فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

۲۷-۴۰

بررسی کارایی مصرف آب ذرت (*Zea mays* L.) در اقلیم‌های گرم تحت شرایط تغییر اقلیم

سجاد رحیمی مقدم، جعفر کامبوزیا* و رضا دیهیم‌فرد

گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۸

رحیمی مقدم، س.، ج. کامبوزیا و ر. دیهیم فرد. ۱۳۹۵. بررسی کارایی مصرف آب (*Zea mays* L.) در اقلیم‌های گرم تحت شرایط تغییر اقلیم. فصلنامه علوم محیطی. ۱۴(۳): ۴۰-۲۷.

سابقه و هدف: کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی در این منطقه تأثیر قابل‌توجهی در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. تغییر اقلیم می‌تواند بر آب قابل‌دسترس برای کشاورزی تأثیر گذاشته و منجر به خشک شدن محیط در مناطق نیمه‌خشک ایران گردد. بررسی راهکارهای سازگاری مانند تغییر تاریخ کاشت می‌تواند به افزایش کارایی مصرف آب ذرت تحت شرایط تغییر اقلیم کمک کند. یکی از راه‌های کم هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی رهیافت مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است.

مواد و روش‌ها: هدف از این پژوهش بررسی تاریخ کاشت‌های مختلف به عنوان راهکاری برای سازگاری ذرت و بهبود کارایی مصرف آب این گیاه تحت شرایط تغییر اقلیم در استان خوزستان بود. برای این هدف شش شهرستان اهواز، بهبهان، دزفول، ایذه، رامهرمز و شوشتر در استان خوزستان انتخاب شدند. ابتدا داده‌های اقلیمی بلند مدت روزانه (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تشعشع روزانه) دوره پایه (۲۰۰۹ - ۱۹۸۰) این شهرستان‌ها جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از روش AgMIP تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 داده‌های اقلیمی دوره آینده (۲۰۶۹ -۲۰۴۰) این مناطق تولید شدند. در این تحقیق از رقم سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد. تاریخ کاشت‌ها شامل ۱۵ بهمن، ۱ اسفند (تاریخ کاشت مرسوم) و ۱۵ اسفند بودند. با احتساب تاریخ کاشت‌ها و مناطق مختلف (شش منطقه) و دو سناریوی اقلیمی در ۳۰ سال، مجموعاً ۱۶۲۰ آزمایش شبیه‌سازی در این تحقیق وجود داشت. به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت تحت تاریخ کاشت‌های مختلف از مدل APSIM استفاده شد.

نتایج و بحث: به طور کلی نتایج نشان داد که تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن با ۱۰۱۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه اقتصادی در مقایسه با دو تاریخ کاشت ۱ اسفند (۱۰۰۶۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵ اسفند (۷۱۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار) دارای کارکرد بالاتری بود. همچنین در دوره آینده احتمال درصد کاهش در مقدار عملکرد دانه اقتصادی تاریخ کاشت‌های مختلف نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره پایه، نشان داد که درصد کاهش تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵بهمن (۳/۳- درصد و ۴/۵- به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دو تاریخ کاشت دیگر (۶/۵- و ۶/۷- درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۳۱/۱- و ۲۳/۲ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱۵ اسفند) در استان خوزستان بسیار کمتر می‌باشد. به طور میانگین در سطح استان خوزستان تاریخ کاشت ۱۵ بهمن (۱۱/۸ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) نسبت به دو تاریخ کاشت ۱ اسفند (۱۰/۷ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) و ۱۵ اسفند (۷/۶ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) دارای کارایی مصرف آب بالاتری در دوره پایه بود. تحت شرایط تغییر اقلیم به طور کلی درصد کاهش در کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت‌های مختلف نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره پایه، نشان‌دهنده برتری و اختلاف زیاد تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵بهمن (۲/۸ درصد و ۳/۳ به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) در مقایسه با دو

* Corresponding Author. *E-mail Address*: j_kambouzia@sbu.ac.ir

تاریخ کاشت دیگر (۱۲- درصد و ۱۱- به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۴۰/۱- و ۳۲/۵- درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱۵ اسفند) در استان خوزستان بود.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تاریخ کاشت مرسوم منطقه مورد بررسی برای ذرت از نظر تولید عملکرد دانه اقتصادی و کارایی مصرف آب بهینه نیست. در نهایت نتایج نشان داد برای افزایش در عملکرد دانه اقتصادی و کارایی مصرف آب در دوره آینده و دوره پایه در استان خوزستان باید از تاریخ کاشت‌های زود هنگام (۱۵ بهمن) استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: خوزستان، تاریخ کاشت، سازگاری، عملکرد دانه.

مقدمه

در طی چند سال اخیر تا به امروز توجه دانشمندان در سراسر دنیا به مسئله تغییر اقلیم جلب شده و تاکنون مطالعات مختلفی نیز در همین زمینه به انجام رسیده است (Lu *et al.*, 2017: Yang *et al.*, 2016; Eyshi Rezaei *et al.*, 2015). یکی از جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم افزایش دما و تأثیر بر تولیدات کشاورزی بوده (Gohari *et al.*, 2013; Lashkari *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2011) که این تولیدات آسیب‌پذیری زیادی به این پدیده دارند (Bannayan *et al.*, 2014). بنابر گزارش «هیات میان‌دولتی تغییر اقلیم» میانگین دمای سطح زمین در قرن بیستم ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که تا پایان قرن جاری دمای سطح زمین ۱/۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (Reidsma *et al.*, 2010). افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم آینده محصولات مختلف را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که در نهایت ممکن است منجر به کاهش (Lv *et al.*, 2013) یا افزایش (Eyni Nargeseh *et al.*, 2016) عملکرد محصول شود. با این وجود اثرات افزایش دما بین مناطق و محصولات مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد (Gohari *et al.*, 2013).

مدل‌های اقلیم جهانی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و ارائه اطلاعات لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد تحت سناریوهای مختلف اقلیمی هستند (Jones and Thornton, 2003). یکی از راه‌های کم هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی رهیافت مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است (Manschadi *et al.*, 2010). رشد و نمو محصولات کشاورزی تحت تاثیر تغییر اقلیم می‌تواند توسط مدل‌های رشد گیاهی مانند DSSAT، WOFOST، SUCROS و APSIM شبیه‌سازی شود (Moradi *et al.*, 2013). Deihimfard and Rahimi Moghaddam (2016) با استفاده از مدل SUCROS در شرایط پتانسیل اقدام به شبیه‌سازی عملکرد و بررسی مصرف آب چغندرقند (*Beta Vulgaris* L.) پاییزه و بهاره را در شهرستان نیشابور و مشهد بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که کشت پاییزه نسبت به کشت بهاره به علت تبخیر و تعرق کمتر و عملکرد دانه بالاتر دارای کارایی مصرف آب بالاتری (۲/۵۷ کیلوگرم ماده خشک اندام ذخیره‌ای به متر مکعب در کشت پاییزه در مقابل ۱/۶۷ کیلوگرم ماده خشک اندام ذخیره‌ای به متر مکعب در کشت بهاره) است.

