلیمی و تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد. در تحقیق حاضر اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) و عملکرد گندم در دوره زمانی 2010-2039 میلادی در منطقه بیرجند مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی در دوره زمانی 2010-2039 با استفاده از مدل LARS-WG شبیه‌سازی شدند. تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی به روش پنمن مانیت و بارندگی مؤثر به روش USDA محاسبه شد و نیاز آبی محصول توسط نرم‌افزار کراپ وات برآورد گردید. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم با استفاده از مدل DSSAT مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در آینده درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابند و متوسط بارش سالیانه نیز اندکی بیشتر خواهد بود. با وجود بیشتر شدن تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن طول دوره رشد آن‌ها، نیاز آبی محصولات در آینده بین 19/5 درصد (گندم) تا 22/5 درصد (جو) کمتر خواهد شد. از سوی دیگر، عملکرد گندم نیز به علت کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد محصول تحت تأثیر تغییر اقلیم حدود 30 درصد کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی، مدل گردش عمومی جو، مدل LARS-WG

مقدمه

کشاورزان نیز افزایش یابد (Mohajerani et al., 2011). با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، آب به عنوان یکی از مهمترین منابع، به عنوان یک عامل اصلی محدودکننده تولید، نقش مهمی را در تعیین نوع فعالیت‌های زراعی ایفاء می‌کند. از این‌رو، ارزیابی آب مورد نیاز سیستم‌های کشاورزی همواره از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Osamu et al., 2005).

بخش کشاورزی در اقتصاد ملی و تأمین غذای جامعه نقش حیاتی دارد و در جهت دستیابی به پایداری در این بخش، ضروری است از منابع و ابزارهای تولید در این بخش به بهترین شکل ممکن استفاده گردد تا ضمن کاهش در مصرف این منابع، سودآوری و رفاه

تبخیر و تعرق بعد از بارندگی اصلی‌ترین جزء چرخه هیدرولوژیکی است، که تعیین‌کننده نیاز آبی گیاه می‌باشد. چندین پارامتر اقلیمی نظیر دما، باد، بارش و ساعات آفتابی از جمله عوامل اصلی مؤثر بر نیاز آبی

1، 2 و 3 - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، استادیار گروه مهندسی آب و دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

* - نویسنده مسئول: (Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)

که ارتباط مستقیمی بر مدیریت منابع آب خواهد گذاشت. در حالی که کمترین تغییر در میزان بارش و درجه حرارت صدمات شدیدی به بخش‌های کشاورزی وارد می‌سازد، انتظار می‌رود شرایط خشکی حاکم در نواحی خشک جهان در آینده با افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق و افزایش بیابان‌زایی ناشی از گرمایش جهانی تشدید شود. در کشور ما نیز خشکسالی در سال‌های اخیر خسارات زیادی به بار آورده است و مدیریت کاهش تأثیرات منفی آن نیازمند دانش کافی در خصوص عوامل ایجادکننده و نحوه اثرگذاری آن و نیز پیش‌آگاهی در خصوص تغییرات حاصل از آن در بخش کشاورزی است (Kardavani, 2007).

تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر می‌شوند و می‌توان با ارزیابی این شاخص‌ها، واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده را بررسی نمود. یک شاخص حساس و قابل پایش از پاسخ گیاه به تغییر اقلیم، تغییرات در نمو و طول مراحل فنولوژی گیاهی است (Frich et al., 2002). متأسفانه داده‌های بسیار کمی از اندازه‌گیری‌های فنولوژی گیاهی برای بررسی ارتباط بین گرمایش جهانی دهه‌های اخیر و تغییر در فنولوژی گیاهان وجود دارد؛ با این وجود بدیهی است افزایش درجه حرارت الگوهای گلدهی گیاهان را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Bradley et al., 1999). اثر بالا رفتن درجه حرارت بر الگوی گل‌دهی در مورد بسیاری از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته و به تأیید رسیده است (Fulu et al., 2006). نتایج مطالعه‌ای بر روی 385 گونه گیاهی در بریتانیا نشان داد که از دهه 1980 تغییر قابل ملاحظه‌ای در تاریخ اولین گل‌دهی رخ داده است، به طوری که این تاریخ به طور متوسط 4/5 روز، و در 15 درصد از گونه‌های مورد بررسی حدود 15 روز زودتر اتفاق افتاده است (Fitter & Fitter, 2002).

در مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی کشور با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد و بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نشان داده شد که تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، بدون در نظرگرفتن گرمایش جهانی، بر عملکرد گندم مثبت است در حالی که با افزایش میانگین دمای روزانه به میزان سه درجه سانتی‌گراد یا بیشتر، عملکرد گندم حتی در صورت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، کاهش خواهد یافت (Koocheki et al., 2003). در مطالعه دیگری در خصوص اثر تغییر اقلیم بر گندم و برنج (*Oryza sativa* L.) نشان

گیاهان یا تبخیر و تعرق می‌باشند. بدیهی است هر گونه تغییر در این پارامترهای اقلیمی در اثر تغییرات اقلیمی، بر تبخیر و تعرق گیاه نیز تأثیرگذار خواهد بود. نیاز آبی گیاه و تبخیر و تعرق آن عامل اصلی مصرف آب در بخش کشاورزی است (Alizadeh et al., 2010b). انتظار می‌رود که با افزایش درجه حرارت میزان تبخیر و تعرق پتانسیل نیز افزایش یابد. افزایش غلظت گاز کربنیک در آینده منجر به افزایش دمای جو می‌شود که مهم‌ترین اثر آن در کشاورزی افزایش تبخیر و تعرق و تغییر طول دوره رشد گیاهان است که با هم نیاز آبی گیاه را تعیین می‌کنند. بنابراین نیاز آبی گیاهان به طور مستقیم تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی و تغییرات آن خواهد بود (Koocheki et al., 2003).

بیشترین اطلاعات ما از تغییرات اقلیمی آینده مربوط به مطالعاتی است که با استفاده از مدل‌های اقلیمی صورت گرفته است. مدل‌های اقلیمی بیان ریاضی پیچیده بسیاری از فرآیندهای شناخته شده اقلیمی هستند و توزیع متغیرهای جهانی مانند دما، باد، ابر و باران را شبیه سازی می‌کنند (IPCC, 1995). از مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی تغییرات آینده اقلیمی در جهان استفاده شده است و اکثر آن‌ها بر افزایش دما به عنوان پی‌آمد اصلی تغییر اقلیم در آینده تأکید دارند. بدیهی است این افزایش متوسط دمای محیط تأثیرات زیادی بر نیاز آبی گیاهان خواهد گذاشت. نتایج حاصل از یک بررسی در خصوص مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد حاکی از این است که با شرایط گرم شدن هوا و تغییر اقلیم ناشی از صنعتی شدن و گازهای گلخانه‌ای، با فرض خوشبینانه بودن منابع آب، مصرف آب کشاورزی، به عنوان عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده آب، به شدت افزایش خواهد داشت و برای مقابله با آن بایستی راهکارهای مدیریتی اتخاذ کرد (Alizadeh et al., 2010a). هارمسن و همکاران (Harmsen et al., 2009) در پژوهشی، با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری¹ و تحت سه سناریوی اقلیمی به بررسی بارش، تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارش و کاهش نسبی عملکرد محصول پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که در اثر تغییر اقلیم، فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی خشک‌تر خواهد شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما بیشتر خواهد شد. تغییر در مقدار نیاز آبی گیاهان از مواردی است

1- Statistical downscaling

منطقه در حد فاصل $31^{\circ}10'$ تا $33^{\circ}15'$ عرض شمالی و $57^{\circ}45'$ تا $60^{\circ}50'$ طول شرقی قرار گرفته است. اقلیم منطقه از نوع خشک و نیمه خشک می باشد. متوسط بارندگی این منطقه کمتر از 200 میلی متر بوده و میانگین سالیانه دمای آن 16 درجه سانتی گراد است (South Khorasan Government, 2007).

جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مصرف آب گیاهان گندم و جو در آینده، ابتدا لازم بود که پارامترهای اقلیمی این دوره شبیه سازی شوند. معتبرترین ابزار برای تولید داده های هواشناسی سال های آینده، استفاده از مدل های گردش عمومی جوی - اقیانوسی می باشد (IPCC, 2007). این مدل ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلندمدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده هیئت بین الدول تغییر اقلیم³ (IPCC)، مدل سازی نمایند. با تدوین سناریوهای انتشار

گازهای گلخانه ای توسط هیئت بین الدول تغییر اقلیم، مدل های گردش عمومی جو با فرضیات مختلف انتشار مانند A_1 ، A_2 ، B_1 ، B_2 و غیره توسعه یافته اند تا وضعیت اقلیمی دهه های آتی را مشخص کنند. در مطالعات ارزیابی تأثیر اقلیم در سطوح منطقه ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل های موجود، وسعت محدوده پیش بینی متغیرها در این مدل هاست که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی توان از نتایج حاصله مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. به عبارتی، مدل شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می گیرد، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده مورد بحث کاملاً متفاوت باشد. برای رفع این مشکل، روش های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه ای ایجاد شده اند که به آن ها ریزمقیاس کردن گفته می شود. در این تحقیق از مدل ECHO-G، به عنوان مدل گردش عمومی جوی - اقیانوسی، و مدل LARS-WG، با استفاده از سناریوی A_1 تأیید شده IPCC، که معرف تغییر اقلیم تحت انتشار تدریجی دی اکسید کربن است (Abbasi et al., 2010)، جهت ریزمقیاس نمایی داده های خروجی این مدل گردش عمومی و تولید مقادیر روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه های تحت مطالعه، استفاده شد. سناریوی A_1 به رشد سریع اقتصادی و افزایش جمعیت و بیشینه استفاده از گازهای گلخانه ای تأکید دارد و مفروضات آن، توصیفی از جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است؛ به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه

داده شد که کاهش عملکرد این دو محصول در صورت افزایش درجه حرارت آن چنان زیاد است که همه اثرات مثبت افزایش دی اکسید کربن را جبران خواهد کرد (Lal et al., 1998). در ارزیابی اثر روند تغییرات دما بر عملکرد گندم در مناطق کوهستانی سوات و چیترا در کشور پاکستان (Hussain & Mudasser, 2007)، نشان داده شد که افزایش دما، باعث افزایش شاخص درجه روز - رشد (GDD^1) و کاهش طول فصل رشد (GSL^2) می شود. در این تحقیق برآورد شد که افزایش $1/5$ تا سه درجه سانتی گراد دما، کاهش 7-24 درصدی عملکرد گندم در منطقه سوات و کاهش 14 تا 23 درصدی آن را در منطقه چیترا در پی خواهد داشت، در حالی که افزایش پنج تا 15 درصدی میزان بارندگی در طول دوره رشد، اثر ناچیزی بر عملکرد گندم خواهد گذاشت.

در مجموع بررسی ها نشان می دهد که افزایش غلظت دی اکسید کربن، تغییرات دما و الگوهای بارش در نتیجه تغییر اقلیم، اثرات مهمی بر بخش کشاورزی خواهند داشت. از این رو انجام تحقیقات گسترده در مناطق مختلف در جهت پیش سازگاری با شرایط اقلیمی آینده ضروری به نظر می رسد. در سال های اخیر نیز خشکسالی در کشور خسارات زیادی به بار آورده است. منابع آب سطحی و زیرزمینی جنوب خراسان طی چند سال اخیر دچار کاهش شدیدی شده و با افزایش شوری و املاح، کیفیت آب کاهش یافته است (Banivahab & Alijani, 2005).

بنابراین با توجه به اهمیت و جایگاه گندم و جو در نظام زراعی منطقه بیرجند، این تحقیق با هدف ارزیابی شرایط اقلیمی دشت بیرجند در دو دهه آتی و بررسی تغییرات مصرف آب گندم و جو به عنوان مهمترین گیاهان زراعی این منطقه در واکنش به شرایط اقلیمی، صورت گرفت.

مواد و روش ها

شهرستان بیرجند با وسعت 31704 کیلومتر مربع در شرق ایران قرار داشته و 25 درصد از مساحت استان خراسان جنوبی را به خود اختصاص داده است. این شهرستان از شمال به شهرستان قاین، از جنوب به شهرستان نهبندان و کرمان و از غرب به شهرستان های فردوس و طبس و از شرق به کشور افغانستان محدود می شود. این

1- Growth degree days

2- Growing season length

3- Intergovernmental panel on climate change

ارتفاع 10 متری ثبت می‌شود، اما در مدل کراپ وات، باد بر حسب کیلومتر در روز و در ارتفاع دو متری مورد نظر است. بنابراین، با استفاده از معادله (3) داده‌های سرعت باد به فرمت داده‌های مدل کراپ‌وات تبدیل شد (Alizadeh, 2011).

$$U_2 = \frac{4.868}{\ln(67.75Z^{5.12})} \times U_z \quad (3) \text{ معادله}$$

که در این معادله، U_2 و U_z : به ترتیب سرعت باد در ارتفاع دو و 10 متری می‌باشد و Z نشانگر ارتفاع محل اندازه‌گیری باد است.

تاریخ کاشت و برداشت محصول از کشاورزان محلی و سازمان جهاد کشاورزی بیرجند اخذ گردید. بر اساس نوع اقلیم منطقه که از نوع خشک و نیمه‌خشک است، برای هر یک از مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، رشد و توسعه گیاه، میانی و نهایی) طول دوره رشد محصول در دوره فعلی از نشریه 56 آبیاری و زهکشی فائو استخراج شد (Allen et al., 1998). تاریخ کاشت هر دو محصول در دوره آینده بر اساس تطابق درجه حرارت متوسط روزانه در تاریخ کاشت فعلی با زمان وقوع آن در آینده برآورد گردید. سپس مجموع درجه حرارت جمعی از شروع کاشت محصول در دوره پایه برای هر یک از مراحل چهارگانه رشد تا زمان برداشت تعیین و با مجموع حرارت جمعی محصول در دوره آینده مقایسه شد و با توجه به تاریخ کاشت محصول در دوره آینده، طول هر یک از مراحل رشد برآورد شد. حداقل درجه حرارت مناسب جوانه‌زنی گندم، چهار و درجه حرارت بهینه جوانه‌زنی آن، 15 تا 20 درجه سانتی‌گراد است (Emam, 2007). بر این اساس، تاریخ کاشت فعلی در منطقه بیرجند طبق آمار ایستگاه هواشناسی بیرجند و با در نظر گرفتن اطلاعات به دست آمده از سازمان جهاد کشاورزی و کشاورزان خبره، برای گندم 21 اکتبر (اواخر مهر ماه) در نظر گرفته شد که در این زمان درجه حرارت متوسط هوا برابر 15/56 درجه سانتی‌گراد است. با توجه به حساس‌تر بودن گیاهچه‌های جو نسبت به سرمای اول فصل کاشت جو در پاییز یک یا دو هفته زودتر از گندم صورت می‌گیرد (Emam, 2007); بر این اساس کاشت جو دو هفته زودتر یعنی نیمه مهرماه (شش اکتبر) تعیین شد. پس از تعیین مراحل رشد محصولات، ضریب گیاهی (KC) هر مرحله رشدی بر اساس نوع اقلیم منطقه تعیین (Allen et al., 1998) و سپس KC ماهانه برای هر دو دوره از طریق درون‌یابی خطی توسط مدل کراپ-وات برآورد گردید (Alizadeh, 2011; Allen et al., 1998). KC مربوط به مرحله ابتدایی رشد (KC_{ini})، دوره میانی رشد (KC_{mid}) و نقطه آخر مرحله چهارم (KC_{end}) از جدول‌های ارائه شده توسط FAO

قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. بنابراین افزایش جمعیت و رشد اقتصادی سبب تغییر میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف خواهد شد، که نهایتاً بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر خواهد داشت (Farjazadeh & Feyzi, 2012).

تولید داده توسط مدل LARS-WG طی سه مرحله کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی صورت می‌گیرد (Semenov & Barrow, 2002). بر این اساس برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره سی ساله 1976-2006 به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند تهیه گردید، سپس میانگین سی ساله داده‌های هواشناسی محاسبه گردید (جدول 4). پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. پس از اطمینان از توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی مدل از طریق مقایسه داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه (جدول‌های 1 و 2)، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و تولید داده مصنوعی برای دو دهه آتی با استفاده از سناریوی A_1 تأیید شده IPCC، که معرف تغییر اقلیم تحت انتشار تدریجی دی‌اکسید کربن است (Abbasi et al., 2010)، اجرا شد و مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی 30 سال آینده تولید گردید.

علاوه بر این پارامترها، جهت تعیین ET_0 در دوره آینده به داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی نیز نیاز است که به دلیل محدودیت داده‌های خروجی مدل اقلیمی لارس، امکان ارزیابی این پارامترها وجود ندارد. با توجه به این‌که سرعت باد و میزان رطوبت نسبی در ارتباط خوبی با درجه حرارت هستند، با استفاده از روابط زیر میزان این پارامترها برای دوره‌های آینده (سی سال آینده)، محاسبه شد. قبلاً اعتبارسنجی این رابطه با استفاده از مدل‌های آماری توسط محققان انجام شده است (Alizadeh, 2011).

$$\text{Wind} = 9.495 + (0.633 \times T_{\min}) - (0.386 \times T_{\max}) \quad (1) \text{ معادله}$$

$$\text{Humidity} = 93.453 + (1.658 \times T_{\min}) - (2.926 \times T_{\max}) \quad (2) \text{ معادله}$$

در معادلات فوق، Wind: سرعت باد و Humidity: رطوبت نسبی است. در ایستگاه هواشناسی بیرجند، باد را بر حسب نات و در

منطقه (اطلاعات کلی در مورد منطقه مورد مطالعه نظیر نام و موقعیت جغرافیایی، نوع خاک از نظر شیب - شرایط زهکشی - پتانسیل رواناب)، و داده‌های گیاهی ورودی (شامل اطلاعات منطقه طرح، رقم زیر کشت، تاریخ کاشت و تاریخ برداشت محصول، نوع و مقدار کود مصرفی برای هر محصول، دور آبیاری و میزان آب آبیاری) از منابع مختلف، سازمان تحقیقات کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی اخذ گردید. در نهایت، نرم‌افزار با اطلاعات ورودی اجرا و تحلیل لازم بر روی عملکرد که خروجی مدل است انجام شد. مقایسه داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG با مقادیر واقعی ایستگاه بیرجند برای بازه زمانی 1987-2006 میلادی با آزمون T مورد مقایسه قرار گرفتند. در آزمون مربوطه، فرض صفر حاکی از این بود که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده بارش، دمای کمینه و بیشینه با مقادیر واقعی در سطح پنج درصد وجود دارد و فرض یک مبتنی بر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در همان سطح بود.

نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل اقلیمی

ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. برای این کار، یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری سال‌های 1987-2006 میلادی تهیه و مدل برای دوره پایه مذکور اجرا گردید. برای ارزیابی خروجی‌های مدل LARS-WG داده‌های دیدبانی و مدل شده برای چهار پارامتر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش (ساعات آفتابی) و همچنین خصوصیات آماری آن‌ها شامل میانگین ماهانه انحراف معیار تهیه شدند و توانمندی مدل برای ایجاد اقلیم گذشته ایستگاه سینوپتیک بیرجند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول‌های 1 و 2). نتایج به دست آمده از آزمون دو نمونه‌ای زوجی T استیوونت جهت مقایسه مقادیر مدل‌سازی شده بارش، دمای کمینه و بیشینه با مقادیر واقعی آن‌ها نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی و واقعی در سطح معناداری پنج درصد وجود ندارد در مورد تابش این اختلاف با $\alpha=0/005$ معنی‌دار نمی‌باشد.

استخراج شد. مقادیر KC_{mid} و KC_{end} به دست آمده از جدول بایستی با توجه به اطلاعات اقلیمی منطقه و با استفاده از معادله‌های 4 و 5 تصحیح شوند (Allen et al., 1998).

$$KC_{mid} = KC_{mid-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad (4) \text{ معادله}$$

$$KC_{end} = KC_{end-table} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad (5) \text{ معادله}$$

که در این معادله‌ها، $KC_{mid-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای مرحله میانی رشد، $KC_{end-table}$: مقدار ضریب گیاهی به دست آمده از جدول برای نقطه آخر مرحله انتهایی رشد، h : حداکثر ارتفاع گیاه (متر)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر در ثانیه) و RH_{min} : رطوبت نسبی حداقل (درصد) می‌باشند. میزان U_2 قبلاً محاسبه شد. با توجه به اطلاعات اخذ شده، برای محصول گندم و جو حداکثر ارتفاع محصول یک متر لحاظ شد. میزان حداقل رطوبت نسبی با توجه به دوره رشد محصول از سازمان هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند اخذ گردید.

پس از تصحیح مقادیر KC (جدول 6) و پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، جهت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم 30 سال آینده بر مصرف آب، با استفاده از نرم‌افزار Cropwat، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی به روش پنمن مانیتث (Allen et al., 1998) و بارندگی مؤثر به روش USDA در شرایط استاندارد برای هر دو دوره فعلی و آتی محاسبه شده و نیاز آبی این دو گیاه در دوره رشد، بر اساس روش ارائه شده در نشریه شماره 56 آبیاری و زهکشی فائو (Allen et al., 1998; Kamali, 1989) تعیین شد. عملکرد محصول گندم در دوره آینده با استفاده از سیستم مدل گیاهی $DSSAT^1$ با استفاده از مدل CERES-Wheat و بر مبنای داده‌های خروجی نرم‌افزار لارس (داده‌های روزانه آب و هوا شامل دمای حداکثر و حداقل هوا، ساعات آفتابی تشعشع خورشیدی، سرعت باد و نزولات) برآورد گردید. ضرایب ژنتیکی از مطالعه منصوری (Mansouri, 2012) در بیرجند اخذ شد. سیستم مدل گیاهی $DSSAT$ با مدل پایه Ceres نیز در تحقیق دیگری که همزمان در شرایط بیرجند و برای گندم انجام شد بررسی و اعتبار آن در برآورد برای شرایط بیرجند به اثبات رسیده است (Mansouri, 2012).

سایر اطلاعات مورد نیاز مدل، مانند اطلاعات خاک‌شناسی

جدول 1- آماره توصیفی داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG و مقادیر واقعی ایستگاه بیرجند در دوره 1987-2006 میلادی
Table 1- Descriptive statistics of climate data simulated by the LARS-WG model and actual values recorded in Birjand stations for 1987-2006 period

داده‌ها Data	آماره Statistics	بارش Precipitation	کمینه دما T _{min}	بیشینه دما T _{max}	تابش Radiation
واقعی Observed	میانگین Mean	13.4	8.3	24.45	9.00
	انحراف استاندارد Standard deviation	15.14	7.8	9.02	2.07
برآورد شده Predicted	میانگین Mean	12.2	8.2	24.42	9.26
	انحراف استاندارد Standard deviation	12.66	7.77	9.01	1.99

جدول 2- مقایسه داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG با مقادیر واقعی ایستگاه بیرجند در دوره 1987-2006 میلادی

Table 2- Comparison of simulated climate data by LARS-WG model with the recorded values in Birjand stations for 1987-2006 period

آماره Statistics	بارش Precipitation	کمینه دما T _{min}	بیشینه دما T _{max}	تابش Radiation
آزمون t t-Test	0.884	1.1	0.17	-2.8
سطح معنی‌داری Significance level	0.396	0.29	0.86	0.015
فاصله اطمینان 95% 95% Confidence interval	-1.82 4.28	-0.92 0.299	-0.28 0.34	-0.06 -0.47
همبستگی Correlation	0.956**	0.999**	0.999**	0.988**

** همبستگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (دو دامنه)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

میانگین دمای کمینه بیرجند در دوره 2010 تا 2039 میلادی با 0/7 درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره زمانی 1976-2006، از 8/1 به 8/8 درجه سانتی‌گراد می‌رسد (جدول 4). همچنین بر اساس داده‌های برآورد شده توسط مدل، به جز در ماه ژوئن که میانگین بیشینه دمای آن در مقایسه با دوره پایه کاهش پیدا خواهد کرد، در سایر ماه‌های سال میانگین بیشینه دما افزایش می‌یابد. افزایش دما در ماه‌های سرد سال بیشتر از سایر ماه‌ها بوده و بیشترین افزایش دما مربوط به ماه فوریه با حدود دو درجه سانتی‌گراد است (جدول 3). در کل، میانگین دمای بیشینه بیرجند در دوره 2010 تا 2039 در مقایسه با دوره آماری فعلی به میزان 0/6 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. پیش از این، با مطالعه ایستگاه‌های مختلف در سطح کشور در قالب طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، روند افزایش دما در اکثر ایستگاه‌های کشور مورد تأیید قرار گرفته است (Rahimzadeh & Asgari, 2005). در

در بین پارامترهای مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها نیز همبستگی خوبی وجود دارد. از این رو می‌توان گفت نتایج مدل‌سازی در این ایستگاه قابل قبول می‌باشند. کارایی این مدل برای برآورد داده‌های اقلیمی در ایستگاه‌های خراسان قبلاً نیز تأیید شده است (Babaeian et al., 2005).

تغییرات دما و بارندگی منطقه بیرجند

برآورد مدل نشان می‌دهد که میزان درجه حرارت کمینه در تمامی ماه‌های سال در آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. (جدول 3). بر مبنای پیش‌بینی مدل، بیشترین افزایش دمای کمینه در ماه‌های سرد سال خواهد بود و حداکثر میزان افزایش دمای کمینه در بیرجند طی دوره آینده نسبت به دوره پایه در ماه مارس (اواسط اسفند ماه تا اواخر فروردین) به میزان 1/2 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به طور

بیشتر خواهد بود (جدول‌های 2 و 3). بیشترین افزایش بارندگی مربوط به فصل‌های تابستان و پاییز است، به طوری که در تابستان بارش‌ها تقریباً سه برابر دوره آماری فعلی بوده و در فصل پاییز بارندگی 9/5 درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین عمده بارش‌های فصل زمستان در انتهای این فصل خواهد بود (جدول 3). احتمال می‌رود که با توجه به الگوی پیش‌بینی شده و افزایش دماهای زمستانه (جدول 3)، بیشتر بارندگی‌ها در آینده به شکل باران باشد و از تکرار وقایع ریزش برف کاسته شود.

