



پیش‌بینی تغییرات تقویم زراعی جو دیم (*Hordeum vulgare* L.) در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ استان لرستان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM₃

محمود احمدی^۱، مصطفی فلاحی خوشجی^{۲*} و امید مفاخری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

احمدی، م.، فلاحی خوشجی، م.، و مفاخری، ا. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییرات تقویم زراعی جو دیم (*Hordeum vulgare* L.) در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ استان لرستان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM₃. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۲): ۴۷۵-۴۸۹.

چکیده

تغییر اقلیم یکی از دغدغه‌های محققان طی دهه‌های اخیر می‌باشد که توجه زیادی را به خود معطوف نموده است. نتایج به‌دست‌آمده به نقش انسان در این سیستم بیشتر جلب توجه می‌نماید. یکی از حوضه‌های به‌شدت تأثیرپذیر بخش کشاورزی و امنیت غذایی است. به دلیل افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی مطالعه اثرات تغییر اقلیم بسیار ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تقویم زراعی کشت جو دیم (*Hordeum vulgare*) در استان لرستان به‌عنوان یک منطقه و قطب مؤثر در کشت غلات می‌باشد. جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم بر مبنای مدل‌های گردش عمومی (GCM) از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد. داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در دوره آماری ۳۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۸۰) برای شش ایستگاه به‌عنوان داده‌های مبنای استفاده شد و با استفاده از مدل LARS-WG و گردش عمومی HadCM₃ و سناریوی A₂ تا افق ۲۰۳۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاریخ کشت در تمام ایستگاه‌ها زودتر اتفاق خواهد افتاد و طول دوره رشد در تمام ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد، بیشترین کاهش طول دوره رشد در ایستگاه الیگودرز با ۶۲ روز می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده راهکارهای از قبیل تغییر تاریخ کشت، تغییر تقویم آبیاری، جهت سازگاری و افزایش کشت جو دیم در منطقه که می‌تواند کمک بزرگی به کشاورزان داشته باشد ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سازگاری، کشاورزی، مدل‌سازی

مقدمه

تغییر جهانی اقلیم یکی از مواردی است که در دهه‌های اخیر توجه محققان را به خود معطوف کرده است. بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. توسعه روش‌های مدل‌سازی، جایگزینی مناسب و کم‌هزینه برای این نوع مطالعات است که در حال حاضر مورد توجه محققین است. مدل‌های گردش عمومی ابزار مناسب در عین حال دقیقی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده بوده و داده‌های لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی و رشد و نمو محصولات زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم را فراهم می‌سازند (Jones et al., 2003). به‌طور یقین، بخش کشاورزی بیشترین ارتباط و تأثیرپذیری را از شرایط محیط اطراف و به‌خصوص اقلیم دارد، به‌گونه‌ای که ویژگی‌های اقلیمی (پتانسیل و محدودیت‌های اقلیمی) در بلندمدت، منجر به تعیین الگوی کشت و توجیه پراکنش

تغییر جهانی اقلیم یکی از مواردی است که در دهه‌های اخیر توجه محققان را به خود معطوف کرده است. بسیاری از مطالعات حاکی از تأثیر شگرف انسان بر اقلیم جهانی است. نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده این پدیده را تأیید می‌کند (Alijani et al., 2009; Koocheki & ...)

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشگر جهاد دانشگاهی واحد لرستان (دانشجوی دکتری تغییرات آب و هوایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی) و دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی

(*- نویسنده مسئول: (Email: Fallahimostafa@yahoo.com)

تأثیر معنی‌داری بر روی آغاز گلدهی مخصوصاً درختان زود گل، دارد. دینگ و همکاران (Ding et al., 2006) به آشکارسازی تغییر اقلیم چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که فراوانی و اندازه‌ای رخدادهای اقلیمی در پنج سال گذشته روند معنی‌داری داشته است. در این تحقیق از ۴۰ مدل اقلیم برای آشکارسازی تغییر اقلیم استفاده شده است. اسمیت و همکاران (Smith et al., 2010) برای ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی محصولات کشاورزی در جنوب ایتالیا از ۱۵ مدل اقلیم جهانی و سه سناریوی گرمایش جهانی بهره بردند. در ایران اکثر تحقیقات تغییر اقلیم بر اساس آشکارسازی تغییرات دو متغیر اصلی دما و بارش در دوره‌های تاریخی گذشته تمرکز داشته است. همچنین در محدوده مطالعاتی که با استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی صورت گرفته است، کمتر به جنبه‌های کاربردی میزان تغییرات پیش‌بینی‌شده بر بخش‌های کشاورزی پرداخته شده است. مؤمنی (Momeni, 2003) نقش تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر ناپایداری اکولوژیکی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت تغییر اقلیم بر ناپایداری اکولوژیکی مؤثر بوده و نظام طبیعی آن را دگرگون ساخته است. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد نخود دیم (*Cicer arietinum* L. در شمال غرب کشور باعث افزایش ۱۷ درصدی عملکرد نخود دیم در آینده خواهد شد (Barzegar et al., 2007). نتایج پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر آینده اقلیم استان خراسان توسط دو مدل NASA-GISS و NASA-GFDL نشان داد تغییرات ممکن است اثرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های زراعی داشته باشد (Jafari et al., 2007). بر اثر تغییر اقلیم میانگین بارش سالانه، مجموع بارش سالانه در طول دوره رشد گیاه و متوسط دمای روزانه در منطقه رودست اصفهان در دو سناریو B₁ و A₂ افزایش خواهند یافت. در هر دو سناریو به‌ویژه سناریوی B₁ احتمال (ریسک) کاهش محصول نسبت به مقدار میانگین دور مینا افزایش می‌یابد (Ababaei et al., 2010). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر ذرت (*Zea mays* L.) با استفاده از مدل LARS-WG نشان داد که این مدل پیش‌بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در شرایط تغییر اقلیم آینده دارد و همچنین طول دوره کاشت تا گلدهی و همچنین طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در اکثر سناریوهای مورد استفاده کاهش را نشان می‌دهد. نتایج این شبیه‌سازی نشان داد که عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم از ۱۱ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش می‌یابد (Moradi et al.,