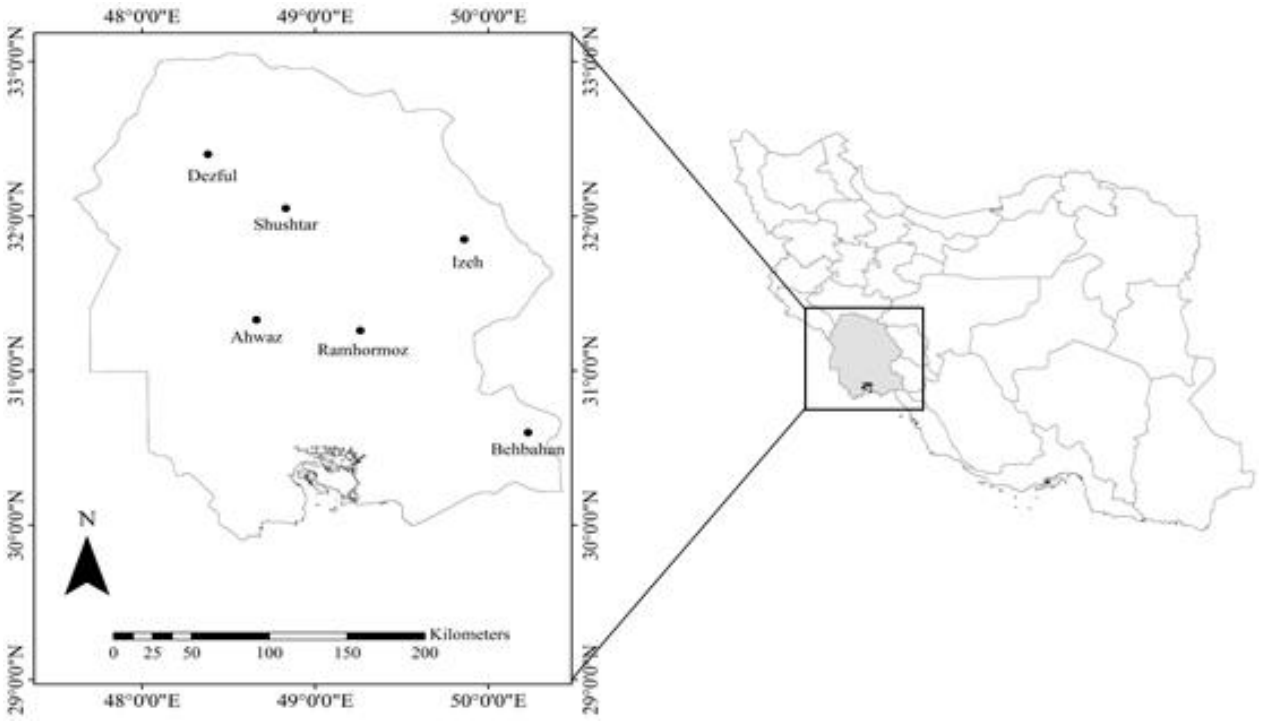
کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و با توجه به ساختارهای محیط زیستی خاص خود نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی در این مناطق تأثیر قابل‌توجهی در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Eyshi Rezaie and Bannayan, 2012). تغییر اقلیم می‌تواند بر آب قابل‌دسترس برای کشاورزی تأثیر گذاشته و منجر به خشک شدن محیط در مناطق نیمه‌خشک ایران گردد (Koocheki *et al.*, 2006). تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه مصرف آب توسط گیاهان مختلف تحت شرایط تغییر اقلیم در داخل و خارج از کشور انجام شده است. Gohari *et al.* (2013) نشان دادند که در اصفهان نیاز آب آبیاری گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت و برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به دوره پایه به دلیل افزایش دما افزایش خواهد یافت. در یک بررسی در شمال چین، Mo *et al.* (2009) بیان کردند که کارایی مصرف آب گندم ممکن است به ترتیب ۱۰ و ۷ درصد تحت سناریوهای A2 و B1 در شرایط تغییر اقلیم آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۸۰) در مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۰) افزایش یابد. Yano *et al.* (2007) در یک بررسی در ترکیه نشان دادند که نیاز آب آبیاری ذرت در شرایط تغییر اقلیم (دوره ۷۹-۲۰۷۰) با استفاده از مدل‌های

CGCM2 و RCM بـه ترتیـب ۱۵ و ۲۲ درصـد کـاهش خواهد یافت.

اسـتان خوزسـتان یکـی از مهـم‌تـرین منـاطق تولیـدی کشاورزی است. این استان بـه تنهـایی ۱۳/۵۸ درصـد از سـطح برداشت شده و ۱۸/۳۷ درصد از تولیـد محصـولات زراعـی آبـی کشور را به خود اختصاص می‌دهد. یکی از محصولات مهمی که در این استان کشت می‌شـود ذرت اسـت بـه طـوری کـه ۳۳/۵ درصد از کل سطح برداشت شده این محصول در کل کشـور در این استان کشت می‌شود و این استان ۲۹/۷ درصد از کل تولیـد بذر ذرت را به خود اختصاص داده اسـت (Anonymous, 2014). با توجه به سطح زیر کشت وسیع ذرت در ایـن اسـتان، و وقـوع پدیده تغییر اقلیم و لزوم توجـه بـه حفـظ منـابع آب بـه دلیـل ساختار محیط زیستی خاص کشور لازم است در این اسـتان بـه مسئله تغییر اقلیم و تولید بیشـتر محصـول در ازای مصـرف آب کمتر مطالعات بیشتری انجـام شـود. در همـین زمینـه تحقیـق حاضر برای بررسی کـارایی مصـرف آب ذرت دانـه‌ای در اسـتان خوزسـتان در تـاریخ کاشـت‌هـای مختلـف بـه عنـوان راهکـار سازگاری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و افزایش کـارایی مصرف آب، و تعیین بهترین تاریخ کاشـت بـا بیشـترین کـارایی مصرف آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

ایـن مطالعـه در شـش شهرسـتان اسـتان خوزسـتان شـامل اهـواز، بهبهـان، دزفـول، ایـذه، رامهرمز و شوشتر انجـام شـد. اطلاعـات جغرافیـایی منـاطق موردمطالعـه در شـکل ۱ نشـان داده شـده است. استان خوزستان با مسـاحت ۶۴۰۵۷ کیلـومتر مربع در محدوده °۲۹ و ′۵۸ تا °۳۲ و ′۵۸ شـمالی از خـط اسـتوا و °۴۷ و ′۴۲ تـا °۵۰ و ′۳۹ از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (شـکل ۱). بیشـترین سطح برداشت شده محصولات زراعی آبی متعلـق بـه این استان می‌باشـد بـه‌طـوری‌کـه ۱۳/۵۸ درصـد از سطح اراضی کشت آبی کشـور در ایـن اسـتان قـرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در استان خوزستان.

Fig. 1- Geographical positions of the study locations in Khuzestan province.

سناریوهای اقلیمی مورد استفاده، روش شبیه‌سازی اقلیم و رشد ذرت

سناریوهای اقلیمی آینده بر اسـاس داده‌هـای اقلیمـی دوره پایه (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارنـدگی و تـابش) تجزیه و تحلیـل شـدند. ایـن سـناریوها بـا اسـتفاده از روش سناریوی دلتا و مدل‌های گردش عمومی در پروژه CMIP5 و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی (کدهای نوشته شده بـه زبان R) که توسط AgMIP[1] ارائه شـده اسـت تولیـد شـدند

Wilby *et al.*, 2004; AgMIP, 2013a,b; Ruane *et al.*, 2013; Araya *et al.*, 2015). این روش تولید سناریو اقلیمی، با استفاده از داده‌های بلند مدت اقلیمی و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارندگی استوار است (Wilby *et al.*, 2004; Ruane *et al.*, 2013). پیش‌بینی آب و هوایی آینده برای استان خوزستان با استفاده از مدل گردش عمومی Miroc5[۲] ، که در بین سایر مدل‌های گردش عمومی بیشترین دقت را در بازتولید داده‌های اقلیمی استان خوزستان داشت، صورت گرفت (Dashtbozorgi *et al.*, 2015). داده‌های اقلیمی آینده برای یک دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) تحت دو سناریوی اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) با استفاده از روش AgMIP (AgMIP, 2013a,b) تولید شدند.

پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی روزانه در مناطق مورد مطالعه، به‌منظور شبیه‌سازی رشد ذرت و تبخیر و تعرق این گیاه در شرایط تغییر اقلیم در تاریخ کشت‌های مختلف از مدل فرآیندگرای APSIM[۳] استفاده شد. این مدل توسط واحد تحقیقات APSRU ساخته شده است (Keating *et al.*, 2003). در این تحقیق تمامی شبیه‌سازی‌ها در شرایط پتانسیل و عدم محدودیت نیتروژن و آب انجام شد. این مدل پیش‌تر برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ که رایج‌ترین رقم مورد کشت در استان خوزستان می‌باشد واسنجی و اعتبارسنجی شده است به طوری که نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از دقت بالایی برخوردار بود (Rahimi Moghadam *et al.*, 2017).