مطالعه‌ای دیگر در خصوص تأثیر تغییر اقلیم بر دما، تحت سناریوی A₂ برای سه دوره زمانی 2010-2029، 2040-2069 و 2070-2099 میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری و خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 در حوضه کشف‌رود نیز مشخص شد که دما در هر سه دوره پیش‌بینی نسبت به دوره پایه 1961-1990 افزایش خواهد یافت (Alizadeh et al., 2010b). طبق برآوردها، علی‌رغم کاهش بارش‌های فصل زمستان در آینده نسبت به دوره پایه، در سایر فصل‌های سال بارندگی‌ها افزایش خواهد داشت، به طوری که متوسط بارندگی سالیانه در آینده حدود 3/5 درصد

جدول 3- مقایسه داده‌های واقعی میانگین ماهانه دماهای کمینه، بیشینه (درجه سانتی‌گراد) و میانگین ماهانه بارش (میلی‌متر) در دوره زمانی فعلی (1976-2006) با مقادیر پیش‌بینی شده آن‌ها در آینده (دوره 2010 تا 2039) در بیرجند، با استفاده از مدل LARS-WG بر مبنای سناریوی A₁

تأیید شده IPCC

Table 3- Comparing the actual monthly mean of minimum and maximum temperatures (°C) and mean monthly precipitation (mm) in the current period (1976-2006) with their predicted values in the future (2010 to 2039) in Birjand, using LARS-WG model based on IPCC confirmed A₁ scenario

ماه‌های سال Months	میانگین ماهانه دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)		میانگین ماهانه دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)		میانگین ماهانه بارش (میلی - متر)	
	The mean monthly of minimum temperature (°C)		The mean monthly of maximum temperature (°C)		The mean monthly of precipitation (mm)	
	دوره فعلی Current	دوره آتی Future	دوره فعلی Current	دوره آتی Future	دوره فعلی Current	دوره آتی Future
ژانویه January	-2.8	-1.9	10.5	11.7	29.90	21.52
فوریه February	-0.4	1.2	13.1	15.3	31.80	33.17
مارس March	3.8	5.0	17.9	20.0	41.90	48.59
آوریل April	9.3	9.4	24.7	24.7	15.58	16.90
می May	13.6	14	30.3	30.8	5.65	4.63
ژوئن June	17.6	17.8	34.7	34.3	0.60	1.09
ژوئیه July	19.4	19.5	35.3	35.4	0.10	0.21
اوت August	16.4	17	34.3	34.5	0.10	0.26
سپتامبر September	11.8	12.7	31.5	34.5	0.50	1.60
اکتبر October	6.7	7.6	25.9	26.4	2.80	2.44
نوامبر November	2.3	3.4	19.4	21.1	7.89	6.66
دسامبر December	-1.2	-0.09	13.4	13.6	24.77	29.75

جدول 4- میانگین داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند در 30 سال اخیر (1980-2009 میلادی) و برآورد آن‌ها برای دوره آتی (2039-2010 میلادی)

Table 4- The average of climatic data of Birjand synoptic weather station in the last 30 years (1980-2009) and estimating of them forthcoming period (2010-2039)

پارامتر اقلیمی Climatic parameter	واحد unit	دوره فعلی Current	دوره آتی Future
حداقل درجه حرارت Minimum temperature	درجه سانتی‌گراد °C	8.1	8.8
حداکثر درجه حرارت Maximum temperature	درجه سانتی‌گراد °C	24.3	24.9
متوسط درجه حرارت روزانه Mean of daily temperature	درجه سانتی‌گراد °C	16.2	16.9
سرعت باد در ارتفاع دو متری Wind speed (at 2 m height)	کیلومتر در روز km.day ⁻¹	161	168
رطوبت نسبی Relative humidity	درصد %	36	35
ساعات آفتابی Sun hours	تعداد ساعت hours	12.1	11.7
مجموع بارش سالانه Total yearly rainfall	میلی‌متر mm	161.6	167.3
متوسط تبخیر و تعرق روزانه Mean of daily ET _O	میلی‌متر mm	4.83	4.96
Climate type: arid and semi-arid		اقلیم منطقه: خشک و نیمه‌خشک	

و تعرق گیاه مرجع تأثیرگذار نیست، بلکه این اثرات متقابل عوامل اقلیمی است که میزان تبخیر و تعرق را تعیین می‌کند (Ashraf et al., 2012). بیشترین میزان ET_O در ماه ژولای (10 تیر تا 10 مرداد) مشاهده شد. در این ماه میزان بارش‌ها و رطوبت نسبی از سایر ماه‌ها کمتر، و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه و سرعت باد نسبت به سایر ماه‌ها در بالاترین مقدار می‌باشد (جدول 3). به نظر می‌رسد، مجموعه این عوامل باعث افزایش میزان ET_O در این ماه شده است (شکل 1). در مرحله بعد با توجه به تغییر در هر یک از پارامترهای اقلیمی، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره آینده محاسبه گردید (شکل 1). طبق این برآوردها، بیشترین و کمترین میزان ET_O همانند دوره فعلی به ترتیب در ماه‌های ژولای و ژانویه می‌باشد. با توجه به وابستگی دیگر پارامترهای اقلیمی به درجه حرارت، این عامل مهمترین عامل تأثیرگذار روی ET_O می‌باشد (Nikbakht et al., 2007).

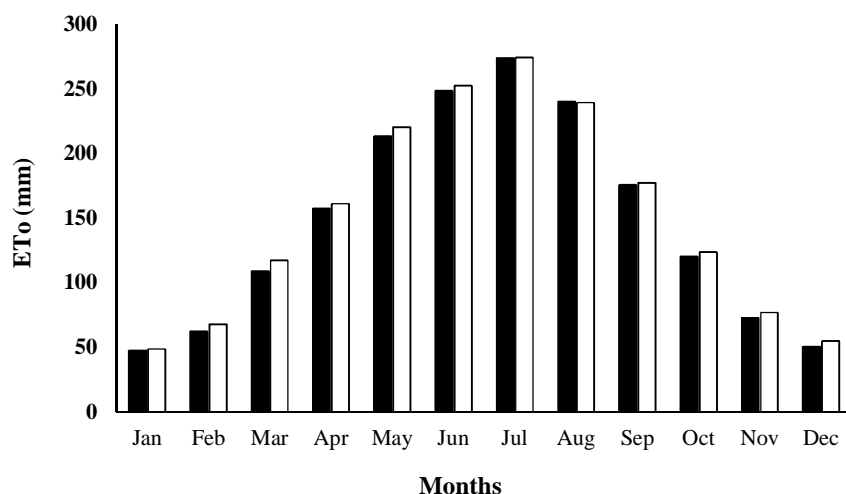
طول دوره رشد

از بین پارامترهای اقلیمی، فاکتور درجه حرارت جهت تعیین زمان مناسب کاشت محصول گندم اهمیت زیادی دارد (Emam, 2007).

هم راستا با این نتایج، مطالعه‌ای با کمک مدل لارس در خصوص پیش‌بینی تغییرات اقلیم در خراسان جنوبی در دوره 2039-2010 میلادی حاکی از افزایش چهار درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود 0/3 درجه سانتی‌گراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما، مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد خواهد بود (Abbasi et al., 2010).

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع

اولین مرحله برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات زراعی، برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد. میانگین تغییرات ET_O با توجه به شرایط اقلیمی دشت بیرجند در ماه‌های مختلف در دوره فعلی (1980-2009 میلادی) نشان می‌دهد که کمترین میزان ET_O در ماه ژانویه (10 دی تا 10 بهمن) می‌باشد (شکل 1)، که دارای کمترین مقدار حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه است (جدول 3). گرچه میزان بارش‌ها هم در این ماه بالا می‌باشد، ولی هنوز میزان نزولات نسبت به بعضی از ماه‌های دیگر کمتر است (جدول 3). به نظر می‌رسد یک پارامتر به تنهایی بر روی میزان تبخیر



شکل 1- مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) در ماه‌های مختلف در بیرجند در دوره فعلی (1980-2009؛ ستون‌های تیره) و در آینده (2010 تا 2039؛ ستون‌های روشن) در بیرجند

Fig. 1- Comparison of reference evapotranspiration (ETo) in various months for the current period (1980-2009; dark columns) and the future (2010-2039; light columns) in Birjand

چهارگانه رشد گندم در منطقه زرقان استان فارس 30، 40، 120، 30 و 30 روز تعیین شده است (Niazi et al., 2005). طول هر یک از مراحل چهارگانه رشد جو نیز از نشریه فائو 56، با توجه به اقلیم منطقه که از نوع خشک و نیمه‌خشک است استخراج گردید (Allen et al., 1998). مجموع درجه حرارت تجمعی جو نزدیک به 2000 تا 2500 درجه روز در کل دوره رشد محصول می‌باشد (Emam, 2007). بر طبق برآوردها بیشترین طول دوره رشد گندم و جو در مرحله توسعه گیاه (مرحله دوم) است (جدول 5) که در این زمان، این گیاهان چرخه زندگی خود را در فصول سرد سال سپری کرده و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه در این زمان کاهش می‌یابد (جدول 3).

