دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دهم، شماره سی و دو، ۱۳۹۷

تعیین بهترین تاریخ کاشت نخود دیم در استان کرمانشاه با استفاده از رهیافت مدلسازی

سیدرضا امیری[۱]

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی ابزاری مفید در تعیین راهبردهای مطلوب مدیریت زراعی و پایداری تولید در بوم‌نظام‌های کشاورزی به شمار می‌آیند. هدف از این تحقیق بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب نخود (رقم بیونیج) تحت شرایط دیم ۵ منطقه در استان کرمانشاه بود. بدین منظور از مدل SSM-Chickpea برای انجام شبیه سازی‌های بلند مدت۳۰ ساله در مناطق مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که کشت زود هنگام همراه با افزایش سطح برگ، افزایش عملکرد بیولوژیک و نیز به تعویق انداختن تنش خشکی انتهای فصل منجر به افزایش عملکرد گردید. بیشترین و کمترین عملکرد دانه در تاریخ‌های کاشت اول اسفند و اول اردیبهشت به ترتیب برابر با ۱۲۶۹ و ٤٤٦ کیلو گرم بر هکتار بود. تأخیر در کاشت منجر به کاهش ٦٤ درصدی عملکرد دانه شد. همچنین بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در تاریخ‌های کاشت اول اسفند (۳٤٤۸ کیلو گرم در هکتار) و اول اردیبهشت (۲۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. از طرف دیگر، بیشترین کارایی مصرف آب در تاریخ کاشت اول اسفند (٦/٦ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) حاصل شد. به طور کلی کشاورزان در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک و سرد ایران مانند استان کرمانشاه با استفاده از تاریخ کاشت زود هنگام اول اسفند می توانند ضمن افزایش طول دوره رشد گیاه و همزمانی بیشتر باران با فصل رشد گیاه از مصادف شدن دوران رشد زایشی گیاه خصوصاً گلدهی و غلاف دهی با تنش خشکی انتهای فصل و دماهای بالا جلوگیری کرده و با افزایش کارایی مصرف آب، عملکرد بیولوژیک و نهایتاً عملکرد نخود را افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، مدل SSM-Chickpea، کارایی مصرف آب

امیری، س.ر. ۱۳۹۷. تعیین بهترین تاریخ کاشت نخود دیم در استان کرمانشاه با استفاده از رهیافت مدل سازی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۲: ۱۳۰-۱٤۱.

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران. پست الکترونیک:
seyedrezaamiri@yahoo.com

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) به عنوان سومین محصول در بین حبوبات در جهان و اولین محصول در غرب آسیا و شمال آفریقا مطرح است. این گیاه یک محصول دانه‌ای مهم در نظام‌های کشاورزی دیم این مناطق به شمار می‌رود (مالهوترا و ساکسینا، ۲۰۰۲؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱) در ایران نیز نخود مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است و بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت حبوبات را به خود اختصاص می‌دهد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). ایران در مقیاس جهانی با سطح زیر کشت ۵٦۰۱۹۱ هکتار پس از هند، پاکستان و ترکیه بیشترین سطح زیر کشت را داراست ولی از لحاظ عملکرد دیم با متوسط عملکرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه ٤۵ قرار دارد (فائو، ۲۰۱۲).

در مناطق دیم عملکرد سالیانه به شدت وابسته به مقدار باران و توزیع فصلی آن است. به طوریکه تغییرات مستمر بارندگی بکارگیری یک مدیریت زراعی واحد که متضمن حصول حداکثر عملکرد محصول با روندی نسبتاً ثابت و قابل پیش‌بینی در طی سال‌ها باشد را دشوار می‌کند. برای فایق آمدن بر این مسئله و راهنمایی زارعین در اتخاذ بهترین تصمیم مدیریتی توسل به آزمایشات مزرعه‌ای رایج است. با این حال تصمیم‌گیری صرفاً بر اساس نتایج این آزمایشات چندان رضایت بخش نیست. بیرلی و همکاران (۱۹۹۱) و الیری و کانور (۱۹۹۷) اظهار کردند که به دلیل وجود اثرات متقابل بین اقلیم، خاک و گیاه آزمایشات مزرعه‌ای کوتاه مدت و محدود به تعداد اندکی سال قادر به پیش‌بینی واکنش عملکرد به استراتژی‌های مدیریتی نمی‌باشد. گزارشاتی وجود دارد مبنی بر اینکه ملاک قرار دادن نتایج حاصل از تعداد اندکی آزمایش مزرعه‌ای، حتی ممکن است با واقعیت همخوانی نداشته باشد (سیمانس و همکاران، ۱۹۹٤) .