آزمایش‌ها، تیمار سازگاری و تجزیه و تحلیل‌های آماری

در این تحقیق برای بررسی سازگاری ذرت با شرایط تغییر اقلیم آینده، سه تاریخ کاشت ۱۵ بهمن (دو هفته زودتر از تاریخ کاشت مرسوم منطقه)، ۱ اسفند (تاریخ کاشت مرسوم؛ تاریخ کاشتی که در حال حاضر توسط کشاورزان منطقه بکار برده می‌شود) و ۱۵ اسفند (دو هفته دیرتر از تاریخ کاشت مرسوم منطقه)، بکار برده شد. آزمایش‌های بلند مدت شبیه‌سازی متشکل از یک رقم، سه تاریخ کاشت، شش منطقه، یک دوره پایه و یک دوره آینده (تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5) در ۳۰ سال بودند که در مجموع ۱۶۲۰ آزمایش شبیه‌سازی را شامل می‌شدند. رقم مورد استفاده در این تحقیق رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. این رقم بیشترین سطح زیر کشت را در استان خوزستان دارد به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت ذرت دانه ای در استان خوزستان را شامل می‌شود.

پس از اجرای مدل، خروجی‌های موردنظر شامل عملکرد دانه، تبخیر و تعرق و میانگین دما در طول فصل رشد، در دوره پایه و شرایط اقلیمی آینده در مناطق موردبررسی در استان خوزستان تجزیه و تحلیل شدند. همچنین برای محاسبه کارایی مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد (۸):

$$WUE = \frac{Y}{ET} \qquad (۱)$$

در این رابطه Y: عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده (کیلوگرم در هکتار) و ET: تبخیر و تعرق شبیه‌سازی‌شده (میلیمتر) در طول فصل رشد (از کاشت تا برداشت) می‌باشد. لازم به ذکر این محاسبات بر روی عملکرد دانه اقتصادی صورت گرفت. عملکرد دانه اقتصادی با توجه به مکاتبه با سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان ۴/۵ تن در هکتار و بالاتر در نظر گرفته شد. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم افزار OriginPro 9.1 (Seifert, 2014) و R (R Core Team, 2016) استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و میانگین دما در طول فصل رشد در دوره پایه و آینده

به طور کلی در دوره پایه در استان خوزستان تحت تمام تاریخ کاشت‌ها در همه‌ی مناطق احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی ۵۳/۱ درصد می‌باشد به این معنا که علی رغم تولید بیش از ۲۰ تن در هکتار بیوماس، تنها در ۵۰درصد سالها عملکرد دانه شکل می گیرد (جدول ۱). این در حالی هست که به طور میانگین تاریخ کاشت ۱۵ بهمن (۷۱/۷ درصد) نسبت به دو تاریخ کاشت ۱ اسفند (۵۳/۹ درصد) و ۱۵ اسفند (۳۳/۹ درصد) دارای احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی بیشتر است. بهرحال بالاترین احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی مربوط به دو تاریخ کاشت ۱۵ بهمن (۹۰ درصد) و تاریخ کاشت ۱ اسفند (۹۳ درصد) در شهرستان ایذه بود (جدول ۱). کمترین احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی نیز با صفر درصد مربوط به شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بود. در دوره پایه بیشترین عملکرد دانه مربوط به ۱۵ بهمن (۱۳۶۵۰/۹ کیلوگرم در هکتار) در شهرستان ایذه و کمترین مقدار آن مربوط

به ۱۵ اسفند در شهرستان شوشتر (بدون تشکیل عملکرد دانه) بود (جدول ۲).

در دوره آینده، به طورکلی متوسط عملکرد دانه اقتصادی استان خوزستان به ترتیب ۴۳ درصد (تحت RCP4.5) و ۴۰ درصد (تحت RCP8.5) نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت. احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی تاریخ کاشت ۱۵ بهمن ۶۳/۳ درصد در RCP4.5 و ۶۰/۶ درصد در RCP8.5 بود که بیشترین احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی را در بین تاریخ کاشت‌های مختلف داشت (جدول ۱). بیشترین احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی مربوط به ایذه در ۱ اسفند (۹۳ و ۹۳/۳درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) بود (جدول ۱). شوشتر در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند با احتمال صفر درصد (در هر دو سناریو) تشکیل عملکرد دانه اقتصادی کمترین احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی را داشت (جدول ۱).

جدول ۱- درصد سال‌های تشکیل عملکرد دانه اقتصادی در دوره های اقلیمی پایه و آینده در شهرستان‌های مورد مطالعه و تاریخ کاشت‌های مختلف.

Table 1. Percent of years with economical yield (more than 4.5 t ha^{-1}) in all locations at different sowing dates in the baseline and future scenarios.

تاریخ کشت Sowing date	سناریو Scenario	اهواز Ahwaz	دزفول Dezful	بهبهان Behbahan	ایذه Izeh	شوشتر Shushtar	رامهرمز Ramhormoz
۱۵ بهمن 4-Febuary	Baseline	90.0	76.7	66.7	90.0	26.7	80.0
	RCP4.5	70.0	66.7	66.7	93.3	6.7	76.7
	RCP8.5	60.0	73.3	60.0	83.3	6.7	80.0
۱ اسفند 19-Febuary	Baseline	60.0	56.7	60.0	93.3	13.3	40.0
	RCP4.5	53.3	33.3	36.7	90.0	6.7	43.3
	RCP8.5	43.3	30.0	36.7	93.3	6.7	40.0
۱۵ اسفند 5-March	Baseline	30.0	30.0	36.7	73.3	0.0	33.3
	RCP4.5	10.0	23.3	23.3	66.7	0.0	6.7
	RCP8.5	6.7	13.3	13.3	63.3	0.0	10.0

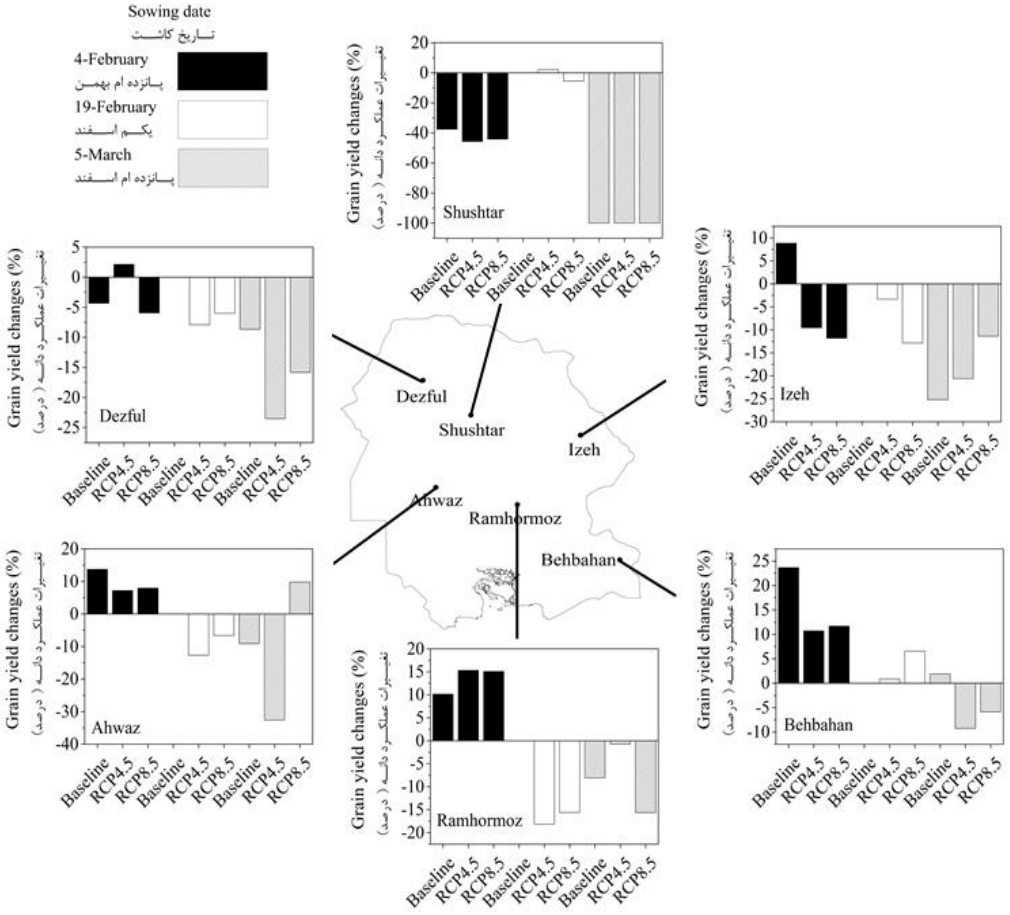
جدول ۲- صفات مختلف شبیه سازی شده در تاریخ کاشت های مختلف در دوره پایه بین مناطق مورد مطالعه.