با توجه به مجموع درجه حرارت تجمعی در دوره فعلی و مقایسه آن با GDD محاسبه شده از درجه حرارت‌های برآورد شده برای آینده، طول هر یک از مراحل رشد گندم و جو در دوره آینده برآورد گردید. در آینده افزایش درجه حرارت در شرایط اقلیمی آینده باعث کاهش قابل توجه طول دوره رسیدگی (سبز شدن تا رسیدگی) در گندم و جو خواهد شد، به طوری که فاصله کاشت تا رسیدگی برای گندم از 240 روز (در شرایط فعلی) به 227 روز (در شرایط آتی) و برای جو از 219 روز (در شرایط فعلی) به 193 روز (در شرایط آتی) تقلیل خواهد یافت. به نظر می‌رسد بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر کاهش طول دوره رشد هر دو گیاه ناشی از کاهش طول دوره رویشی (کاشت تا

متوسط درجه حرارت روزانه در 21 اکتبر در دوره آینده از طریق میانگین‌گیری حسابی برآورد گردید، بر طبق برآوردها، با وجود افزایش کلی متوسط درجه حرارت سالیانه در آینده، ولی متوسط درجه حرارت در پاییز نسبت به شرایط فعلی کمتر است و لذا کشت باید زودتر انجام پذیرد. بر مبنای برآوردهای مدل، تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، تاریخ کاشت گندم از 21 اکتبر (29 مهر ماه) به 19 اکتبر (با متوسط درجه حرارت روزانه 15/95 درجه سانتی‌گراد) انتقال می‌یابد. در خصوص جو نیز با توجه به این که در شش اکتبر (تاریخ کاشت شرایط فعلی) درجه حرارت حدود 18/8 سانتی‌گراد است، چنین شرایطی در آینده در سه اکتبر حاصل می‌شود. زمان برداشت جو، در دوره فعلی در ماه می (خرداد) و در شرایط آینده در آوریل (اردیبهشت) برآورد گردید. مجموع حرارت تجمعی گندم در کل دوره رشد 2300 درجه روز - رشد می‌باشد (Emam, 2007). در تقسیم‌بندی فائو، دوره 240 روزه رشد گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک به چهار مرحله شامل مرحله اول رشد (زمان جوانه‌زنی و رشد اولیه محصول)، مرحله دوم رشد (از پایان مرحله اول رشد تا 80 درصد پوشش مزرعه؛ مرحله توسعه محصول)، مرحله سوم یا میانی رشد (بارور شدن محصول گندم)، و مرحله آخر رشد گندم (از زمان آغاز رسیدگی محصول تا برداشت آن) تقسیم شده است (Allen et al., 1998). بر این اساس نیاز حرارتی گندم برای مراحل مختلف برآورد شد (جدول 5). طول این مراحل

نسبی، دوره رشد و تیپ گیاه تغییر کرده (Nikbakht et al., 2007) و بین حداقل آن در مرحله آغازین تا حداکثر آن در مرحله میان فصل در نوسان است (Utset et al., 2007). میزان KC محصولات زراعی در کل بین 0/25 تا 1/35 متغیر است (Alizadeh, 2011). تغییرات KC در مورد محصول گندم و جو در منطقه بیرجند در دوره فعلی به ترتیب بین 0/4 و 0/3 (ابتدای رشد و زمان برداشت) تا 1/16 (حدود خوشه-دهی) برآورد شد (جدول 6). این مقادیر به دست آمده KC در طول دوره رشد در این تحقیق با مقادیر به دست آمده KC غلات در منطقه آسیا (Tomar & Otoole, 1980) و نیز با مقادیر توصیه شده توسط فائو (Allen et al., 1989) همخوانی دارد. با توجه به عدم تغییر زیاد تاریخ کاشت محصول در دوره آینده نسبت به دوره فعلی، تفاوت زیادی در مقادیر KC بین دوره فعلی و آتی مشاهده نمی‌شود (جدول 6) و اختلاف جزئی مشاهده شده ضریب گیاهی این دو محصول در اکثر ماه‌ها به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد آن‌ها در دوره آینده است (جدول‌های 5 و 6).

گرده‌افشانی) بوده و شرایط آبی مرحله زایشی را کمتر تحت تأثیر قرار می‌دهند (جدول 5). نتایج مطالعه کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2001) نشان داد که تغییر اقلیم از طریق افزایش درجه حرارت باعث 26 روز کاهش در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد. آن‌ها نیز پیش‌بینی کردند که کاهش طول دوره رشد گندم عمدتاً ناشی از کاهش طول دوره کاشت تا گرده‌افشانی بوده و مرحله رشد زایشی کمتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. در کل درجه حرارت یک عامل محیطی تعیین‌کننده سرعت نمو و طول دوره رشد گیاه است. گل‌دهی و رسیدگی زودتر گیاهان زراعی در دهه‌های اخیر مشاهده و اغلب با دماهای گرم‌تر فصل رشد ارتباط داده شده است (Craufurd & Wheeler, 2009).

ضریب گیاهی (KC)

ضریب گیاهی محصول به عنوان تابعی از مراحل رشد و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله تاریخ برداشت، درجه حرارت، رطوبت

جدول 5- طول دوره رشد گندم و جو در دوره فعلی (1980-2009) و در آینده (دوره 2010 تا 2039) در بیرجند

Table 5- The length of growing period for wheat and barley in the current period (1980-2009) and future (2010-2039) in Birjand

محصول Crop	دوره زمانی Time frame	مراحل رشد (روز) growing stages (day)	مجموع				
			ابتدایی Initial	نمو Development	میانه فصل Mid-season	انتهای فصل End-season	Total
گندم Wheat	فعلی Current (1976-2006)	طول دوره رشد (روز) Growing period (day)	30	140	40	30	240
		درجه روز - رشد Growing degree-days	400	850	450	600	2300
		طول دوره رشد (روز) Growing period (day)	32	119	42	33	226
جو Barley	فعلی Current (1976-2006)	طول دوره رشد (روز) Growing period (day)	26	122	35	36	219
		طول دوره رشد (روز) Growing period (day)	31	93	38	31	193
		آتی Future (2010-2039)					

دارد. در ماه دسامبر میزان تبخیر و تعرق محصول نسبت به ماه قبلی (نوامبر) کاهش می‌یابد. در این ماه ساعات آفتابی کمتر و میزان ابرناکی و به دنبال آن مقدار بارش‌ها افزایش چشمگیری دارد، که این عوامل باعث کاهش تبخیر و تعرق محصول نسبت به ماه قبل می‌شود (جدول 6). در طول دوره رشد محصول، با افزایش ضریب گیاهی نیاز آبی بالا می‌رود. بر طبق برآوردها، محصول گندم در ماه می (اردیبهشت)، بالاترین نیاز آبی را دارد.

تبخیر و تعرق محصول (ET_C)

با توجه به تغییرات ET₀ (شکل 1)، و KC (جدول 6) تغییرات تبخیر و تعرق محصول (ET_C) در طول دوره رشد هر دو گیاه در شرایط فعلی و آتی، به تفکیک ماه‌های مختلف برآورد گردید (جدول 6). در شرایط فعلی مقدار ET_C در ماه اکتبر به دلیل کاشت گندم در دهه سوم این ماه (21 اکتبر) و نیز قرار داشتن هر دو گیاه در مراحل ابتدایی رشد و کم بودن سطح اندام‌های هوایی گیاه کمترین مقدار را

جدول 6- مقایسه ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق محصول گندم و جو به تفکیک ماه‌های مختلف در دوره فعلی و آینده در بیرجند
Table 6- Comparison of crop coefficient and evapotranspiration of wheat and barley in the current and future months in Birjand

ماه‌ها Months	گندم Wheat				جو Barley			
	ضریب گیاهی Crop coefficient (KC)		تبخیر و تعرق محصول (میلی‌متر) ET _C (mm)		ضریب گیاهی Crop coefficient (KC)		تبخیر و تعرق محصول (میلی‌متر) ET _C (mm)	
	دوره فعلی Current	دوره آتی Future	دوره فعلی Current	دوره آتی Future	دوره فعلی Current	دوره آتی Future	دوره فعلی Current	دوره آتی Future
	Current	Future	Current	Future	Current	Future	Current	Future
اکتبر October	0.4	0.4	14.9	20.2	0.3	0.3	29.6	34.7
نوامبر November	0.41	0.41	30.7	32.7	0.41	0.42	30.1	32.9
دسامبر December	0.54	0.58	28.8	32.8	0.62	0.7	32.7	39.9
ژانویه January	0.7	0.78	30.3	40.1	0.84	0.99	42.5	51
فوریه February	0.8	0.97	56	67	1.05	1.16	66.8	79.4
مارس March	1.04	1.14	116	135.4	1.16	1.00	128.3	116
آوریل April	1.16	1.16	183.2	188.2	0.81	0.37	123.5	27.2
می May	1.09	0.7	230	149.5	0.27	--	3.4	--
ژوئن June	0.51	--	71.9	--	--	--	--	--
مجموع Total			761.8	665.9			456.9	381.1