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی ارزیابی شده توأم با به کارگیری آمار هواشناسی دراز مدت هر منطقه می‌تواند ابزاری کارگشا در این خصوص باشد (فیشر و همکاران، ۱۹۹۰). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در تجزیه و تحلیل نظام‌های زراعی در واکنش به عملیات مدیریتی و تحت شرایط متغیر محیطی با وجود دسترسی به طیفی از داده‌های اقلیمی اهمیت زیادی پیدا کرده است (امیری ده احمدی و همکاران، ۲۰۱٤؛ بنایان و همکاران، ۲۰۱۳؛ دیهیم فرد و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنو و همکاران، ۲۰۱۳). رسام و سلطانی(۱۳۸٦) با استفاده از مدل Cyrus و سناریوهای مختلف مدیریتی در تولید نخود دیم اعلام کردند که به تأخیر انداختن کشت بهاره نخود، به واسطه کاستن از سطح فتوسنتز کننده گیاه، کوتاه کردن دوره رشد گیاه، کاهش تعرق و برخورد نمودن بخش اعظم دوره رشد زایشی گیاه با تنش خشکی انتهای فصل موجب کاهش جدی عملکرد و به تبع آن کاهش کارایی مصرف آب می‌شود. بنابراین در کشت زود هنگام امکان برخورد با تنش انتهای فصل رشد کاهش یافته و در نتیجه شاخص سطح برگ و میزان ماده خشک تولیدی و نهایتاً عملکرد افزایش می‌یابد. آگراوال و کالرا (۱۹۹٤) با استفاده از مدل WTGROWTH عملکرد گندم را در تاریخ‌های کاشت بهینه (اوایل تا اواخر نوامبر) و مرسوم (۱۵ دسامبر) در سرتاسر هندوستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با هر روز تأخیر در کاشت عملکرد ۵۰ کیلو گرم در هکتار کاهش می‌یابد. آرایا و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل AquaCrop عملکرد دانه و بیولوژیک جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ‌های کاشت را در شمال اتیوپی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تاریخ کاشت زود هنگام (٤ جولای) منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب می‌شود.

تحقیقات اخیر در ایران (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۸؛ گنجعلی و نظامی، ۱۳۸۷؛ پارسا و همکاران، ۱۳۹۰) نشان داده است که کشت زود هنگام نخود (زمستانه) نسبت به کشت دیر هنگام منجر به افزایش عملکرد نخود می‌شود. در مناطق خشک و نیمه خشک که کشاورزان با محدودیت آبیاری برای نخود روبه‌رو هستند، کشاورزان حداکثر قادر به کاربرد دو مرتبه آبیاری می‌باشند، بنابراین کشت نخود عمدتاً به صورت دیم است. هدف از این مطالعه بررسی سطوح مختلف تاریخ کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب نخود در مناطق اصلی زیر کشت این گیاه در استان کرمانشاه بود. در این مطالعه از رهیافت مدل‌سازی گیاهان زراعی برای تعیین بهترین تاریخ کاشت برای بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های آب و هوایی

در این تحقیق پنج منطقه اصلی تولید نخود در استان کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول۱). داده‌های بلند مدت آب و هوایی برای دوره ۱۳٦٤ تا ۱۳۹۳ شامل تشعشع خورشیدی (مگا ژول بر متر مربع بر روز)، بارندگی (میلی‌متر)، حداکثر و حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) مربوط به هر شهرستان مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شد.