Table 2. Simulated traits under different sowing dates in baseline period at all study locations.

صفت Trait	تاریخ کشت Sowing date	اهواز Ahwaz	دزفول Dezful	بهبهان Behbahan	ایذه Izeh	شوشتر Shushtar	رامهرمز Ramhormoz
کارایی مصرف آب (کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) WUE (kg grain yield mm^{-1} water)	۱۵ بهمن 4-Febuary	12.4	10.4	11.4	15	9.6	12.2
	۱ اسفند 19-Febuary	10.4	10.3	8.8	13.3	10.9	10.8
	۱۵ اسفند 5-March	10.1	8.8	8	9.8	0	9.2
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha^{-1})	۱۵ بهمن 4-Febuary	9731.8	9497	10540.6	13650.9	7391.3	9891
	۱ اسفند 19-Febuary	8557.3	9927.6	8524.1	12542.6	11836.2	8979.7
	۱۵ اسفند 5-March	7779.1	9067.9	8687.1	9380.8	0	8252.7
تبخیر و تعرق (میلیمتر) Evapotranspiration (mm)	۱۵ بهمن 4-Febuary	786.6	917.1	925.1	910.8	769.4	813.5
	۱ اسفند 19-Febuary	824.9	963.8	972.2	946	1082.7	829.3
	۱۵ اسفند 5-March	770.7	1036	1091.2	958.1	1152.9	898.1
میانگین دما در طول فصل رشد (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature during the growing season (˚C)	۱۵ بهمن 4-Febuary	25.7	24.3	24.7	21.4	30.5	25.6
	۱ اسفند 19-Febuary	27.6	26.3	26.6	22.9	32.5	27.3
	۱۵ اسفند 5-March	29.5	27.9	28.3	24.4	34.5	31.6

با در نظر گرفتن احتمال تشکیل عملکرد دانه اقتصادی در تاریخ کاشت‌ها و مناطق مختلف، بررسی تغییرات عملکرد دانه اقتصادی در دوره آینده و گذشته در تاریخ کاشت‌های مختلف در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم به عنوان بررسی سازگاری بسیار اهمیت دارد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود به طور کلی احتمال درصد

کاهش در مقدار عملکرد دانه اقتصادی تاریخ کاشت‌های مختلف نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره پایه نشان داد که تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵بهمن (۳/۳- درصد و ۴/۵- به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر (۶/۵- درصد و ۶/۷- به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۳۱/۱- و ۲۳/۲ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱۵ اسفند) دارای کاهش کمتری است (شکل ۲). در این بین بیشترین کاهش مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند در شهرستان شوشتر (۱۰۰- درصد تحت هر دو سناریو) بود (شکل ۲). همچنین در دوره آینده بیشترین تغییرات مثبت عملکرد دانه اقتصادی (نسبت به تاریخ کاشت مرسوم دوره پایه)، در شهرستان رامهرمز و در تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن (۱۵/۳ و ۱۵/۱ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) به دست آمد (شکل ۲). بهرحال در دوره آینده، تاریخ کاشت زودهنگام (۱۵ بهمن) نه تنها مزیتی در کاهش کمتر عملکرد دانه اقتصادی نسبت به تاریخ کاشت مرسوم دوره پایه (۱ اسفند) داشت بلکه همانطور که در شکل ۲ مشخص است این تاریخ کاشت در بیشتر مناطق موجبات افزایش عملکرد را در دوره پایه فراهم آورد به طوری تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن نسبت به تاریخ کاشت مرسوم (۱ اسفند) در دوره پایه باعث ۲/۴ درصد افزایش عملکرد در استان خوزستان شد (شکل ۲).

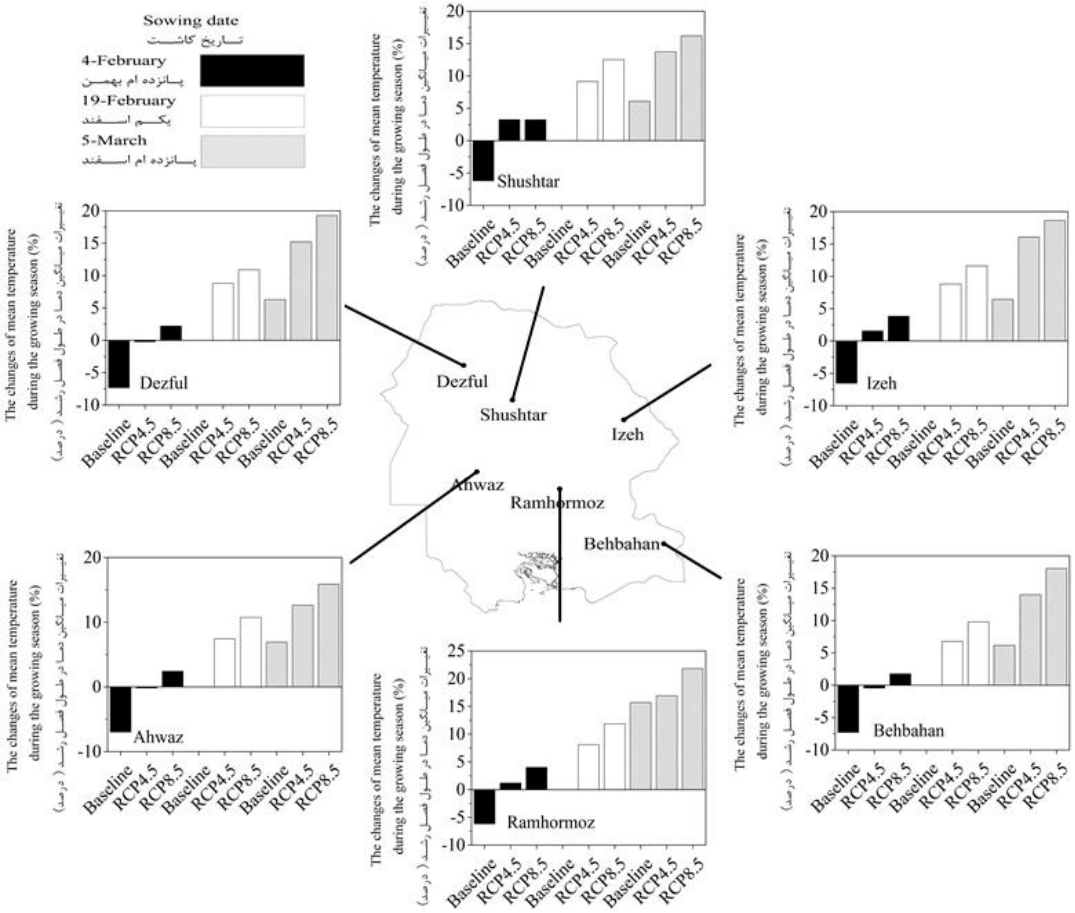


شکل ۲- تغییرات عملکرد دانه اقتصادی ذرت تحت دوره آینده و پایه در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ بهمن) در دوره پایه.

Fig. 2- Changes in maize economical yield under future and baseline periods relative to the custom sowing date (19-Febuary) in the baseline.