گونه‌های گیاهی مختلف شده است. متأسفانه بخش کشاورزی به دلیل قدرت سازگاری کم، بیشترین تأثیر را از تغییرات اقلیمی متحمل خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود در اثر تغییرات اقلیمی و گرم شدن هوا، مناطق جنگلی به سمت شمال سوق پیدا کنند، بنابراین جغرافیای کشاورزی در این مناطق، تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گیرد (Koocheki et al., 1998). بر اساس بررسی‌های هیئت بین‌الدول مهم‌ترین عواقب تغییر اقلیم عبارت‌اند از؛ تشدید بحران‌های اقلیمی، گرم شدن عرض‌های جغرافیایی بالا، کاهش قابلیت دسترسی به آب و پیشرفت باران‌های موسمی به سمت قطب (Agricultural Research Institute of Planning & Economy, 2006). بسیاری از محققین تفسیرهای متفاوتی از پیامدهای تغییر دما بر روی مراحل مختلف فنولوژی بیان نموده‌اند (Carroll et al., 2009; Orlandi et al., 2005). به همین دلیل، محققان از محاسبات مختلف برای تعیین پیامدهای تغییر دما بر گیاهان استفاده می‌کنند (Wielgolaski, 1999; Crepinsek, 2006). توجه به اهمیت وضعیت آب و هوا و اقلیم بر بخش کشاورزی و دستیابی به پیش‌بینی‌های بلندمدت در این بخش ضروری می‌باشد. پیدایش مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) و منطقه‌ای (RCM) این امکان را به وجود آورده است تا محققان بتوانند تأثیر آب‌وهوا را در مقیاس‌های زمانی بلندمدت بر محصولات مختلف کشاورزی بررسی نمایند. برخی تغییرات در دوره رشد گیاهی در پاسخ به تغییر شرایط اقلیمی، در مقیاس محلی و منطقه‌ای قابل مشاهده است. فنگمی و همکاران (Fengmei et al., 2009) با استفاده از سناریوی B₂ و مدل‌های اقلیم منطقه (RCM) پیامدهای تغییر اقلیم بر روی برنج (*Oryza sativa* L.) در طی سال‌های ۲۰۹۰-۲۰۷۰ میلادی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که با در نظر گرفتن اثر مستقیم دی‌اکسید کربن عملکرد برنج در همه ایستگاه افزایش می‌یابد، اما در نظر گرفتن اثر غیرمستقیم دی‌اکسید کربن عملکرد برنج کاهش پیدا می‌کند. لورا و همکاران (Laura et al., 2010) از مدل‌های تغییر اقلیم برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی تغییر زمان گلدهی درختان در لیتوانی استفاده کردند. در این تحقیق از اطلاعات فنولوژی ۳۰ ساله، دمای هوا و خروجی دو مدل ECHAM5-HadCM₃ استفاده شد و سه سناریوی A₁B و A₂ B₁ مدنظر قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای هوا

1- General circulation models

2- Regional circulation model

است. لرستان با سهم ۷/۸ درصدی از سطح برداشت جو در کشور دارای رتبه چهارم و از لحاظ میزان تولید با سهم ۶/۳ درصدی نیز در رتبه چهارم قرار دارد. جو دیم بیشترین سطح کشت شده نسبت به سایر محصولات در استان را دارد (Agricultural Statistics, the Ministry of Agriculture, 2013). بنابراین، با توجه به اینکه وسعت زیادی از اراضی استان لرستان به کشت دیم جو اختصاص دارد و کشت این محصول نقش مهمی در اقتصاد این منطقه دارد و نیز با توجه به اهمیت اثر تغییر اقلیم بر تولید کشاورزی و نقش آن در اقتصاد کشور اهمیت موضوع نمایان می‌باشد. هدف این مطالعه موردی محاسبه تقویم زراعی در دوره پایه و یک تقویم در دوره پیش-بینی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه استان لرستان با مساحت ۷۳۰۱۳ کیلومترمربع در غرب ایران بین ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. از ایستگاه‌های سینوپتیک خرم‌آباد، الشتر، پل دختر، کوه‌دشت، الیگودرز و بروجرد استفاده گردید. جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اتمسفری-اقیانوسی گردش عمومی جو (GCM) استفاده شد. برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM₃، از مدل ریزمقیاس‌کننده LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضعیت آب‌وهوا می‌باشد، استفاده شد. مدل گردش عمومی جو HadCM₃ یک مدل جفت شده جوی اقیانوسی است که در مرکز تحقیقاتی HCCPR₅ در انگلیس اجرا شده و این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. سناریوی تغییر اقلیم A₂ در مطالعه فعلی استفاده شد. در سناریوی A₂ جمعیت دنیا به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد، توسعه اقتصادی منطقه محور و افزایش دما (۲ تا ۵/۴ درجه) می‌باشد. برای اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در دوره آماری ۳۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد که این دوره به‌عنوان دوره پایه برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفت. مدل LARS-WG در سه مرحله اجرا می‌شود که شامل کالیبره کردن، ارزیابی داده‌ها و تولید داده برای آینده است.

مندنی و همکاران (Mandani et al., 2012) نشان دادند که در شرایط تغییر اقلیم به علت تسریع مراحل نمو، طول دوره رشد گندم (*Triticum aestivum* L.) از ۲۴۸ به ۲۱۲ روز کاهش می‌یابد و در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با شرایط اقلیم فعلی افزایش متوسط درجه حرارت منجر به کاهش میانگین عملکرد دانه گندم در تراکم‌های مختلف آفت سن تا حدود ۴۲ درصد و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن منجر به افزایش آن تا حدود ۹۱ درصد می‌شود. همچنین برهمکنش افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و درجه حرارت نیز باعث کاهش میانگین عملکرد دانه تا حدود ۱۰ درصد نسبت به شرایط اقلیم فعلی می‌شود. بنابراین در شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با شرایط اقلیم فعلی، میانگین میزان خسارت سن گندم در تراکم‌های مختلف بر عملکرد دانه گندم حدود دو درصد افزایش می‌یابد. زرکانی و همکاران (Zarakani et al., 2014) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر اقتصاد گندم دیم در خراسان شمالی نشان دادند که تغییر اقلیم باعث افزایش عملکرد محصول می‌گردد. هاشمی نصب و همکاران (Hashemi nasab et al., 2014) به پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس‌کننده لارس (LARS-WG) و مدل گردش عمومی HadCM₃ پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین سالانه بارش در همه ایستگاه‌ها می‌باشد و در مجموع میانگین بارش رو به افزایش است. رحمانی و همکاران (Rahmani et al., 2015) نشان دادند که در آینده درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابند و متوسط بارش سالانه نیز حدود ۵/۳ درصد بیشتر خواهد بود. با وجود بیشتر شدن تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دلیل کاشت زودتر گندم و جو (*Hordeum vulgare* L.) و کوتاه شدن طول دوره رشد آن‌ها نیاز آبی محصولات در آینده بین ۵/۱۹ درصد (گندم) تا ۵/۲۲ درصد (جو) کمتر خواهد شد. از سوی دیگر، عملکرد گندم نیز به علت کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد محصول تحت تأثیر تغییر اقلیم حدود ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت.

در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ سطح برداشت جو در کشور حدود ۱/۶۴ میلیون هکتار برآورد شده که حدود ۱۳/۴ درصد از کل سطح محصولات زراعی و ۱/۴ درصد از کل سطح غلات کشور می‌باشد که سهم اراضی آبی ۴۳/۷ درصد و سهم اراضی دیم ۵۶/۳ درصد بوده

جدول ۱- نمایه درجه روز موردنیاز جو

Table 1- Profile of GDD required barley

مرحله رشدی Growth phase	نیاز حرارتی (درجه سانتی‌گراد) GDD (°C)
از کاشت تا تولید جوانه‌زدن From Implant to Proliferation	190-200
از جوانه‌زدن تا پنجه‌زدن From Proliferation to paw	370-375
از تولید پنجه‌زدن تا گل‌دادن From paw to Flower	530-535
از گل‌دادن تا تولید دانه حدود From Flower to Shelling	830-835

برای محاسبه مراحل فنولوژی از روش درجه روزهای رشد (GDD) طبق معادله (۲) استفاده شد، مبنای کار در این روش جمع-بندی درجه حرارت‌های مؤثر یعنی درجه حرارت‌های است که بالاتر از صفر پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه است. این درجه حرارت به نوع گیاه بستگی دارد، در این تحقیق صفر فیزیولوژیکی برای جو صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Quantum, 1975).

$$HU = \sum_1^N = \left[\frac{T_M + T_m}{2} \right] - T_b \quad (2)$$

HU: تعداد درجه حرارت‌های مؤثری که طی n روز جمع‌آوری شده، Tm: درجه حرارت حداقل روزانه، Tm: درجه حرارت پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N: تعداد روزها در یک‌زمان مشخص می‌باشد.