با توجه به افزایش درجه حرارت در تمام ماه‌های رشد گندم در شرایط آینده نسبت به دوره فعلی، میزان تبخیر و تعرق محصول در همه ماه‌ها به جز در ماه می افزایش می‌یابد (جدول 6). در دوره آینده، ماه می زمان برداشت محصول است و با توجه به مقدار KC، تبخیر و تعرق در این ماه نسبت به دوره فعلی کمتر می‌شود. به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد گندم در آینده، علی‌رغم افزایش درجه حرارت در دوره آینده، میزان کل ET_C محصول کمتر از دوره فعلی می‌باشد. در مورد جو، با توجه به افزایش درجه حرارت در ماه مارس در دوره آینده نسبت به دوره فعلی میزان تبخیر و تعرق محصول در این ماه در بیشترین میزان است، حتی با وجودی که در این ماه میزان KC محصول به علت کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد نسبت به شرایط فعلی کمتر شده (جدول 6)، و میزان بارش نیز افزایش یافته است (جدول 3). این نشان‌دهنده تأثیر بیشتر افزایش درجه حرارت بر روی تبخیر و

در این ماه حداقل و حداکثر درجه حرارت نسبت به ماه‌های قبلی بالاتر و میزان بارش‌ها کمتر می‌باشد (جدول 3). علی‌رغم افزایش بارش‌ها در ماه‌های مارس و آوریل (جدول 5)، به دلیل افزایش درجه حرارت و رسیدن گیاه به مرحله میانی با بیشترین میزان KC، تبخیر و تعرق جو نیز در این زمان به حداکثر می‌رسد (جدول 6). در دوره فعلی، مرحله انتهایی رشد گندم در ماه ژوئن (خرداد) و برای جو در اوایل ماه می (نیمه اردیبهشت) واقع شده است. فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه مثل تنفس و فتوسنتز محصول در این ماه کاهش یافته و سطح تعرق‌کننده گیاه به دلیل از دست رفتن برگ‌ها کم می‌شود، لذا در این ماه علی‌رغم افزایش حداقل و حداکثر درجه حرارت نسبت به ماه‌های قبل، میزان تبخیر و تعرق محصول کاهش می‌یابد (جدول 6). همچنین در منطقه بیرجند در دهه دوم این ماه برداشت محصول انجام می‌گیرد.

تعرق محصول است. در بررسی پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق در ایران به روش تجزیه‌عاملی مشخص شد که در هر یک از ماه‌های سال، یکی از پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه نقش مؤثرتری بر میزان تبخیر و تعرق و نهایتاً نیاز آبی داشته است؛ در این میان نقش دما و میزان ابرناکی که روی بارش‌ها تأثیرگذار است از بقیه مشهودتر بوده است (Malekinejad & Poormohammadi, 2008). کمترین میزان تبخیر و تعرق محصول جو در شرایط آینده در ماه آوریل می‌باشد که در انتهای دهه دوم این ماه برداشت محصول انجام می‌شود. علاوه بر آن درجه حرارت در این ماه نسبت به دوره فعلی تغییر محسوسی نداشته و میزان بارش‌ها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (جدول 3).

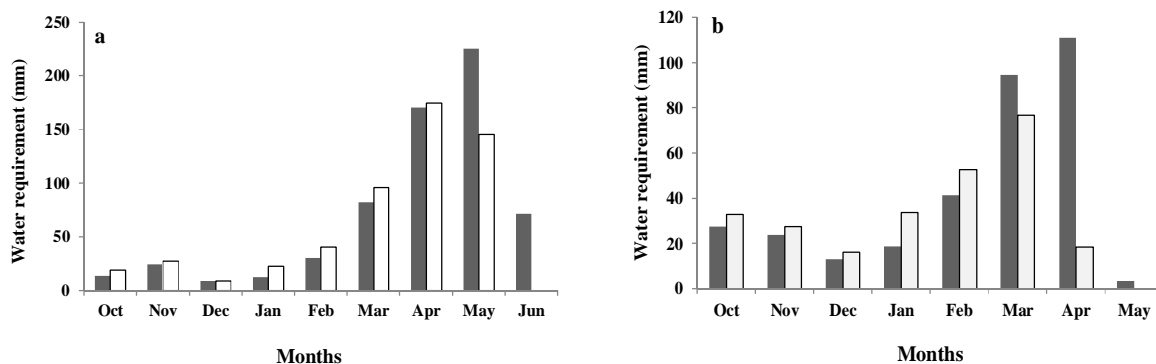
نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشان‌گر مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصول‌دهی به آن نیاز دارد (Alizadeh, 2011). بر اساس تبخیر و تعرق محصول (جدول 6) و با توجه به الگوی بارش در منطقه (جدول 3)، نیاز آبی هر دو محصول گندم و جو در طول دوره رشد، در شرایط فعلی و آبی برآورد گردید (شکل 2). بر طبق برآوردها نیاز آبی گندم در تمام طول فصل یکسان نیست، در فصل پاییز گیاه به آب کم‌تری نیاز دارد (47/1 میلی‌متر) تا در فصل بهار (125/6 میلی‌متر) که هنگام رشد و نمو فعال گیاه است. نیاز آبی جو در منطقه بیرجند نیز در ماه دسامبر (10 آذر تا 10 دی)، به علت کم بودن سطح برگ گیاه و اندام هوایی کم می‌باشد (شکل 2). علاوه بر آن میزان بارش‌ها در این ماه نسبت به ماه‌های قبل بیشتر می‌باشد که باعث افزایش بارش مؤثر و کاهش میزان نیاز آبی محصول می‌شود (جدول 3). چنانچه در فصل پاییز آب زیادی به گیاه داده شود نه تنها آب مصرف شده به هدر می‌رود، بلکه مقداری از کودهای شیمیایی محلول که به خاک داده شده شسته شده و به اعماق خاک می‌رود و از دسترس ریشه‌ها خارج می‌گردد (Emam, 2007). در بهار حساسیت گندم به کم آبی در همه مراحل رشد یکسان نیست و مراحل رشد طولی ساقه، غلاف رفتن و گل‌دهی نسبت کم آبی حساسیت بیشتری دارند (Nicholl, 1997). در کل چون گندم از شروع غلاف رفتن تا مرحله خمیری نرم (فصل بهار) نیاز آبی زیادی دارد نباید با تنش خشکی رو به رو شود، در غیر این صورت با کمبود عملکرد در واحد سطح رو به رو خواهد شد (Emam, 2007). نیاز آبی روزانه گندم در منطقه بیرجند از بهار تا رسیدگی محصول

بین دو تا هفت میلی‌متر متغیر است (شکل 2). با توجه به این‌که در منطقه بیرجند، مراحل نهایی رشد محصول گندم منطبق با شروع فصل خشک سال (میزان کم بارش و درجه حرارت بالا) می‌باشد، در نتیجه خاک با کمبود رطوبت مواجه شده و ادامه این روند موجب وارد شدن تنش به محصول می‌شود، بنابراین باید کسری رطوبت از طریق آبیاری جبران شود. در کل، مقدار آب مورد نیاز زراعت گندم از مرحله جوانه‌زنی تا رسیدن در حدود 6000 مترمکعب در هکتار (با تغییراتی بسته به منطقه) می‌باشد، البته این مقدار آب باید در دسترس گیاه باشد (Emam, 2007). در این مطالعه میزان نیاز آبی گندم در کل دوره رشد 240 روزه، 640 میلی‌متر یا 6400 مترمکعب در هکتار برآورد گردید. در پژوهش مشابه در منطقه زرقان استان فارس برای دوره 220 روزه رشد محصول گندم، نیاز آبی 624 میلی‌متر به دست آمده است (Niazi et al., 2005). لازم به ذکر است این برآورد در شرایط استاندارد بوده و در عمل، کشاورزان آب بیشتری به مزرعه می‌دهند. در بخش‌هایی از دشت بیرجند زمین به علت شرایط فیزیکی نامناسب خاک، سخت و نفوذناپذیر شده و کشاورزان به ناچار جهت تسهیل خروج گیاهچه‌ها از خاک، آبیاری‌های اولیه زمین را سنگین انجام می‌دهند. علاوه بر آن در بعضی نقاط دشت بیرجند بالا بودن شوری خاک باعث می‌شود تا کشاورزان اقدام به آبشویی خاک با آبیاری سنگین نمایند.

با کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد گندم و جو به موازات افزایش بارش‌ها در شرایط آینده، میزان نیاز آبی محصول در کل دوره رشد، در این دوره نسبت به دوره فعلی کاهش می‌یابد (شکل 2). این کاهش برای محصول گندم 19/5 و برای محصول جو حدود 22/5 درصد در کل دوره رشد است. علت عمده این کاهش، کوتاه شدن طول دوره رشد محصول و وقوع دوره‌های میانی و انتهایی رشد در دماهای پایین‌تر طی سال، و نیز تغییرات میزان KC محصول نسبت به دوره پایه به موازات افزایش بارش‌ها می‌باشد (جدول‌های 3 و 6).

در بررسی تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا با افزایش دما در دهه‌های آتی بر روی تبخیر و تعرق گیاهان زراعی در نواحی مرکزی بلژیک مشخص شد که در خصوص محصولات بهاره - پاییزه نظیر گندم، افزایش نیاز آبی مورد توجه نخواهد بود، اما در عوض درمورد محصولات بهاره - تابستانه نظیر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، افزایش معنی‌داری در نیاز آبی رخ خواهد داد، به نحوی که این افزایش تبخیر - تعرق حتی با بستن روزنه‌ها و کاهش دوره رشد گیاه نیز جبران نخواهد شد (Baguis et al., 2010).