جدول۱- اطلاعات جغرافیایی، آب و هوایی مورد استفاده برای شبیه سازی عملکرد نخود در استان کرمانشاه

منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره شبیه‌سازی
اسلام آباد غرب	٤٦/٥٢°E	٣٤/١١°N	١٣٣٥	١٣٩٣-١٣٦٤
کرمانشاه	٤٧/٠٦°E	٣٤/٣١°N	١٤٠٠	١٣٩٣-١٣٦٤
کنگاور	٤٧/٩٦°E	٣٤/٥٠°N	١٤٥٧	١٣٩٣-١٣٦٤
سرپل ذهاب	٤٥/٨٦°E	٣٤/٤٦°N	٥٤٩	١٣٩٣-١٣٦٤
روانسر	٤٦/٦٥°E	٣٤/٧٠°N	١٣٦٢	١٣٩٣-١٣٦٤

مدل شبیه‌سازی

در این مطالعه از مدل SSM-Chickpea (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱) استفاده شد. با توجه با اینکه کد اصلی این مدل در برنامه ویژوال بیسیک[1] نوشته شده است که یک زبان برنامه نویسی است، در این مطالعه ابتدا تمامی دستورات مدل به زبان FST[2] یا مترجم شبیه‌سازی فورترن تبدیل شد. این برنامه و نرم افزار مربوط به آن، ابزار بسیار پر قدرت و در عین حال، زبان برنامه نویسی ساده ای است که پیام های واضح مربوط به خطا را نیز ارائه می دهد که می‌تواند به راحتی و با زبان خیلی ساده تر برای محققین و دانشجویان مورد استفاده قرار گیرد. یکی از ویژگی های خیلی مهم این برنامه این است که بر خلاف بسیاری از زبان های برنامه نویسی نیازی به رعایت ترتیب محاسباتی در برنامه نمی باشد. مزیت این قابلیت آن است که برنامه نویس می تواند دستورات را بر اساس نوعی نظم و ترتیب مفهومی قرار دهد (فان کرانلینگن، ۲۰۰۳). این مدل، نمو فنولوژیک، تولید و توزیع ماده خشک، رشد و پیر شدن سطح برگ، موازنه نیتروژن در گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را شبیه سازی می‌کند.

در این مدل، واکنش فرآیندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. مدل برای شبیه‌سازی روزانه به اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی نیاز دارد. مدل مراحل فنولوژیک را به عنوان تابعی از دما، طول روز و تنش کمبود آب پیش‌بینی می‌کند. گسترش و پیر شدن سطح برگ تابعی از دما، مواد فتوسنتزی فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد. تولید ماده خشک به عنوان تابعی از تشعشع دریافت شده و دما تخمین زده می‌شود و ماده خشک تولیدی بر اساس نمو و رابطه مبدأ- مقصد بین اندام‌های رویشی و دانه توزیع می‌شوند. موازنه آب خاک در مدل شامل رواناب، رشد ریشه و افزایش عمق مؤثر استخراج آب، تبخیر از سطح خاک، تعرق و زهکشی و نیز اثرات تنش کمبود آب بر گسترش سطح برگ، تولید ماده خشک است که به صورت روزانه انجام می‌شود (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱). محاسبات موازنه آب خاک عمدتاً بر گرفته از سینکلر (۱۹۸٦)، امیر و سینکلر (۱۹۹۱) و سلطانی و همکاران (۲۰۰۱) بود. برای انجام محاسبات موازنه آب خاک، خاک به صورت دو لایه در نظر گرفته شد: یک لایه فوقانی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و لایه دوم که شامل لایه اول نیز بود و برابر با عمق مؤثر استخراج آب[3] است. عمق لایه دوم با شروع رشد ریشه افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد. در هر روز معین (i)، مقدار آب قابل دسترس در لایه اول (ESW^4) و دوم ($ATSW^5$) و کسر آب قابل تعرق خاک ($FTSW^6$) از معادلات ۱ تا ۳ بدست آمد:

$ESW_i = ESW_{i-1} + I - ES - TR1 - D$ معادله (۱)

$ATSW_i = ATSW_i + I + EWAT - ES - TR - D$

معادله (۲)

$FTSW = ATSW_i / TTSW$ معادله (۳)