روش تعیین طول یک مرحله فنولوژیک

به‌منظور تعیین مدت‌زمان بین دو مرحله فنولوژیک بر اساس سیستم درجه حرارت مؤثر از معادله (۳) استفاده شد (Shagivandi, 2009).

$$N = \frac{A}{T - B} \quad (3)$$

در این معادله، N: مدت‌زمان بین دو مرحله فنولوژیک (برحسب روز)، A: مجموع درجه حرارت‌های مؤثر لازم برای تکمیل مرحله موردنظر و T: درجه حرارت متوسط محیط در طی مرحله موردنظر و B: صفر پایه محصول می‌باشد.

با استفاده از این رابطه می‌توان با توجه به آمار درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه مراحل فنولوژی جو دیم را پیش‌بینی نمود.

به‌منظور تعیین بهترین زمان کاشت محصول جو دیم و بهترین زمان‌های وقوع هر یک از مراحل فنولوژی (جوانه‌زدن، پنجه‌زدن، گل-دادن و درنهایت، رسیدن محصول) در استان لرستان، داده‌های هر یک

خروجی این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش یا ساعات آفتابی می‌باشند. در مرحله ارزیابی مدل، خروجی مدل مورد آنالیز قرارگرفت. با استفاده از ضریب تعیین (R²) و انحراف معیار اقدام به ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) موجود در دوره پایه شد. پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن مدل، از آن برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM₃ استفاده شد.

مقادیر روزانه بارش و دما برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از سناریو تغییر اقلیم A₂ تولید شد، در مرحله بعد اقدام به تعیین تقویم زراعی برای دوره مشاهداتی و دوره پیش‌بینی شد. برای تعیین تقویم در دوره پایه از آمار بلندمدت ایستگاه‌های استان لرستان از سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ میلادی استفاده شد، سپس به تجزیه و تحلیل و دسته‌بندی آن‌ها طی مراحل فنولوژی پرداخته شد. از آزمون تصادفی بودن^۱ برای صحت و همگنی داده‌ها استفاده شد. در این تحقیق با توجه به درجه حرارت مناسب برای جوانه‌زنی در منطقه، جهت یافتن مناسب‌ترین زمان کشت جو دیم، فقط بر عنصر بارش تأکید شده است، سعی شده به یک تقویم کاشت بر اساس شروع بارندگی دست پیدا کنیم، بر اساس وضعیت اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک برای تعیین تاریخ کشت از تعریف زیر استفاده شد.

تاریخ شروع بارندگی از مبدأ (مهرماه): روزی است که

جمع بارندگی به پنج میلی‌متر برسد، به شرطی که پانزده روز بعد از آن خشک نباشد (Mohammadi, 2007). تاریخ کشت جو دیم از طریق احتمال ویبول (معادله ۱) و با ضریب اطمینان ۵۰ و ۷۵ درصد محاسبه گردید، احتمال ویبول تجربی است و در برآورد بارش‌های فصلی از دیگر فرمول‌های تجربی بهتر است (Alizadeh, 1992).

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله p=تاریخ کشت به احتمال ۷۵ و ۵۰ درصد، m= شماره ردیف و n=تعداد داده‌ها می‌باشد.

پس از بررسی نتایج خروجی، تاریخ کشت برای هر ایستگاه به-دست آمد و سپس مراحل فنولوژی محاسبه گردید. نیازهای حرارتی جو در مراحل فنولوژی به‌قرار زیر است (Koocheki & Nassiri, 1994).

مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه شده است. نتایج نشان داد که داده‌های بارش و دما مشاهده شده و تولید شده دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۰ میلادی از همبستگی معنی‌داری برخوردار می‌باشند. با توجه به نمودارهای زیر، میزان R^2 دمای حداکثر و حداقل در همه ایستگاه‌های نمونه در سطح معنی‌داری قابل قبولی قرار داشت، برای دمای حداکثر و حداقل سه ایستگاه مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج، بالا بودن ضرایب همبستگی را نشان داد. به‌طور کلی در تمامی ایستگاه‌ها ضرایب همبستگی بین مقادیر مدل‌سازی شده و مشاهداتی، حداقل در سطح اعتماد ۰/۹۵ درصد معنی‌دار بود. بعد از اطمینان از توانایی مدل در پیش‌بینی، تقویم زراعی در دوره مشاهداتی و آینده به‌دست آمد.

از شهرستان‌ها از طریق نرم‌افزار Smada با تمام توزیع‌ها پردازش شد که از بین آن‌ها توزیع Pearson type III بهترین پردازش را برای تمام ایستگاه‌ها و در تمام مراحل داشت. به این ترتیب بهترین تقویم زراعی کشت جو دیم محاسبه گردید. برای دوره‌ای پیش‌بینی نیز از همین روش برای تعیین تقویم زراعی استفاده شد لذا پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن، داده‌های روزانه برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بر اساس سناریو تغییر اقلیم A₂ تولید شد. سپس اقدام به محاسبه تقویم زراعی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی شد و در نهایت، دو تقویم زراعی مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

در جدول (۲) مقادیر R^2 (ضریب تعیین) و SD (انحراف معیار) بارش و دما مشاهداتی و پیش‌بینی که برای نشان دادن دقت مدل

جدول ۲- بررسی شاخص SD و R^2 بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (ژانویه)

Table 2 - Evaluation of the correlation coefficient R^2 and SD Observed and predicted rainfall (January)

ایستگاه Station	ضریب تعیین R^2	مشاهداتی SD Observed	پیش‌بینی SD predicted
خرم‌آباد Khoramabad	0.96	107.5	100.1
کوه‌دشت Kuhdasht	0.92	61.1	55.5
الیگودرز Aligoodarz	.97	62.9	53
پلدختر Poldokhtar	0.95	71.9	69.9
بروجرد Broujerd	0.94	63.5	60

جدول ۳- بررسی شاخص همبستگی R^2 دما مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (ژانویه)