شاید بتوان این درصد تشکیل عملکرد دانه اقتصادی و تغییرات عملکرد آن را در میانگین دما در طول فصل رشد ذرت مشاهده کرد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میانگین دمای ذرت در طول فصل رشد در استان خوزستان در تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره پایه کمتر افزایش پیدا کرده است (۰/۹ و ۲/۹ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) (شکل ۳). این در حالی است که مقدار این صفت برای دو تاریخ کاشت دیگر بیشتر می‌باشد (۸/۲ و ۱۱/۲ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای ۱ اسفند و ۱۴/۸ و ۱۸/۳ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای ۱۵ اسفند) (شکل ۳). افزایش دما در طول فصل رشد ذرت باعث افزایش

احتمال برخورد دوره گلدهی ذرت با دماهای بالاتر می‌شود که این موضوع موجب عقیم شدن دانه گرده و عدم تشکیل دانه می‌شود (Stone, 2001). در بررسی Mera *et. al.* (2006) مشخص شد که افزایش دما بیشترین تأثیر را بر مرحله گل‌دهی داشته و از طریق کاهش درصد و دوره تلقیح گل، باعث کاهش عملکرد ذرت می‌شود. در تحقیقی توسط Soler *et al.* (2007) در یک مطالعه شبیه‌سازی در زمینه کاربرد مدل CSM-CERES-Maize برای بررسی تاریخ کاشت‌های مختلف ذرت در یک منطقه نیمه گرمسیری بیان کردند که در تاریخ کشت‌های دیرتر (۱ فوریه تا ۱۵ آوریل) عملکرد دانه ذرت در شرایط دیم ۵۵ درصد و در شرایط آبی ۲۱ درصد کاهش خواهد پیدا می‌کند. نتایج آزمون همبستگی نیز مؤید این موضع است که با افزایش دما در طول فصل رشد عملکرد ذرت کاهش پیدا می‌کند به طوریکه همبستگی عملکرد دانه و میانگین دما در طول فصل رشد معنی‌دار و منفی (۰/۹-) بود (جدول ۳).



شکل ۳- تغییرات میانگین دما در طول فصل رشد تحت دوره آینده و پایه در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ بهمن) در دوره پایه.

Fig. 3- Changes in mean temperature during the growing season under future and baseline periods relative to the custom sowing date (19-Febuary) in the baseline.

جدول ۳- ضرائب همبستگی بین صفات مختلف در استان خوزستان.

Table 3. Correlation coefficients between different traits in Khuzestan province.

	عملکرد دانه Grain yield	تبخیر و تعرق Evapotranspiration	میانگین دما در طول فصل رشد Mean temperature during the growing season	کارایی مصرف آب WUE
عملکرد دانه Grain yield	1	-0.43*	-0.64**	0.91**
تبخیر و تعرق Evapotranspiration		1	0.7**	-0.63**
میانگین دما در طول فصل رشد Mean temperature during the growing season			1	-0.71**
کارایی مصرف آب WUE				1

ns: عدم تفاوت معنی‌دار *تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد **تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

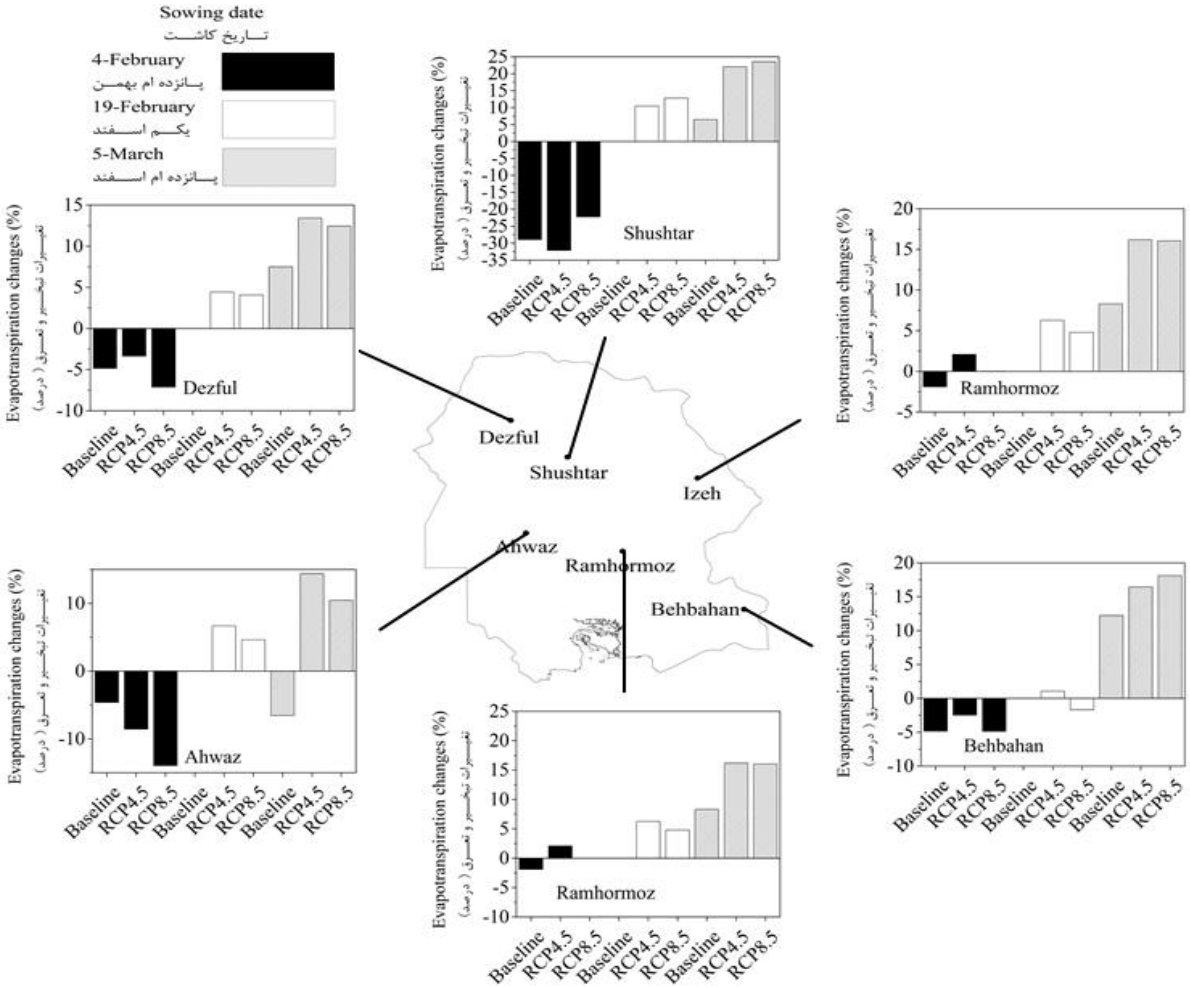
ns: No significant difference; *significant difference at 0.05 probability level; **significant difference at 0.01 probability level.

کارایی مصرف آب و تبخیر و تعرق

به طور میانگین کشت ذرت در استان خوزستان در حال حاضر تبخیر و تعرقی معادل ۹۲۴/۹ میلیمتر دارد که با توجه به منطقه و تاریخ کاشت متفاوت می‌باشد (جدول ۲). در این بین در دوره پایه تبخیر تعرق در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن معادل ۸۵۳/۷ میلیمتر بود. مقدار این تبخیر و تعرق کمتر از تبخیر تعرق در تاریخ کاشت ۱ اسفند (۹۳۶/۵ میلیمتر) و ۱۵ اسفند (۹۸۴/۵ میلیمتر) بود (جدول ۲). بیشترین تبخیر و تعرق با ۱۱۵۲/۹ میلیمتر مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند در شهرستان شوشتر به دست آمد. این شهرستان با ۷۶۹/۴ میلیمتر در تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن کمترین تبخیر و تعرق را به خود نیز اختصاص داد.