که در آنها I مقدار آب نفوذ کرده به خاک در اثر بارندگی (پس از کسر رواناب) یا آبیاری، ES^7 تبخیر از سطح خاک، $TR1^8$ مقدار آب تعرق یافته که از لایه اول جذب شده است، D^9 زهکشی، $EWAT^{10}$ مقدار آبی که در اثر افزایش عمق مؤثر استخراج آب یعنی نفوذ ریشه به لایه‌های زیرین قابل دسترس شده است، TR^{11} مقدار آب تعرق یافته و TTSW کل آب قابل تعرق خاک (بالقوه) می‌باشند. TTSW را می‌توان با ضرب‌کردن عمق مؤثر استخراج آب و کسر حجمی آب قابل استخراج خاک

1-Visual Basic
2 - Fortran Simulation Translator

3 - Effective Extractable Depth
4 - Amount of available soil water in first layer
5 - Actual transpirable soil water
6 - Fraction transpirable soil water
7 - Actual soil evaporation
8 - Daily transpirational water that is uptaked from top layer
9 - Drainage
10 - Amount of water become available for crop use due to root growth
11 - Daily transpiration

به‌دست آورد. کسر حجمی آب قابل استخراج خاک در خاک‌های زراعی عموماً برابر ۰/۱۳ متر بر متر می‌باشد.

آزمایش‌های شبیه‌سازی

با استفاده از مدل مربوطه عملکرد و کارایی مصرف آب تحت تاریخ‌های مختلف کاشت در شرایط دیم محاسبه شد. کارایی مصرف آب با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (تنر و سینکلر، ۱۹۸۳):

$$WUE = \frac{Y}{ET}$$ معادله (۱)

که در آن Y: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و ET: تبخیر و تعرق تجمعی در طول فصل رشد گیاه (میلی‌متر) می‌باشد.

کشاورزان در منطقه کرمانشاه معمولاً نخود را در اوایل اسفند تا اوایل اردیبهشت کشت می‌کنند. بنابراین تاریخ های کاشت ۱ و ۱۵ اسفند به عنوان تاریخ های کاشت زود هنگام و ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت به عنوان کشت دیر هنگام در نظر گرفته شدند. در این تحقیق از رقم بیونیج استفاده شد که رقمی رایج در سطح منطقه است. مقادیر برخی از پارامترهای حاصل از واسنجی مربوط به رقم بیونیج در جدول ۲ ارائه شده است. کلیه پارامترهای مربوط به هر یک از مراحل فنولوژیک و بیلان آب خاک در سلطانی و سینکلر، (۲۰۱۱) و سلطانی و ترابی (۱۳۸۸) به طور کامل ارائه شده است. برخی پارامترها مختص رقم هستند مثل کارایی استفاده از تشعشع و ضریب خاموشی که توسعه دهندگان مدل یک مقدار برای آنها در نظر گرفتند که کم و بیش تغییری بین ارقام نیز ندارد اما دسته دوم پارامترهای مختص رقم هستند که در این تحقیق از طریق کالیبراسیون و با آزمایش برآورد شده اند. اطلاعات کامل مربوط به پارامترهای مربوط به رقم بیونیج در وبسایت مربوط به مدلسازی گیاهان زراعی قابل دسترس است (بی نام، ۲۰۱۶). همچنین تراکم کاشت ۲۵ بوته در متر مربع، عمق خاک ۱۰۰ سانتی‌متر، آب خاک معادل ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در زمان کاشت بود.

جدول ۲- برخی پارامترهای حاصل از واسنجی مدل برای رقم بیونیج

پارامتر	مقدار	منابع مورد استفاده
حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن (PDHI، بدون واحد)	۰/۰۱۸	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
غلظت نیتروژن دانه (GNC، میلی‌گرم بر گرم)	٤۳	سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱
حداکثر سرعت تولید گره در ساقه اصلی در دمای مطلوب (MAXNOD، گره در روز)	۰/۷۲	سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱
ضریب حساسیت به طول روز (PPSENR1)	۰/۰۰۷۸۵	سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱
روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن (PTDVE) (عمق کاشت ٤ سانتی‌متر)	٤	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن تا گلدهی(PTDVER1)	۲۵	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
روز بیولوژیک مورد نیاز برای گلدهی تا غلافدهی(PTDR1R3)	۱۲	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
روز بیولوژیک مورد نیاز برای غلافدهی تا شروع پر شدن دانه(PTDR3R5)	٤	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
روز بیولوژیک مورد نیاز برای شروع پر شدن دانه تا شروع رسیدگی (PTDR5R7)	۱۷	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
روز بیولوژیک مورد نیاز برای شروع رسیدگی تا رسیدگی کامل (PTDR7R8)	٦	سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸
کارایی استفاده از تشعشع (RUE، گرم بر مگاژول تشعشع جذبی)	۱	سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱
ضریب خاموشی (K، بدون واحد)	۰/۵	سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