شکل 2- مقایسه نیاز آبی گندم (a) و جو (b) در ماه‌های مختلف در دوره فعلی (1980-2009؛ ستون‌های تیره) و در آینده (دوره 2010 تا 2039؛ ستون‌های روشن) در بیرجند

Fig. 2- Comparing crop water requirement for wheat (a) and barley (b) in different months in the current period (1980-2009; dark columns) and the future (2010-2039; light columns) in Birjand

توسعه‌ای مشاهده شد (جدول 4)، که بیان‌گر کاهش طول دوره رویشی بوده و بنابراین، احتمال می‌رود زیرساخت‌های تولیدی گیاه (برگ‌ها) فرصت کافی برای توسعه نداشته و نیز مواد کمتری در ساقه‌ها برای انتقال مجدد ذخیره شوند. بیان شده که افزایش CO₂ در آینده بر روی سرعت نمو بی‌اثر بوده و یا اثر اندکی خواهد داشت و سرعت نمو (عکس طول مدت از کاشت تا گل‌دهی) تا حد زیادی توسط واکنش‌ها به درجه حرارت و فتوپریود تعیین می‌شوند و تاکنون توجه زیادی به نقش فتوپریود و اثر متقابل آن با افزایش درجه حرارت نشده است (Craufurd & Wheeler, 2009). آنچه که در حال حاضر مشخص است، این است که تغییرات عملکرد گندم در مقیاس منطقه‌ای تا حد زیادی از الگوی افزایش درجه حرارت تبعیت خواهد کرد به طوری که در درجه حرارت‌های حداکثر روزانه بالاتر از 30 درجه روی عملکرد نهایی تأثیر می‌گذارد (Koocheki et al., 2001). پیش از این نیز برآورد شده بود که علی‌رغم تأثیر نسبی افزایش دی-اکسیدکربن، عملکرد گندم آبی کشور بسته به مناطق مختلف تولید و نوع مدل گردش عمومی به کار رفته، در دامنه بین 13 تا 28 درصد برای سال‌های 2050 میلادی کاهش خواهد یافت (Nassiri & Mahallati & Koocheki, 2006).

بدیهی است همگام با تغییر اقلیم، نیاز است شیوه‌های زراعی و مدیریت کشاورزی نیز جهت انطباق با تغییرات حتمی اقلیمی بهبود یابد. یکی از راهکارهای ساده و کم‌هزینه سازگاری، تغییر تاریخ کاشت

همچنین انتظار می‌رود کم‌شدن طول دوره‌های اولیه و توسعه‌ای رشد گیاه (جدول 5)، باعث کاهش سطح برگ گیاهان و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گیاهی شده (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2009) و به طبع آن میزان تعرق گیاهی در آینده کاهش یابد.

عملکرد گندم

با توجه به خروجی مدل DSSAT، متوسط عملکرد گندم با 33 درصد کاهش از حدود 4237/2 در شرایط فعلی به 2829/7 کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تغییر اقلیم خواهد رسید. علت کاهش عملکرد را می‌توان به دلیل تأثیر افزایش درجه حرارت بر طول دوره رشد محصول در شرایط تغییر اقلیم دانست. بیان شده است که کوتاه شدن مراحل نموی تحت این شرایط به احتمال زیاد عملکرد یک وارپته معین را کاهش خواهد داد (Craufurd & Wheeler, 2009). کاهش طول دوره رشد رویشی و نیز کوتاه‌تر شدن طول دوره رسیدگی دانه، کم شدن میزان تخصیص مواد به ساقه به عنوان مهمترین منبع انتقال مجدد، و افزایش فراوانی درجه حرارت‌های بالای بهاره در شرایط آینده نسبت به دوره فعلی و در نتیجه انطباق مراحل گل‌دهی گیاه با این درجه حرارت‌ها از جمله موارد احتمالی است که باعث کاهش عملکرد محصول گندم در آینده شناخته شده‌اند (Koocheki et al., 2001). در این تحقیق، بیشترین میزان کاهش در دوره

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که تغییر اقلیم یکی از چالش‌های اساسی فراروی بخش کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و مطالعات شبیه‌سازی اثرات آن در آینده، می‌تواند به برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان در جهت تأمین امنیت غذایی جامعه و رفاه تولیدکنندگان کمک نماید. باید دانست که اثر تغییر اقلیم بر گیاهان مختلف و در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود، و مجموعه‌ای از عوامل متغیر، مانند درجه حرارت و میزان بارش و ویژگی‌های گیاهی هستند که نیاز آبی یک محصول را تعیین می‌کنند. مدل‌های به کار رفته در این پژوهش قبلاً با موفقیت در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که استفاده از این مدل‌ها جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن بر نیاز آبی محصولات زراعی دشت بیرجند با دقت مطلوبی امکان‌پذیر خواهد بود. در حال حاضر، استفاده از این مدل‌ها تنها راه حل موجود جهت مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد.

و کاشت زودتر گیاهان جهت انطباق مراحل رشدی با درجه حرارت‌های مناسب و ممانعت از همزمانی دوره گل‌دهی گندم با درجه حرارت‌های بالا و نیز تعدیل اثرات سوء کاهش طول دوره رشد گندم می‌باشد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2005). همچنین بالا بردن مقاومت ارقام گندم کشت شده در منطقه بیرجند به درجه حرارت‌های بالا در طول دوره رشد و در زمان گل‌دهی به عنوان یک برنامه اصلاحی در جهت سازگاری به تغییر اقلیم می‌تواند مؤثر باشد. بیان شده است که تغییر تاریخ کاشت و اصلاح ارقام جدید با مقاومت بیشتر به خشکی و درجه حرارت‌های بالا کاهش عملکرد گندم در کشور را در شرایط اقلیمی 2025 و 2050 میلادی به ترتیب 13 و 21 درصد بهبود خواهد بخشید (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2009).

منابع

- 1- Abbasi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., and Borhani, R. 2010. Climate change prediction of south Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and Soil* 24(2): 218-233. (In Persian with English Summary)
- 2- Adinalp, C., and Cresser, M. 2008. The effect of global climate change on agriculture. *American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 3(5): 672-676.
- 3- Alizadeh, A. 2011. *Soil, Water and Plant Relationship*. 12th Ed. Emam Reza University Press, Mashad, Iran 356 pp. (In Persian)
- 4- Alizadeh, A., Dehghani-Sanij, H., and Moosavi, M. 2010. The effect of using on farm real time climatic data for calculating irrigation requirement on water use efficiency of corn. *Iranian Journal of Irrigation and drainage* 4(2): 308-318.
- 5- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M.R., Bannayan Aval, M., and Farid Hossaini, A. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. *Journal of Water and Soil* 24(4): 815-835. (In Persian with English Summary)
- 6- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper. NO. 56, Rome, Italy.
- 7- Ashraf, B., Mousavi-Baygi, M., Kamali, G.A., and Davari, K. 2012. Evaluation of wheat and Sugar beet water use variation due to climate change effects in two coming decades in the selected plains of Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6(2): 105-117. (In Persian with English Summary)
- 8- Babaeian, I., Najafi nik, Z., and Zakizadeh, A. 2005. The preliminary study and evaluation of the weather generator models. A Case Study: The evaluation of LARS-WG model on selected stations Khorasan. *Climatology Center. Project Report*. (In Persian)
- 9- Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., and Ntegeka, V. 2010. Climate change scenarios for precipitation and crop evapotranspiration over central Belgium. *Theoretical Applied Climatology* 99: 273-286.
- 10- Banivahab, A.R., and Alijani, A. 2005. Studying droughts and forecasting precipitation and temperature in Birjand area. *Geographical Research Quarterly* 37(52): 13-31 (In Persian with English Summary)