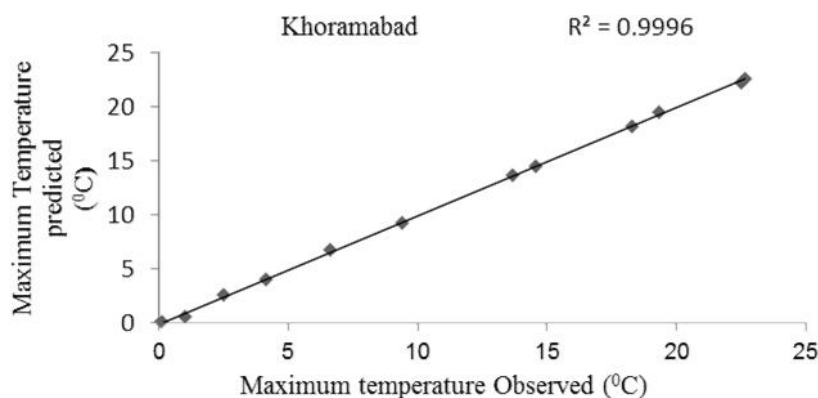
Table 3- Evaluation of the correlation coefficient R^2 Temperature observations and predicted (January)

ایستگاه Station	ضریب تعیین دمای حداقل R^2	ضریب تعیین دمای حداکثر R^2
	minimum temperature	maximum temperature
خرم‌آباد Khoramabad	0.9996	0.9997
کوه‌دشت Kuhdasht	0.9992	0.9996
الیگودرز Aligoodarz	0.9995	0.9987

جدول ۴- میانگین دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و انحراف معیار آن‌ها برای ماه مارس

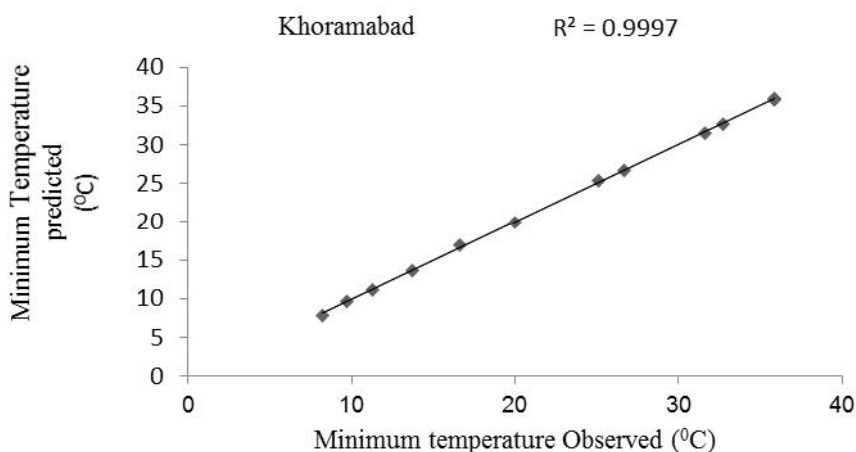
Table 4- Mean and standard deviations of observed and simulated data for March

ایستگاه Station	دمای حداقل		دمای حداکثر		انحراف معیار دمای حداقل		انحراف معیار دمای حداکثر	
	Minimum temperature		maximum temperature		Standard deviation maximum temperature		Standard deviation maximum temperature	
	مشاهده‌ای Observations	شبیه‌سازی Simulation	مشاهده‌ای Observations	شبیه‌سازی Simulation	مشاهده‌ای Observations	شبیه‌سازی Simulation	مشاهده‌ای Observations	شبیه‌سازی Simulation
خرم‌آباد Khoramabad	0.58	0.5	11.33	11	0.59	0.50	0.75	0.6
کوه‌دشت Kuhdasht	-1.5	-1.6	8.8	8.3	1.8	0.85	3.2	1
الیگودرز Aligoodarz	-6.3	-4.6	3.8	3.4	2.7	1	2.8	1



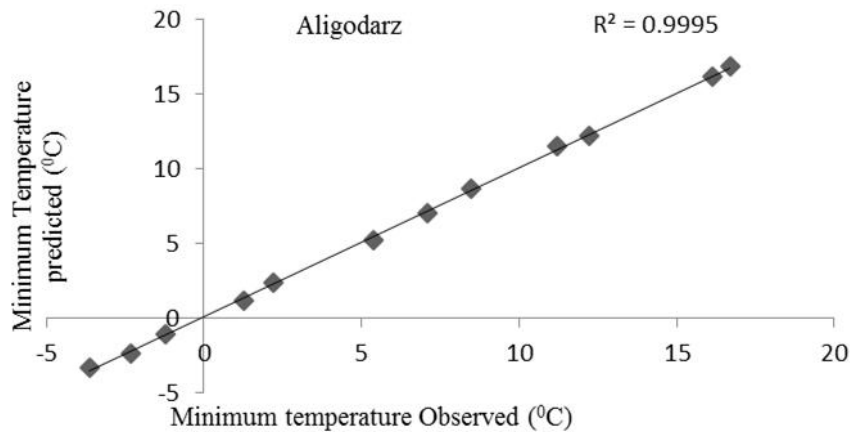
شکل ۲- ضریب تعیین حداکثر دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده ایستگاه در خرم‌آباد (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)

Fig. 2 - R^2 maximum temperature observations and forecasts Khorramabad station (1980-2010 and 2011-2030)

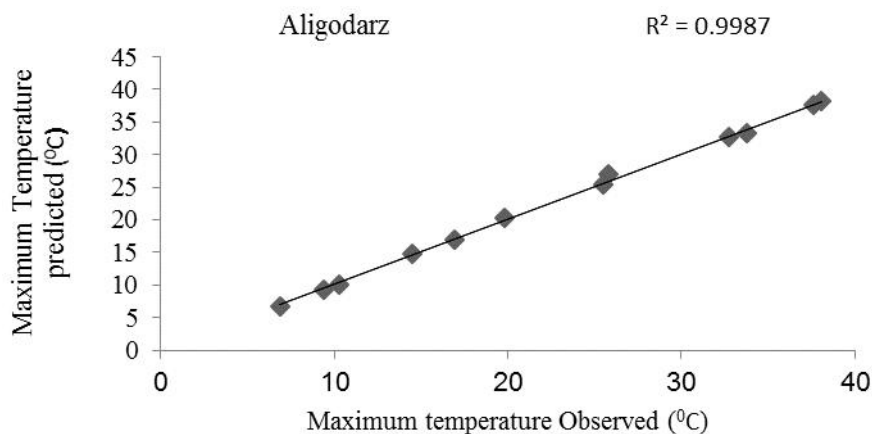


شکل ۳- ضریب تعیین حداقل دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه در خرم‌آباد (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)

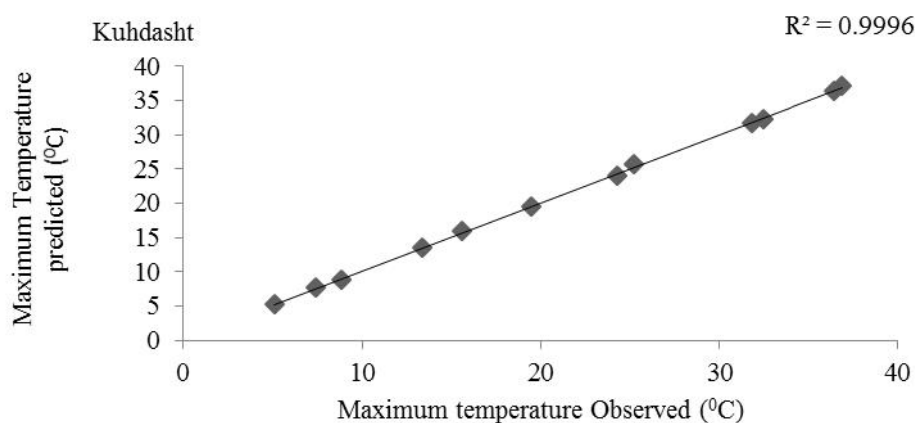
Fig. 3- R^2 minimum temperature observations and forecasts Khorramabad station (1980-2010 and 2011-2030)