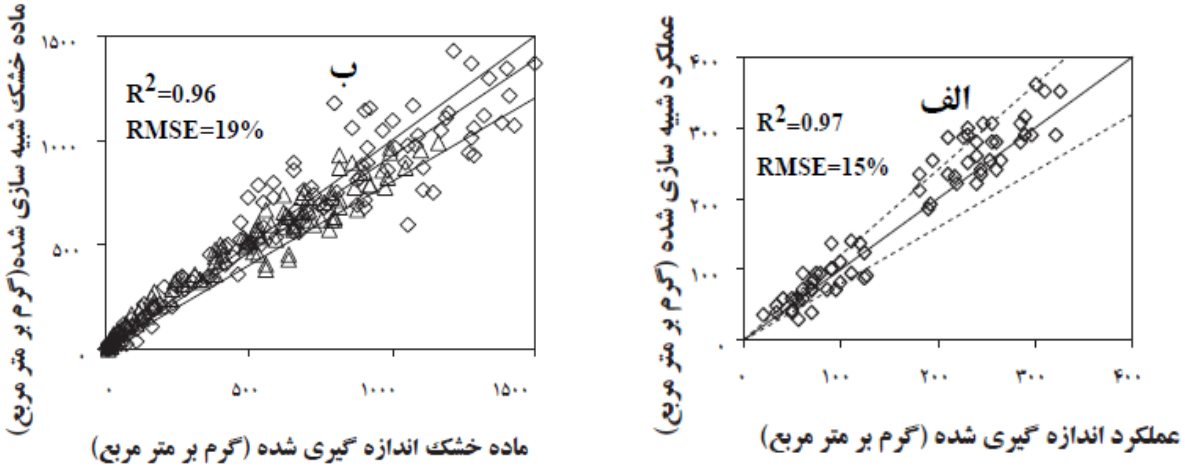
ارزیابی مدل با استفاده از اطلاعات شرایط دیم و آبی مناطق مختلف کشور و برای چندین رقم (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱؛ سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲؛امیری ده‌احمدی و همکاران، ۲۰۱٤) نشان داده است که کارایی مدل در پیش بینی عملکرد و ماده خشک قابل قبول بوده و می‌توان از آن در تجزیه و تحلیل تولید نخود در شرایط دیم و آبی و بررسی محدودیت‌های اقلیمی،

خاک، مدیریت زراعی و رقم در تولید نخود استفاده کرد (شکل ۱). بنابراین مدل نیازی به واسنجی مجدد برای بررسی عملکرد در مناطق مختلف کشور ندارد. سلطانی و سینکلر (۲۰۱۱) برای اعتبارسنجی مدل SSM-Chickpea از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا[1] استفاده کردند آنها با مقایسه عملکردهای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ۱۰٤ آزمایش در سرتاسر ایران مقدار این شاخص را ۲٦۰ کیلوگرم در هکتار (۱۵ =(%) RMSE) برآورد کردند. همچنین نتیجه ارزیابی ماده خشک تولیدی مشاهده شده و اندازه گیری شده با استفاده از این شاخص برابر با ۱۰۸۰ کیلوگرم در هکتار (۱۹ =(%) RMSE) بود.