- 11- Bradley, N.L., Leopold, A.C., Ross, J., and Wellington, H. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 96: 9701-9704.
- 12- Craufurd, P.Q., and Wheeler, T.R. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. *Journal of Experimental Botany* 60(9): 2529-2539.
- 13- Emam, Y. 2007. *Cereal Production*. The third Ed. Shiraz University Press, Shiraz, Iran 192 pp. (In Persian)
- 14- Farajzadeh, M., and Feyzi, V. 2012. Climate change assessment of Tabriz weather station at 2010-2100 period using downscale data LARS-WG model. *Territory (Sarzamin)* 9(1): 65-78. (In Persian with English Summary)
- 15- Fitter, A.H., and Fitter, R.S.R. 2002. Rapid change in flowering time in British plants. *Science* 296: 1689-1691.
- 16- Fulu, T., Masayuki, Y., Yinlong, X., Yousay, H., and Zhao, H. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China. *Agricultural and Forrester Meteorology* 138: 82-92.
- 17- Frich, P., Alexavder, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Heylock, M., Klein Tank, A.M.G., and Peterson, T. 2002. Observed coherent change in climatic extremes during the second half of the 20 century. *Climate research* 19: 193-212.
- 18- Hussain, S.S., and Mudasser, M. 2007. Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan-An econometric analysis. *Agriculture Analysis* 94: 494-501.
- 19- IPCC. 1995. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses*. Cambridge University Press 878 pp.
- 20- Kamali, G. 1989. *Bioclimatic studies of saffron in Southern Khorasan*. Iranian Research Organization for Science and Technology. Research Report. (In Persian)
- 21- Kardavani, P. 2007. *Drought and Ways of Dealing with it (Water in Agriculture, Industry and Urban)*. Tehran University Publications 392 pp. (In Persian)
- 22- Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Journal of Iranian Field Crop Research* 6(1): 139-154. (In Persian with English Summary)
- 23- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Sharifi, H.R., Zand, E., and Kamali, G. 2001. A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO₂ concentration in Mashhad conditions. *Desert* 6(2): 117-127. (In Persian with English Summary)
- 24- Koocheki, A., Nassiri, M., Sharifi, H.R., Soltani, A., Kamali, G.A., and Rezvani Moghaddam, P. 2003. Simulation of changes in climatic parameters of Iran under doubled CO₂ concentration using general circulation models. *Desert* 8 (2): 178-191 (In Persian with English Summary)
- 25- Lal, M., Singh, K.K., Rathore, L., Srinivasan, G., and Saseendran, S.A. 1998. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 89: 101-114.
- 26- Malekinejad, H., and Poormohammadi, S. 2008. Determination of main important climatic factors on evaporation of arid zones using rotated factor analysis procedure. *Water resource. Conference. Tabriz, Iran* p. 215.
- 27- Mansouri, E. 2012. Predict of wheat cultivars yield impact of climate change in Southern Khorasan province by using DSSAT model. MSc thesis in water resources engineering. Faculty of Agriculture, University of Birjand. (In Persian with English Summary)
- 28- Mohajerani, H., Mosaedi, A., Kholghi, M., Maftah Halghi, M., and Saad Aldin, A. 2011. Estimating crop water requirement of wheat by Cropwat model in Kordkouy-Golestan province. National Conference on Water Scarcity and Drought Management in Agronomy. 23-24 Feb. Islamic Azad University of Arsanjan, Iran.
- 29- Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2005. Effects of climate change on agroclimatic indices in rainfed wheat production areas of Iran. *Journal of Iranian Field Crop Research* 3(2): 291-303. (In Persian with English Summary)
- 30- Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2006. Analysis of agroclimatic indices of Iran under future climate change scenarios. *Journal of Iranian Field Crop Research* 4(1): 169-182. (In Persian with English Summary)
- 31- Niazi, J., Fooladmand, H.R., Ahmadi, S.H., and Vaziri, J. 2005. Water requirement and crop coefficient of wheat in Zarghan area, Fars province. *Journal of Water and Soil Science Isfahan University of Technology* 9(1): 1-8. (In Persian with English Summary)
- 32- Nikbakht, J., Mohammadi, K., and Ehteshami, M. 2007. Estimation of crop evapotranspiration in different probability levels: Case study in Maragheh, East Azarbaijan. *Journal of Agricultural Sciences (Islamic Azad University)* 13(1): 95-106. (In Persian with English Summary)
- 33- Osamu, T., Yoshida, K., Hiroaki, S., Katsuhiko, H., and Hajime Tangi, H. 2005. Estimation of irrigation water

- using cropwat model at KM35 project site, in Savannakhet, LAO, PDR. Proceedings of the International Symposium on Role of Water Sciences in Transbounday River Basin Management. 10-12 March. Ratchathani, Thailand.
- 34- Rahimzadeh, F., and Asgari, A. 2005. A look at difference of increase rates of minimum with maximum temperature and at decrease rates of Diurnal temperature range (DTR) in Iran. Iranian Quarterly Geographical Research Journal 73: 153-171. (In Persian)
- 35- Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's manual, Version 3.0. Rothamsted Research Station 28 pp.
- 36- South Khorasan government. 2007. The geographical and natural situation of Birjand County. Available at Web site http://www.sk-portal.ir/index.php?id=164&option=com_content&task=view (verified 3 September 2013).
- 37- Tomar, V.S., and Otoole, J.C. 1980. Water use in lowland rice cultivation in Asia. A review of evapotranspiration. Agricultural Water Management 3: 83-106.



Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain)

M. Rahmani¹, M. Jami Al-Ahmadi^{2*}, A. Shahidi³ and M. Hadizadeh Azghandi⁴

Submitted: 06-10-2013

Accepted: 29-06-2015

Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., and Hadizadeh Azghandi, M. 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). Journal of Agroecology 7(4): 443-460.

Introduction

The global climate is changing and, despite efforts to reduce greenhouse gas emissions, weather variation is inevitable. Meanwhile, agriculture as a major water consumer will require adaptation to these variations, along with other challenges, to guarantee its persistence and sustainability. Given the arid and semi-arid climate of Iran, water, as a main limiting factor for agricultural production, plays an important role in determining the type of farming activities (Osamu et al., 2005). Crop water requirements and evapotranspiration are the main cause of water consumption in agricultural sector, the both accepted to face a dramatic increase in future under influence of increasing temperatures resulting from climate change (Koocheki et al., 2001). In this regard, the foreknowledge about future changes in climate and its effects on agricultural water use can be helpful for farmers and decision-makers. This study aimed to evaluate the climatic conditions of Birjand plain in the next two decades, and to investigate the effects of climate change on water consumption of wheat and barley as two main crops in this region.

Materials and methods

In the present survey, the effects of estimated climate change in Birjand plain on water requirement of wheat and barley and wheat yield in the 2010-2039 period were studied. Based on average weather data for the last thirty years from Birjand synoptic stations, climatic parameters of temperature and precipitation for the time period of 2010-2039 were simulated with LARS-WG5 using A₁ scenario confirmed by the IPCC. Wind speed and relative humidity also were estimated for the future period. Common planting and harvesting dates were obtained from local farmers and Birjand Agriculture Organization and duration and crop coefficients (Kc) for early, developmental, middle and final crop growth stages in the current period were extracted from FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. For the future period, these dates and growth stages duration were estimated by matching the average daily temperature at the current time with the time of their occurrence in the future. The reference and crop evapotranspiration were calculated based on Penman-Monteith equations and effective rainfall was determined with USDA method. Crop water requirement was also calculated using the CropWat software and effects of climate change on crop yield was evaluated using DSSAT model. The genetic factors were taken from the study of Mansouri (2012) in Birjand. Other required input data (edaphic and crop data) obtained from Agricultural Organization and local farmers.

Results and discussion

The results showed that the minimum and maximum temperatures of the future years will increase, and there would be an approximately 3.5 percent more annual rainfall in the future decades. The largest temperature increase will occur in cold months, with a maximum rise in temperature of 2 °C in February. Overall, the average maximum temperature for 2010-2039 would be up to 0.6 °C higher than current period in Birjand. These higher temperature will result a significant decrease in the length of crop growth period, so that the time of planting to maturity will be reduced from 240 and 219 days (in current terms) to 227 and 193 days (in the future)

1, 2, 3 and 4- Former MSc student in Agroecology, Associate Professors, Assistant Professor and former MSc student in Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, respectively.

(* - Corresponding author Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)

for wheat and barley, respectively. Koocheki et al. (2001) has estimated 26 days shorter growing season for wheat in Mashhad due to higher temperatures in future. Despite higher reference evapotranspiration, crop water requirement will drop in the future between 19.5 percent (wheat) to 22.5 percent (barley), due to earlier planting of these crops and their shorter growing period. Indeed, due to the shorter duration of crop growth under climate change condition, the wheat yield will be reduced by about 30 percent. It was also previously estimated that despite an increase in carbon dioxide, wheat yield will be lower between 13 and 28 percent towards year 2050, which depends to location and employed general circulation models. Obviously, the agricultural practices and management should improve to comply with the inevitable climate changes. Increasing tolerance of wheat cultivars grown in this area to higher temperatures, especially during flowering time, can be effective in order to adapt to climate change.

Conclusion

Climate change is one of the main challenges facing the agricultural sector, especially in arid and semi-arid regions, and simulation of its effects in the future, can be useful for the planning and policy making to ensure food security for the community and welfare for the producers. The models which used in this study have already been successfully used in different studies. Our results showed that the use of these models to predict climate change and its effects on crops water requirements in Birjand plain will be possible with a good accuracy.

Keywords: Crop coefficient, Evapotranspiration, General atmosphere circulation model, LARS-WG

References

- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Sharifi, H.R., Zand, E., and Kamali, G. 2001. A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO₂ concentration in Mashhad conditions. *Desert* 6(2): 117-127. (In Persian with English Summary)
- Mansouri, E. 2012. Predict of wheat cultivars yield impact of climate change in Southern Khorasan province by using DSSAT model. MSc Thesis in Water Resources Engineering. Faculty of Agriculture, University of Birjand. (In Persian with English Summary)
- Osamu, T., Yoshida, K., Hiroaki, S., Katsuhiko, H., and Hajime Tangi, H. 2005. Estimation of irrigation water using Cropwat model at KM₃₅ Project Site, in Savannakhet, LAO, PDR. Proceedings of the International Symposium on Role of Water Sciences in Transboundary River Basin Management. 10-12 March. Ratchathani, Thailand.