مقدار تبخیر و تعرق در دوره آینده نسبت به دوره گذشته افزایش پیدا کرد بطوریکه به طور میانگین در دوره آینده ۴/۷ درصد نسبت به شرایط مدیریتی حال حاضر افزایش پیدا کرد (شکل ۴). مقایسه تاریخ کاشت‌ها نسبت به تاریخ کاشت مرسوم منطقه در دوره پایه از نظر تبخیر و تعرق نشان‌دهنده برتری تاریخ کاشت ۱۵ بهمن است به طوریکه به طور میانگین در تمامی مناطق، این تاریخ کاشت باعث کاهش مقدار تبخیر و تعرق به مقدار ۶/۸- و ۸/۱- درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 شد. این در حالی بود که تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند (۶/۴ و ۵/۲ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) و ۱۵ اسفند (۱۶/۱ و ۱۵/۷ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) باعث افزایش تبخیر و تعرق در دوره آینده نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره حاضر شدند (شکل ۴). بیشترین کاهش در تبخیر و تعرق در دوره آینده نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره گذشته مربوط به شهرستان شوشتر و تاریخ کاشت ۱۵ بهمن با مقدارهای ۲۰- و ۲۸/۱- درصد به ترتیب در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بود. همچنین بیشترین افزایش در تبخیر و تعرق مربوط به همین شهرستان اما در تاریخ کاشت دیرهنگام ۱۵ اسفند با مقدارهای ۲۲/۱ و ۲۳/۶ درصد به ترتیب در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بود (شکل ۴). این موضوع اهمیت تغییر در تاریخ کاشت را به عنوان یک راهکار سازگاری در شرایط تغییر اقلیم برای کاهش تبخیر تعرق نشان می‌دهد. در واقع تاریخ کاشت زودهنگام باعث می‌شود که دوره رشدی ذرت تحت دماهای کمتر و پایین‌تر تکمیل شود و همین موضع باعث کاهش تبخیر در سطح خاک و تعرق در سطح گیاه شود. نتایج همبستگی بین میانگین دما در طول فصل رشد و تبخیر و تعرق با ضریب همبستگی ۰/۷ نشان‌دهنده‌ی ارتباط معنی‌دار و مثبت بین این دو صفت بود به طوریکه با افزایش دما تبخیر و تعرق افزایش یافت (Kirkegaard *et al.*, 2007). در تحقیقی که با استفاده از مدل SUCROS در شرایط پتانسیل اقدام به شبیه‌سازی رشد و عملکرد چغندر پاییزه و بهاره در شهرستان نیشابور و مشهد شد، نشان داده شد که تاریخ کاشت پاییزه به دلیل دمای پایین نسبت به تاریخ کاشت بهاره دارای تبخیر و تعرق کمتر می‌باشد (Deihimfard and Rahimi Moghaddam, 2016). در پژوهشی دیگر توسط Baguis *et al.* (2010) تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا و افزایش دما را در دهه‌های آتی بر تبخیر و تعرق گیاهان زراعی در نواحی مرکزی بلژیک موردبررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در خصوص محصولات بهاره-پاییزه نظیر گندم، افزایش نیاز آبی و تبخیر و تعرق مورد توجه نخواهد بود اما در عوض در مورد محصولات بهاره-تابستانه نظیر گوجه‌فرنگی، افزایش معنی‌داری در نیاز آبی و تبخیر و تعرق به علت افزایش دما دارند.(Kang (2015) *et al.* تأثیرات تغییر اقلیم را بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی در حوضه موری دارلینگ (جنوب شرق استرالیا) بررسی کردند. پیش‌بینی‌های آن‌ها برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بیان کننده افزایش دمای هوا در همه سال‌ها و افزایش بارندگی تا سال ۲۰۲۰ و سپس کاهش آن تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود. به اعتقاد آنان نتیجه تغییرات فوق باعث افزایش ۳۰ درصدی مقدار تبخیر و تعرق می‌شود.

به طور میانگین در سطح استان خوزستان تاریخ کاشت ۱۵ بهمن (۱۱/۸ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) نسبت به دو تاریخ کاشت ۱ اسفند (۱۰/۷ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) و ۱۵ اسفند (۷/۶ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب) دارای کارایی مصرف آب بالاتری بود (جدول ۲). در این بین شهرستان ایذه در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن با ۱۵ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب بیشترین مقدار کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. همچنین کمترین کارایی مصرف آب در تاریخ ۱۵ اسفند در شوشتر در سالهایی به دست آمد که عملکرد دانه ای تشکیل نشده بود (جدول ۲).

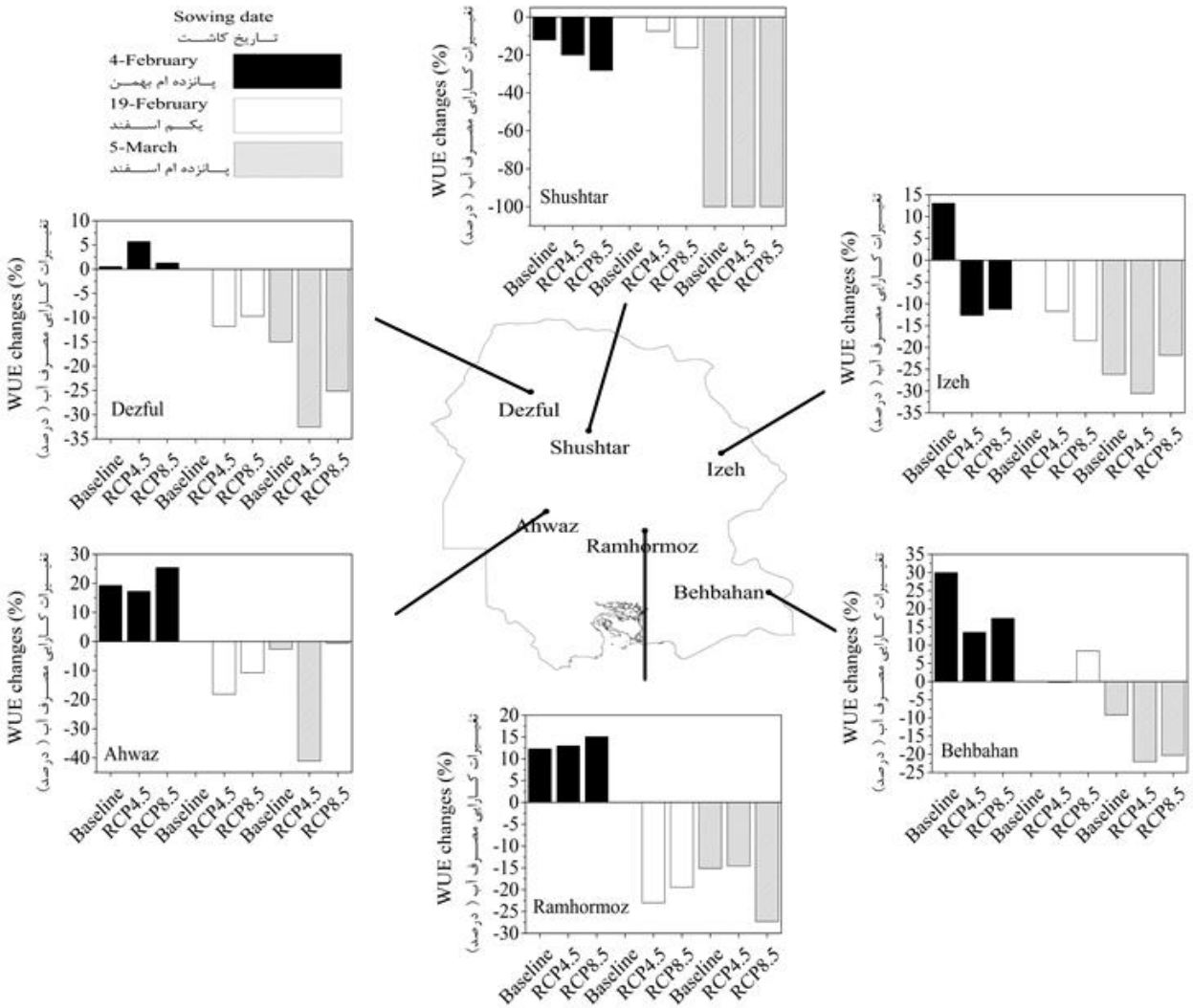


شکل ۴- تغییرات تبخیر و تعرق تحت دوره آینده و پایه در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ بهمن) در دوره پایه.

Fig. 4- Changes in evapotranspiration under future and baseline periods relative to the custom sowing date (19-Febuary) in the baseline.