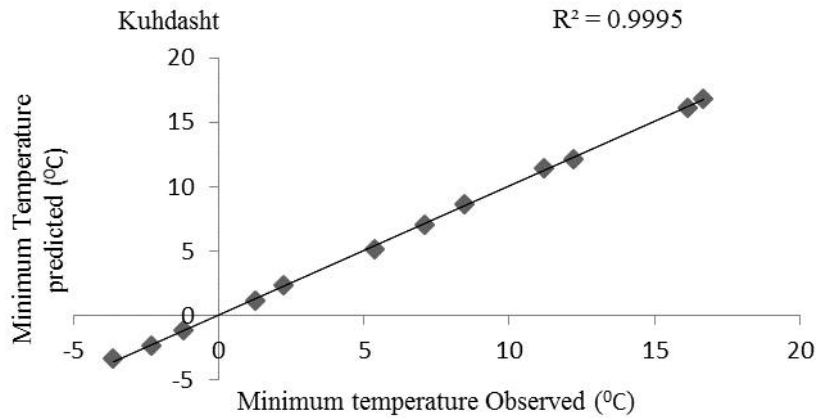
شکل ۴ - ضریب تعیین حداقل دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه الیگودرز (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 4- R² minimum temperature observations and forecasts Aligodarz station (1980-2010 and 2011-2030)



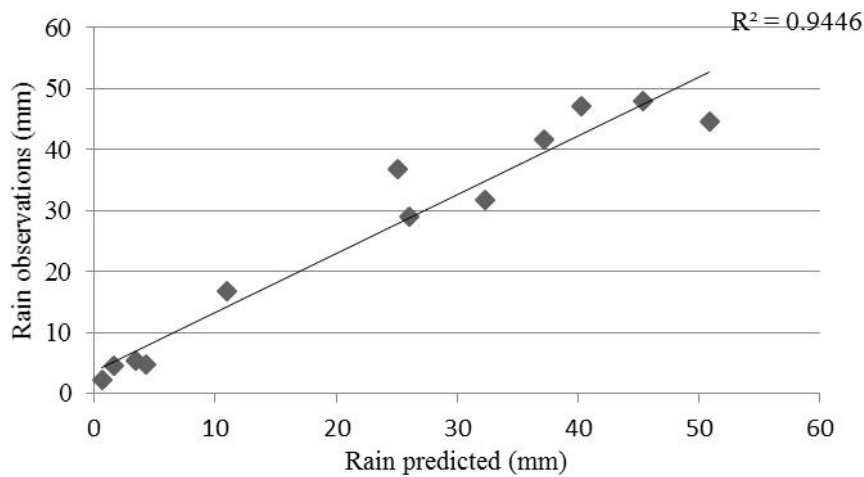
شکل ۵ - ضریب تعیین حداکثر دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه الیگودرز (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 5- R² maximum temperature observations and forecasts Aligodarz station (1980-2010 and 2011-2030)



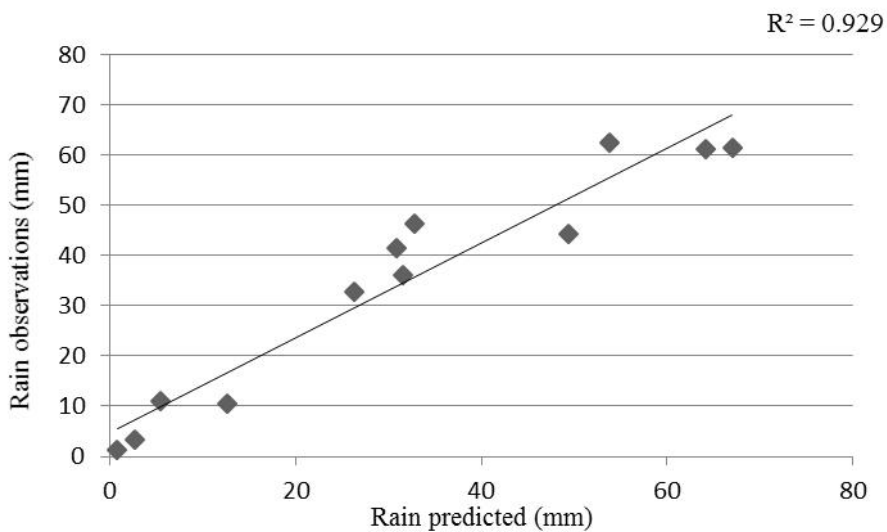
شکل ۶ - ضریب تعیین حداکثر دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه کوهدهشت (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 6- R² maximum temperature observations and forecasts Kuhdasht station (1980-2010 and 2011-2030)



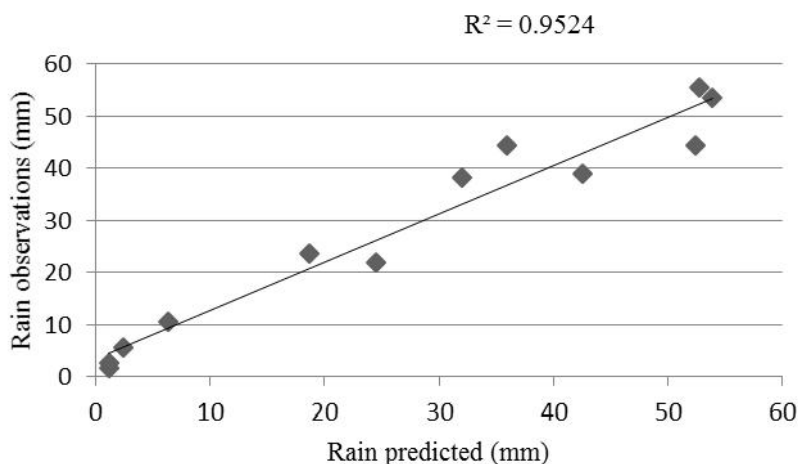
شکل ۷- ضریب تعیین حداقل دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه کوهدشت (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig.7- R^2 minimum temperature observations and forecasts Kuhdasht station (1980-2010 and 2011-2030)



شکل ۸- ضریب تعیین بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه کوهدشت (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 8- R^2 rain observations and forecasts Kuhdasht station (1980-2010 and 2011-2030)



شکل ۹- ضریب تعیین بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه الیگودرز (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 9- R^2 rain observations and forecasts Aligoodarz station (1980-2010 and 2011-2030)



شکل ۱۰- ضریب تعیین بارش مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه خرم‌آباد (۱۹۸۰-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰)
 Fig. 10- R² rain observations and forecasts Khorramabad station (1980-2010 and 2011-2030)

کشت تابعی از درجه حرارت نیز می‌باشد؛ به طوری که گرم‌ترین منطقه استان شهرستان پل‌دختر می‌باشد که میانگین دمای سالانه آن ۲۳ درجه سانتی‌گراد است و دیرترین آغاز کشت را داشت و شهرستان الیگودرز با دمای سالیانه ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد سردترین منطقه استان است، زودترین آغاز کشت را داشت.