کارایی مصرف آب در دوره آینده نیز نشان‌دهنده برتری تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن و عدم بهینه بودن تاریخ کاشت مرسوم استان خوزستان بود. تحت شرایط تغییر اقلیم به طور کلی درصد کاهش در کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت‌های مختلف نسبت به تاریخ کاشت مرسوم در دوره پایه، نشان‌دهنده برتری و اختلاف زیاد تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵بهمن (۲/۸ درصد و ۳/۳ به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) در در مقایسه با دو تاریخ کاشت دیگر در استان خوزستان بود (۱۲- درصد و ۱۱- به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۴۰/۱- و ۳۲/۵- درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 برای تاریخ کاشت ۱۵ اسفند). در واقع تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن نه تنها در دوره آینده نسبت به تاریخ کاشت مرسوم (۱ اسفند) منطقه در دوره پایه دارای کارایی مصرف آب کمتری نبود بلکه به طور میانگین تحت دو سناریوی مورد مطالعه، ۳ درصد کارایی مصرف آب را افزایش داد (شکل ۵). بهرحال بیشترین تغییرات مثبت در کارایی مصرف مربوط به شهرستان اهواز و تاریخ کاشت ۱۵ بهمن با ۱۷/۲ و ۲۵/۴ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5 بود. همچنین بیشترین تغییرات منفی با ۱۰۰- درصد (به علت عدم تشکیل عملکرد دانه در تمام سال‌ها) مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ اسفند در شهرستان شوشتر تحت هر دو سناریوی اقلیمی بود (شکل ۵). کارایی مصرف آب نتیجه دو عامل مقدار عملکرد و تبخیر و تعرق می‌باشد که مقدار این صفت با بالاتر رفتن عملکرد و کاهش مقدار تبخیر و تعرق افزایش پیدا می‌کند. در واقع برتری تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن از نظر کارایی مصرف آب به علت تولید عملکرد بالاتر این تاریخ کاشت و تبخیر و تعرق کمتر آن می‌باشد. همانطور که در جدول ۲ مشخص

می‌باشد تاریخ کاشت ۱۵ بهمن در دوره پایه دارای تبخیر و تعرق کمتر و عملکرد دانه اقتصادی بالاتری نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر است. این شرایط در دوره آینده نیز صادق بود بطوریکه در تمامی مناطق و دو سناریو، ۱۵ بهمن دارای کارایی مصرف آب و عملکرد دانه اقتصادی بالاتر (۱۰/۹ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر آب و ۹۴۱۳/۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب کارایی مصرف آب و عملکرد دانه اقتصادی) و تبخیر و تعرق کمتری (۸۶۱/۲ میلیمتر) نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند (۹/۴ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر، ۹۴۰۶/۴ کیلوگرم در هکتار و ۹۹۲ میلیمتر به ترتیب کارایی مصرف آب، عملکرد دانه اقتصادی و تبخیر و تعرق) و ۱۵ اسفند بود (۶/۸ کیلوگرم عملکرد دانه بر میلیمتر، ۷۰۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۸۷/۵ میلیمتر به ترتیب کارایی مصرف آب و عملکرد دانه اقتصادی و تبخیر و تعرق) (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). Deihimfard and Rahimi Moghaddam (2016) در یک بررسی شبیه‌سازی-شده نشان دادند که کشت پاییزه نسبت به کشت بهاره به علت تبخیر و تعرق کمتر و عملکرد دانه بالاتر دارای کارایی مصرف آب بالاتری (۲/۵۷ کیلوگرم ماده خشک اندام ذخیره‌ای به متر مکعب در کشت پاییزه در مقابل ۱/۶۷ کیلوگرم ماده خشک اندام ذخیره‌ای به متر مکعب در کشت بهاره) بود. در تحقیقی دیگر به منظور تعیین راهکارهایی برای افزایش کارایی مصرف آب ذرت تحت شرایط تغییر اقلیمی نتیجه‌گیری شد که تغییر در تاریخ کاشت و مدیریت تاریخ کاشت می‌تواند به افزایش کارایی مصرف آب ذرت تحت شرایط تغییر اقلیم کمک کند (Ramprasad *et al.*, 2016).



شکل ۵- تغییرات کارایی مصرف آب تحت دوره آینده و پایه در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ بهمن) در دوره پایه.

Fig 5- Changes in WUE under future and baseline periods relative to the custom sowing date (19-Febuary) in the baseline.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از تاریخ کاشت‌های مختلف برای بررسی سازگاری ذرت در شرایط تغییر اقلیم و بهبود کارایی مصرف آب این گیاه استفاده شد. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت مرسوم منطقه (۱ اسفند) در حال حاضر بهینه نیست و تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ اسفند نسبت به تاریخ کاشت مرسوم و تاریخ کاشت دیرهنگام (۱۵ اسفند) از نظر عملکرد دانه اقتصادی کارکرد بالاتری دارد به طوریکه این تاریخ کاشت در دوره پایه با ۱۰۱۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه اقتصادی در مقایسه با دو تاریخ کاشت ۱ اسفند (۱۰۰۶۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵ اسفند (۷۱۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار) دارای عملکرد بالاتری بود. این تاریخ کاشت از نظر عملکرد دانه اقتصادی در دوره آینده نیز برتری خود را حفظ کرد به طوری که این تاریخ کاشت در تمامی مناطق و سناریوهای مورد مطالعه، عملکرد دانه اقتصادی بالاتری (۹۴۱۳/۷ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند (۹۴۰۶/۴ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵ اسفند (۷۰۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار) داشت.

تاریخ کاشت زودهنگام از نظر سایر صفات (کارایی مصرف آب، میانگین دما در طول فصل رشد و تبخیر و تعرق) نیز هم در دوره آینده و هم در دوره گذشته دارای برتری بود. در در دوره آینده نیز تاریخ کاشت زودهنگام ۱۵ بهمن نسبت به تاریخ کاشت مرسوم منطقه در دوره پایه دارای افزایش کارایی مصرف آب بود (به میزان ۳ درصد). به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تاریخ کاشت مرسوم منطقه مورد مطالعه برای ذرت از نظر تولید عملکرد دانه اقتصادی و کارایی مصرف آب بهینه نیست و برای رسیدن به کارایی مصرف آب و تولید عملکرد دانه اقتصادی بالاتر باید به سمت تاریخ کاشت‌های زودهنگام رفت. این موضوع به خصوص در شرایط تغییر اقلیم آینده این استان اهمیت دارد زیرا کشاورزان این منطقه در آینده با توجه به افزایش دمای طول فصل رشد (۹/۷ درصد) و نیز افزایش تبخیر و تعرق (۵/۸ درصد)، باید تاریخ کاشت های زودهنگام را انتخاب کنند تا هم درصد عدم تشکیل عملکرد دانه به حداقل برسد، عملکرد دانه اقتصادی افزایش یابد و مهمتر از آنها کارایی مصرف آب، به حداکثر مقدار خود نزدیک شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project
[2] Model for Interdisciplinary Research On Climate
[3] Agricultural Production Systems sIMulator

منابع

AgMIP, 2013a. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with Rin Windows. AgMIP, URL: http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf

AgMIP, 2013b. The Coordinated Climate-Crop Modeling Project C3MP: An Initiative of the Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project. C3MP Protocols and Procedures. AgMIP, URL: http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf

Anonymous, 2014. Agricultural statistics. Iranian Ministry of Agriculture Jihad, Department of Planning and Economically, Center of Information and Communication Technology, first volume, 2013-2014, Iran. (In Persian). Available online at http://maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-792106c74dcc

Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K.M., Kisekka I. and Martorano, L.G., 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. Agricultural and Forest Meteorology. 214, 252-265.

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.

Bannayan, M., Mansoori, H. and Eyshi Rezaei, E., 2014. Estimating climatic Change, CO2 and technology development effects on wheat yield in northeast Iran. International Journal of Biometeorology. 58, 395-405.

Dashtbozorgi, A., B. Alijani, Z. Jafarpur and A, Shakiba. 2015. Simulating Extreme Temperature Indicators Based on RCP Scenarios: The Case of Khuzestan Province. Geography and Environmental Hazards. 4, 105- 123. (In Persian with English Abstract).