اطلاعات مندرج در جدول ۵ تاریخ کشت جو دیم با احتمال‌های ۵۰ و ۷۵ درصد در استان لرستان به تفکیک ایستگاه‌ها برای دوره مشاهداتی (سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۰ میلادی) را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در دوره مشاهداتی زودترین تاریخ کشت در شمال استان شهرستان‌های بروجرد و الشتر اتفاق می‌افتد، و هر چه به سمت جنوب می‌رویم آغاز کشت به تعویق می‌افتد، چنانچه مشاهده می‌شود آغاز

جدول ۵- تاریخ کشت جو دیم بر اساس آغاز بارندگی در استان لرستان به تفکیک ایستگاه‌ها طی سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۰ میلادی
 Table 5- Cultivation on dry barley in the province Lorestan divided stations during 1995-2010

منطقه Region	تاریخ شروع بارندگی بر اساس تعریف اول Start of rain on the first definition	
	۵۰ درصد 50%	۷۵ درصد 75%
احتمال Probability	بر اساس تاریخ شروع بارندگی Based on the date of rain start	بر اساس تاریخ شروع بارندگی Based on the date of rain start
خرم‌آباد Khoramabad	۱۰ آبان 1 November	۲۹ آبان 20 November
بروجرد Broujerd	۱۳ آبان 4 November	۲۲ آبان 13 November
کوه‌دشت Kuhdasht	۱۳ آبان 4 November	۲۷ آبان 18 November
پل‌دختر Poldokhtar	۱۰ آبان 1 November	۱۵ آذر 6 December
الیگودرز Aligoodarz	۱۱ آبان 2 November	۱ آذر 22 November
الشتر Aleshter	۸ آبان 30 October	۱۷ آبان 8 November

جدول ۶- زمان وقوع مراحل فنولوژی کشت جو دیم به تفکیک ایستگاه‌ها دوره (۲۰۱۰-۱۹۹۵)

Table 6- Phenological stages of rainfed barley in selected stations of Lorestan province (1995-2010)

مرحله Phase ایستگاه Station	جوانه زدن Germination	پنجه زدن Tillering	گل دادن Flowering	پر شدن دانه Seed filling
احتمال Possibility	درصد ۷۵ 75%	درصد ۷۵ 75%	درصد ۷۵ 75%	درصد ۷۵ 75%
خرم آباد Khoramabad	۳۰ آذر 12 December	۲۷ بهمن 16 February	۲۴ فروردین 13 April	۶ خرداد May 27
الشتر Aleshter	۱۸ آذر 9 December	۹ فروردین 29 March	۲۱ اردیبهشت 11 May	۵ تیر 26 June
بروجرد Broujerd	۵ دی 26 December	۴ فروردین 24 March	۱۵ اردیبهشت 5 May	۲۶ خرداد 16 June
کوهدشت Kuhdasht	۲۶ آذر 17 December	۸ اسفند 27 February	۲۹ فروردین 18 April	۱۲ خرداد 2 June
پل دختر Poldokhtar	۴ دی 25 December	۱ اردیبهشت 21 April	۲۸ اسفند 19 March	۱۲ اردیبهشت 2 May
الیگودرز Aligoodarz	۱۳ اسفند 4 March	۱ اردیبهشت 21 April	۲۸ اردیبهشت 28 May	۱۶ تیر 7 July

جدول ۷- تقویم زراعی کشت جو دیم استان لرستان در دوره پیش‌بینی ۲۰۳۰-۲۰۱۱

Table 7- Calendar crop cultivation dry barley Lorestan Over the forecast period 2011-2030

مرحله Stage	کوهدشت Kuhdasht	بروجرد Broujerd	الشتر Aleshter	خرم‌آباد Khoramabad	پل دختر Poldokhtar	الیگودرز Aligoodarz
کاشت Planting	۱ آذر 22 November	۲۸ آبان 19 November	۲۵ آبان 16 November	۲۳ آبان 14 November	۱۳ آبان 25 November	۲۷ آذر 28 November
برداشت Harvest	۱۷ فروردین 6 April	۹ اردیبهشت 29 April	۲۱ اردیبهشت 11 May	۱ اردیبهشت 21 April	۲۲ فروردین 11 April	۶ خرداد 27 May

۷ که تاریخ‌های کاشت و رسیدن جو دیم در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی را نشان می‌دهد، صرفاً تاریخ این دو مرحله آورده شد. تقویم زراعی که با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی-LARS WG به دست آمد نشان داد که تاریخ کشت جو دیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه زیاد تغییر نکرده و تفاوت‌های مشاهده شده کمتر از ۱۰ روز می‌باشد، ولی تاریخ برداشت محصول در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای تغییرات زیادی می‌باشد به طوری که بیشترین تغییرات مربوط به ایستگاه پل دختر بود که زمان برداشت آن ۶۰ روز جلوتر اتفاق افتاد. به طوری که در دوره‌ای مشاهداتی برداشت محصول در ۲ ماه می، می‌باشد، ولی با توجه با پیش‌بینی که بر اساس سناریو A₂ و با مدل LARS-WG انجام شد. زمان برداشت به ۲۰ ژانویه رسید. بعد از پل دختر زمان برداشت در ایستگاه بروجرد نیز ۴۷ روز زودتر اتفاق می‌افتد. بعد از این ایستگاه‌ها به ترتیب ایستگاه‌های الشتر،

بعد از آن که تاریخ کشت برای هر ایستگاه به دست آمد، سایر مراحل فنولوژی جو دیم را از طریق درجه روزهای رشد^۱ (GDD) و با احتمال ۷۵ درصد به دست آمد که در جدول ۶ نمایان است. در دوره مشاهداتی دیرترین تاریخ رسیدن مربوط به ایستگاه‌های الیگودرز و الشتر می‌باشد، این دو ایستگاه از لحاظ دمایی سردترین ایستگاه‌های استان هستند و زودترین تاریخ رسیدن نیز مربوط به ایستگاه پل دختر می‌باشد که گرم‌ترین ایستگاه استان است، تاریخ رسیدن محصول همانند تاریخ کاشت نقش عامل درجه حرارت را به خوبی نمایان کرد. از آنجایی که تأکید در این تحقیق بیشتر بر روی زمان کاشت و رسیدن محصول بود و محاسبه سایر مراحل فنولوژی صرفاً برای رسیدن به مرحله رسیدن محصول محاسبه گردید. بنابراین، در جدول

1- Growth degree days

الیگودرز، کوه‌دشت و خرم‌آباد قرار دارند.

از طرف دیگر، کاهش طول فصل رشد باعث کاهش تولید و راندمان محصول می‌شود. پیش‌بینی که با مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG انجام شد، نشان داد که در دوره مورد پیش‌بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) طول دوره رشد در تمام ایستگاه‌ها کاهش پیدا می‌کند. بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه الیگودرز می‌باشد که طول دوره رشد ۶۲ روز کاهش پیدا کرد. در مرتبه بعد ایستگاه‌های بروجرد، کوه‌دشت، الشتر و خرم‌آباد قرار دارند. کمترین کاهش طول دوره رشد مربوط به ایستگاه پل‌دختر بود که ۱۵ روز طول دوره رشد آن کاهش پیدا می‌کند. این مطلب بیانگر این است که لزوماً در ایستگاهی که زمان برداشت محصول زودتر اتفاق می‌افتد بیشترین کاهش طول دوره رشد را نداشت و همچنین نشان داد که گرم‌ترین ایستگاه منطقه کمترین کاهش طول رشد را داشت و سردترین ایستگاه منطقه بیشترین کاهش طول رشد را داشت. بنابراین با توجه به این نتایج مشخص شد که، اولاً طول دوره رشد کاهش پیدا کرده و این کاهش طول دوره رشد بیشتر بر اثر تغییرات دمایی می‌باشد و نه تغییرات بارش. ثانیاً دوره آغاز کشت محصول چندان تغییر پیدا نکرده و با تفاوت کمتر از ۱۰ روز نسبت به دوره‌ای مشاهداتی ثابت است و این حکایت از آن دارد که بارش‌های پاییزه که مربوط به فصل سرد می‌باشد تغییرات زیادی ندارد، بلکه این بارش دوره گرم است که کاهش پیدا می‌کند. همچنین یکی از محدودیت‌های کشت جو دیم در استان لرستان مربوط به دمای مرحله‌ای پنجه‌زنی می‌باشد که در دوره مورد پیش‌بینی این محدودیت تشدید شده، در دوره‌ای مشاهداتی دمای گل‌دهی و دانه‌دهی در شرایط مطلوب قرار دارد، ولی در دوره پیش‌بینی با افزایش دما، در این دو مرحله نیز منطقه با محدودیت دمای زیاد مواجه شد. لذا با توجه باینکه بیشترین سطح زیر کشت در استان به جو دیم تعلق دارد، باید این کاهش فصل رشد در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که کاهش مراحل رشدی منجر به کاهش عملکرد می‌شود، لذا باید کشاورزی منطقه به سمت کشت گونه‌های از این محصول برود که با طول فصل رشد کمتری سازگار باشند و بتوانند بازدهی را بالا ببرند. همچنین با کوتاه شدن فصل رشد مرحله جوانه‌زنی که یکی از مراحل مهم کشت می‌باشد، زودتر اتفاق افتاد و با سرماهای شدید زمستان مواجه شد که این به شدت بر بازدهی محصول اثر می-

گذارد. از طرف دیگر، افزایش دما و کاهش بارندگی در فصل گرما نیز باعث تنش گرمایی و کمبود آب مورد نیاز جو دیم می‌شود. پس باید برای زمان کشت محصول جو دیم تعریفی ارائه شود که اولاً متناسب با نیازهای اقلیمی کشت جو دیم باشد و ثانیاً باعث کشت زودتر جو دیم شود. اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر فاکتورهای مهم کشاورزی می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد و نمو و عملکرد محصولات کشاورزی داشته باشد. لذا راه مقابله با این تغییرات اقلیمی سازگاری می‌باشد که این سازگاری بسته نوع کشاورزی و سناریوهای تغییر اقلیمی که اتفاق می‌افتد متفاوت می‌باشد، از جمله این استراتژی‌ها تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کشت و مدیریت آبیاری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تاریخ کشت در تمام ایستگاه‌ها زودتر اتفاق خواهد افتاد و طول دوره‌رشد در تمام ایستگاه‌ها کاهش یافته است، بیشترین کاهش طول دوره رشد در ایستگاه الیگودرز با ۶۲ روز می‌باشد. کاهش طول دوره‌ای رشد بیشتر بر اثر تغییرات دمایی می‌باشد، همچنین دوره‌ای آغاز کشت محصول چندان تغییر پیدا نکرد و با تفاوت کمتر از ۱۰ روز نسبت به دوره‌ای مشاهداتی ثابت می‌ماند و این حکایت از آن دارد که بارش‌های پاییزه که مربوط به فصل سرد می‌باشد تغییرات زیادی ندارد، بلکه این بارش دوره گرم است که کاهش پیدا می‌کند. همچنین یکی از محدودیت‌های کشت جو دیم در استان لرستان مربوط به دمای مرحله پنجه‌زنی می‌باشد که در دوره مورد پیش‌بینی این محدودیت دوام می‌آورد و همچنین در دوره مشاهداتی دمای گل‌دهی و دانه‌دهی در شرایط مطلوب قرار دارد ولی در دوره پیش‌بینی با افزایش دما، در این دو مرحله نیز با تنش دمای زیاد مواجه می‌شویم، لذا با توجه به نتایج به‌دست‌آمده راهکارهای جهت سازگاری و افزایش کشت جو دیم در منطقه ارائه شد که این سازگاری بسته نوع کشاورزی و سناریوهای تغییر اقلیمی که اتفاق می‌افتد متفاوت می‌باشد، از جمله این استراتژی‌ها تغییر تاریخ کاشت، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کشت و مدیریت آبیاری می‌باشد.

- Ababaei, S., Mirzaei, T., Rezaverdi Nejad, V., and Kaimi, B. 2010. The effect of climate change on wheat yield and risk analysis of the (Case study: the area of Rodasht). *Journal knowledge of Soil and Water* 3:135-150. (In Persian with English Summary)
- Agricultural Research Institute of Planning and Economy, 2006. *Agricultural statistics*, the Ministry of Agriculture.
- Agricultural Meteorological Organization (corporation Quantum), study *Agriculture 15 country crop*. 1975, Tehran, Iran Meteorological Organization 252: 1.
- Alijani, B., Moidfar, S., and Sabaeimehr, M. 2010. The climate change city of Yazd In relation to urban and regional development. *Research and Urban Planning* 3: 41-58. (In Persian with English Summary)
- Barzegar, A., Behzad, A., and Soltani, A. 2007. Future effects of climate change on yield of pea in dry conditions in North West of Iran. *National Conference of Ecological Agriculture*, Iran. (In Persian)
- Crepinsek, Z., Kajfez-Bogataj, L., and Bergant, K. 2006. Modeling of weather variability effect on phenology. *Journal Ecological Modelling* 194: 256-265.
- Carroll E., Sparks T., Donnelly, A., and Cooney, T. 2009. Irish phenological observations from the early 20th century reveal a strong response to temperature. *Journal of Biology and Environment* p. 116-126.
- Ding, Y., Ren, G., Zhao, Z., Xu, Y., Luo, Y., Li, Q., and Zhang, J. 2006. Detection, attribution and projection of climate change over China, an overview of the recent progress. *Journal China National Report on Meteorology and Atmospheric Sciences (2003-2006)*, Report No. 12.
- Esaëili, R., Gandokar, A., and Ghayor, H. 2011. Zoning of climate change from the perspective of agriculture in the future climate. Case Study of Khorasan. *Journal of Geography and Environmental Planning* 41: 35-52. (In Persian with English Summary)
- Fengmei, Y., Yinglong, X., Erda, L., Masayuki, Y., and Jiahua, Z. 2007. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. *Climatic Change* 80: 395-409.
- Hasheminasab Khabisi, F., Mosavi Baygi, M., Bakhtiyari, B., and Davari, D. 2014. Projected changes in precipitation in the next 20 years in Province Kerman Using a small-scale model of LARS-WG and general circulation HADCM3. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 12: 43-57. (In Persian with English Summary)
- Jafari Moghadam, M., Hajizadeh, H., and Zeynati, A. 2007. Predict the Effects of Global Climate Change on Future Climate Khorasan, 2nd National Conference on Ecological Agriculture and Iran, July, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan, Iran.
- 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., and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* 18: 235-265.
- Koocheki, A., and Kamali, G.A. 2010. Climate change and dry land wheat production in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research* 508-520. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., and Sharifi, H. 1998. *The Ecological Consequences of Climate Change*. First Edition, Jihad daneshgahi Press, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 1994. *Crop Ecology*. Press Jahad Daneshgahi Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Laura, V., Ingrida, S., and Aruna, B. 2010. The modeling of climate change influence on plant flowering shift in Lithuania, Zemdirbyste. *Journal of Agriculture* 97: 41-48.
- Mandani, F., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Modeled damage Sunn (integriceps. Put Eurygaster) on growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) under conditions of climate change. *Journal of Plant Production Technology* 14: 61-75. (In Persian with English Summary)
- Mohammadi, M. 2005. Determination of the appropriate calendar for dry land farming in province Ilam by using the index start rainfall. *Iranian Journal of Geographical Research* 37(51): 15-31. (In Persian with English Summary)
- Moradi, R., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2013. Effects of climate change on maize production and evaluation changing planting dates as a means of adaptation to climate Mashhad. *Iranian Journal of Agricultural Knowledge and Sustainability* 23(4): 111-130. (In Persian with English Summary)
- Momeni, M. 2004. Climate change and its effects on ecological instability in Iran. *Third Regional Conference on Climate Change*, Tehran, Iran. (In Persian)