Deihimfard, R. and Rahimi Moghaddam, S., 2016. Assessing the yield of spring and autumn-sown sugar beet in Mashhad and Neyshabor, Khorasan using a simulation model. Electronic Journal of Crop

Production. 3, 157- 180. (In Persian with English abstract).

Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M. and Nouri O., 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. Electronic Journal of Crop Production, 8, 203-224. (In Persian with English abstract).

Eyshi Rezaei, E., Gaiser, T., Siebert, S. and Ewert, F., 2015. Adaptation of crop production to climate change
by crop substitution. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 20, 1155-1174.

Eyshi Rezaie, E. and Bannayan, M., 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. Meteorological Applications.19, 346– 354.

Gohari, A., Eslamian, S., Abedi- Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D. and Madani, K., 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Science of the Total Environmental. 442, 405-419.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A. and Tsuji, G.Y. (Editors). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.

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

Kang, Y., Khan, S. and Ma, X., 2015. Analysing Climate Change Impacts on Water Productivity of Cropping Systems in the Murray Darling Basin, Australia. Irrigation and Drainage. 64, 443-453.

Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn D.M. and Smith, C. J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. European Journal of Agronomy, 18, 267– 288.

Kirkegaard, J.A., Lilley, J.M., Howe, G.N. and Graham, J.M., 2007. Impact of subsoil water use on wheat yield. Crop and Pasture Science. 58, 303–315.

Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharif, H. and Ghorbani, R., 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research. 30, 247-253.

Lashkari, A., Alizadeh, A., Eyshi Rezaei, E. and Bannayan, M., 2012. Mitigation of climate change impacts on Maize productivity in northeast of Iran: a simulation study. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 17, 1-16.

Li, X., Takahashi, T., Suzuki, N. and Kaiser, H.M., 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. Agricultural Systems. 104, 348–353.

Lu, H.D., Xue, J.Q. and Guo, D.W., 2017. Efficacy of planting date adjustment as a cultivation strategy to cope with drought stress and increase rainfed maize yield and water-use efficiency. Agricultural Water Management. 179, 227-235.

Lv Z., Lio X., Cao W. and Zhu, Y., 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. Agricultural of Forest Meteorology. 171-172, 234-248.

Manschadi, A.M., Soufizadeh, S. and Deihimfard. R., 2010. The role and importance of simulation modelling in improving crop production in Iran. In Proceedings in the 11th Iranian Crop Science Congress, 24th-26th July, Tehran, Iran. pp. 234-247. (Key paper).

Mera, R.J., Niyogi, D., Buol, G.S., Wilkerson, G.G. and Semazzi, F.H.M., 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. Global and Planetary Change. 54, 163–182.

Mo, X., Liu, S., Lin, Z. and Guo R., 2009. Regional crop yield, water consumption and water use efficiency and their responses to climate change in the North China Plain. Agriculture Ecosystems Environment. 134, 67–78.

Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Mansoori, H., 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 18, 265-284.

Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia. 64, 114-118.

R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL

https://www.R-project.org/.

Rahimi Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2017. Estimation of parameters for some dominant maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for using in APSIM mechanistic model. Electronic Journal of Crop Production (In Press) (In Persian with English abstract).

Ramprasad, C.H., Anil, G., Patil, A. and Sridhar, N., 2016. Technology approaches to increase the water use efficiency of maize under climate change: a review. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology. 7, 43- 57.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. and Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. European Journal of Agronomy. 32, 91–102.

Ruane, A.C., Cecil, L.D. and Horton, R.M., 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: farm information, climate projections, and yield sensitivities. Agricultural and Forest Meteorology. 170, 132–145.

Seifert, E., 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. Journal of Chemical Information and Modeling. 54, 1552–1552.

Soler, C.M.T., Sentelhas, P.C. and Hoogenboom, G., 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. European Journal of Agronomy. 27, 165-177.

Stone, P., 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In: Basra, A.S. (Eds.), Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress. Food Products Press, Binghamton, NY, USA, pp. 243–291.

Wall, B.H. "TAMET". 1977: Computer program for processing meteorological data." CSIRO Australia. Division of Tropical Crops and Pastures. Tropical Agronomy Technical Memorandum, 4, 13p.

Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O., 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. In: IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis.

Yang, Y., Liu, D.L., Rajin Anwar, M., Leary, G., Macadam, I. and Yang, Y. 2016. Water use efficiency and crop water balance of rainfed wheat in a semi-arid environment: sensitivity of future changes to projected climate changes and soil type. Theoretical and Applied Climatology. 123, 565-579.

Yano, T., Aydin, M. and Haraguchi, T., 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. Sensors. 7, 2297-2315.

Investigating the maize (*Zea mays* L.) water use efficiency in hot areas under climate change conditions

Sajjad Rahimi Moghaddam, Jafar Kambouzia,* and Reza Deihimfard

Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran

Received: October 9, 2016 Accepted: July 17, 2016

Citation: Rahimi Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2016. Investigating the maize (*Zea mays* L.) water use efficiency in hot areas under climate change conditions. Environmental Sciences. 14(3),27-40.

Introduction: Iran is located in an arid and semiarid region that is vulnerable to environmental changes. So, it would appear that the occurrence of climate change in this region would have a significant impact on agricultural production systems (Eyshi Rezaie and Bannayan, 2012). Climate change might affect the water available for agriculture and, consequently, lead to drought occurring in semiarid areas (Koocheki *et al.*, 2006). Evaluating adaptation strategies, such as changing the planting of dates, can help to increase maize water use efficiency under climate change conditions (Ramprasad *et al.*, 2016). One of the cheapest ways to measure the effects of climate change on agricultural production is through a modelling approach and application of simulation models (Manschadi *et al.*, 2010).

Materials and methods: This study aims at investigating the sowing date as a strategy for maize adaptation and improving its water use efficiency under climate change conditions in Khuzestan Province. For this purpose, six locations in Khuzestan Province were selected (Ahwaz, Behbahan, Dezful, Izeh, Ramhormoz and Shushtar). Daily long-term climatic data including minimum and maximum temperatures, rainfall and global radiation in a baseline period (1980-2010) were collected for these locations from their meteorological stations. Then, daily long-term climatic data were generated for the future period of 2040-2069 in these locations by using a method proposed by AgMIP under two climate scenarios (RCP4.5 and RCP8.5). In this study, the SC704 cultivar was used. Taking into account three sowing dates (4 February, 19 February [a common sowing date] and 5^{h} March), six locations, and two climate scenarios over 30 years, a total of 1620 simulation experiments were carried out in this study. In order to simulate the growth and yield of maize under different sowing dates, the APSIM model was applied.

Results and discussion: Results indicated that early sowing date (4 February) with 10117.1 kg ha^{-1} had a higher economical grain yield compared to 19 February (10061.3 kg ha^{-1}) and 5 March (7194.6 kg ha^{-1}). Also, in the future period, the reduction percentage in economical grain yield at the different sowing dates compared to the baseline common planting date (19 February) showed that the early sowing date of 4 February recorded less reduction (-3.3 and -4.5 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) than 19 February (-6.5 and -6.7 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) and 5st March (-31.1 and -23.2 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively). On average in Khuzestan Province, an early sowing date indicated higher water use efficiency (WUE) (11.8 kg ha^{-1} mm^{-1}) compared to 19 February (10.7 kg ha^{-1} mm^{-1}) and 5 March (7.6 kg ha^{-1} mm^{-1}) in the baseline period. However, under climate change conditions, reduction of WUE in different planting dates compared to the baseline common sowing date (19 February) revealed that 4 February (2.8 and 3.3 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) was superior compared with 19 February (-12 and -11 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) and 5 March (-40.1 and -32.5 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) in term of WUE in Khuzestan Province.

Conclusion: In general, according to the results found the common sowing date of maize in Khuzestan is not optimal for maize in terms of water use efficiency and economical grain yield. Accordingly, to increase economical grain yield and water use efficiency in both the future and baseline periods at Khuzestan Province, farmers should choose the early sowing date (4 February) compared to the common and late ones.

Keywords: Khuzestan, Sowing date, Adaptation, Grain yield.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: jkambouzia@gmail.com.