- Orlandi, F., Ruga, L., Romano, B., and Fprnaciari, M. 2005. Olive flowering as an indicator of local climate changes. *Journal of Theoretical and Applied Climatology* 81: 169-176.
- Rahmani, M., Jamialhamdi, M., SHahidi, A., and Hadizadeh, M. 2015. The impact of climate change on water requirement during the stages of wheat and barley (Case study: Plain Birjand). *Journal of Agricultural Ecology* 4: 1-15. (In Persian with English Summary)
- Shahivandi, M. 2009. Lorestan Province agricultural zoning with emphasis on corn. MSc thesis Faculty of Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Smith, D.W., van, W., Michael, C., and John, W. 2010. An analysis of climate change impacts on irrigated crop water requirement in the SA MDB region. CRC for irrigation future. Technical report No 15.10. and CSIRO land and water science, report No 05/10.
- Wielgolaski, F.E. 1999. Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *International Journal of Biometeorology* 42: 158-168.
- Zarakani, F., Kamali, G.A., and Chizari, A. 2014. The Effects of Climate Change on the Drought Farm (Case Study: Northern Khorasan). *Journal of Agricultural Ecology* 3(6): 301-310.
- Zhou, T., and Yu, R. 2006. 20th century surface air temperature over China and the global simulated by coupled climate models. *Journal of Climate* 19: 5843-5858.



Predicting Changes of Rainfed Barley (*Hordeum vulgare* L.) Farming Calendar using Downscaling LARS-WG and HadCM₃ Models in Lorestan Province in 2011-2030 period

M. Ahmadi¹, M. Fallahi KHoshji^{2*} and O. Mafakheri³

Submitted: 30-07-2015

Accepted: 09-01-2016

Ahmadi, M., Fallahi Khoshji, M., and Mafakheri, O. 2017. Predicting changes of rainfed Barley (*Hordeum vulgare* L.) Farming calendar using downscaling LARS-WG and HadCM₃ models in Lorestan province in 2011-2030 period. Journal of Agroecology 9(2): 475-489.

Introduction

The results of climate change studies in recent years confirm this phenomenon occurrence in Iran. The climatic characteristics (potential and limitations of climate) are considered in the long run, to determine the pattern of cultivation and distribution of different plant species. Unfortunately, the agricultural sector due to the low speed and power compliance, will suffer the greatest impact of climate change. General circulation models provide accurate tools to predict future climatic conditions, and the necessary data for the implementation of simulation models and the development of crops under climate change conditions. The study of the effects of climate change on the agricultural sector seems to be necessary due to increase the demand for agricultural production. The aim of this study was to investigate the effects of climate change on the rainfed barley farming calendar in Lorestan province as an effective pole in cereal cultivation in Iran.

Material and Methods

In order to study the effects of climate change on the rainfed barley farming calendar, outputs from the HadCM3 model simulations were used. After evaluating the LARS-WG stochastic weather generator model using performance indicators and ensure the suitability of the model, this model was applied to downscale HadCM3 model outputs. A₂ scenario was chosen to evaluate climate impacts for the period 2011–2030. In this study, due to the suitable temperature for germination in the region, has been emphasized only on the precipitation to find the most suitable time for barley cultivation. Planting date was calculated by Weibull probability with 50 and 75% confidence intervals. Growing degree days (GDD) were used to calculate the phenological stages. For the forecast period, the same method was used to determine the farming calendar.

Results and Discussion

The results showed that in the observation period, the earliest planting date was observed in northern province in Borujerd and Aleshtar cities, and as we go south, the planting date postponed. The beginning of the cultivation is a function of temperature, so that the latest planting date was observed in Poldokhtar city as the warmest region of the province. In the observation period, the latest harvesting date was observed in Aligoodarz and Aleshtar cities and the earliest harvesting date was observed in Poldokhtar city. In the forecast period, the beginning of crop cultivation did not change much and remained constant for less than 10 days compared to the observation period. However, many changes occurred in the harvesting date. So that the most changes with 60 days earlier occurred at the Poldokhtar city. The duration of the growth period reduced at all the stations. The greatest reduction in the duration of the growth period was observed at the Aligudarz city with 62 days. The decreasing duration of the growth period was due to changes in temperature and precipitation. This shows that the fall precipitation, which is related to the cold season, does not change much, but the precipitation of the

1, 2 and 3- Associated Professor, Department of Physical Geography, Shahid Beheshti University, Researcher of Lorestan University Jihad (and PhD student of climate change Kharazmi University, Department of Physical Geography, Faculty of Geography) and PhD Student of Climatology synoptic, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, Kharazmi University, Iran, respectively.

(Email: Fallahimostafa@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v9i2.46511

warm season decreases. One of the limitations of rainfed barley cultivation in Lorestan province is temperature in the tillering stage. This restriction will continue in future. In the observation period, temperature of flowering and grain filling period was in optimal conditions, but in the forecast period, with increasing temperature, we will encounter high temperature stress in these two stages. The adaptation strategies are different depending on the type of farming and the climate change scenario. Among these strategies we can mention changes in planting date and crop rotation, use of resistant varieties to the warm conditions and irrigation management.

Conclusion

The results showed that at all stations, the planting date will be earlier and the duration of the growth period will decrease in the period 2011–2030.

Keywords: Adaptability, Agriculture, Climate change, Modeling