عملکرد

نتایج نشان داد که در کلیه شهرستان های مورد مطالعه، تاریخ کاشت زود هنگام (۱ اسفند) نسبت به دیر هنگام (۱ اردیبهشت) عملکرد بیشتری تولید کرد. زیرا در تاریخ کاشت اول اسفند بارندگی بیشتر و دوره رشد گیاه طولانی تر بود که منجر به افزایش عملکرد دانه شد. متوسط عملکرد در کلیه شهرستان‌ها در تاریخ کاشت اول اسفند و اول اردیبهشت به ترتیب برابر با ۱۲٦۹ و ٤٤٦ کیلو گرم بر هکتار بود (جدول ۳). با تأخیر در کاشت از اوایل اسفند به اول اردیبهشت عملکرد به میزان ٦٤ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد در تاریخ کاشت اول اسفند در شهرستان روانسر به میزان ۱٤٥٤ کیلوگرم بر هکتار مشاهده شد (جدول ۳). در این منطقه در تاریخ کاشت اول اسفند ۲۰۵ میلیمتر بارندگی وجود داشت و از طرفی طول دوره رشد نیز ۱۲۵ روز بود (جدول ۳). شهرستان های کنگاور و کرمانشاه نسبت به سرپل ذهاب با وجود بارندگی بیشتر در تاریخ کاشت اول اسفند عملکرد دانه کمتری داشتند زیرا در این شهرستان ها متوسط دما طی فصل رشد به ترتیب ۱۵ و ۱٤ درجه سانتیگراد بود در حالی که در شهرستان سرپل ذهاب متوسط دما ۲۱ درجه سانتیگراد بود (جدول ۳) که شرایط دمای محیطی نیز در این شهرستان برای نمو فنولوژیک مهیاتر بود. دمای بین ۱٦ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شرایط مناسب برای رشد نخود می‌باشد. دماهای گرمتر پیری را تسریع، دوره رشد را کوتاه و نتیجتاً عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. در دماهای پایین نیز سرعت نمو فنولوژیک کاهش می یابد. در واقع میزان پوشش سبز، شاخص سطح برگ کاهش می یابد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰٦). از طرف دیگر در شهرستان سرپل ذهاب عملکرد بیولوژیک (٤۰۱۲ کیلوگرم بر هکتار) و حداکثر شاخص سطح برگ (۲/٦) بیشتر از شهرستان های کنگاور و کرمانشاه بود که منجر به افزایش عملکرد دانه شد. کمترین عملکرد در تاریخ کاشت اول اردیبهشت و شهرستان سرپل ذهاب به میزان ۳٤۰ کیلو گرم بر هکتار مشاهده شد (جدول ۳). در شهرستان سرپل ذهاب در تاریخ کاشت اول اردیبهشت ۳۸ میلیمتر بارندگی وجود داشت و همچنین طول دوره رشد گیاه نیز ۸٤ روز بود (جدول ۳) که منجر به کاهش چشمگیر عملکرد شد. از طرف دیگر، در شهرستان های مورد مطالعه در کلیه تاریخ های کاشت به علت نوسان بارندگی در طی سال های شبیه سازی نوسان عملکرد نیز زیاد بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). امیری ده احمدی و همکاران (۲۰۱٤) در بررسی خلاء عملکرد نخود در استان خراسان رضوی نتیجه گرفتند که نوسانات قابل توجه عملکرد پتانسیل دیم ناشی از میزان بارندگی بسیار کم و پراکنش نامناسب است. بنابراین دستیابی به عملکردهای بالای نخود در مناطق با بارندگی اندک بسیار ناچیز است.

1 - Root Mean Square Error (RMSE)



شکل۱- مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده عملکرد دانه (الف) و ماده خشک (ب) بر اساس داده‌های حاصل از مطالعات مستقل (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱)

به طور کلی همراه با تأخیر در کاشت از میزان بارندگی در کلیه شهرستان‌های مورد مطالعه به میزان ۷٦ درصد کاسته شد. از طرف دیگر متوسط دما طی فصل رشد نیز ۳۷ درصد افزایش یافت که منجر به کاهش طول دوره رشد گیاه و عملکرد شد (جدول ۳). بیشترین ثبات عملکرد همراه با تأخیر در کاشت در شهرستان کرمانشاه وجود داشت بطوریکه عملکرد در تاریخ کاشت اول اردیبهشت نسبت به اول اسفند به میزان ۵۷ درصد کاهش نشان داد. برتری عملکرد در تاریخ کاشت اول اسفند نسبت به اول اردیبهشت مربوط به شاخص سطح برگ حداکثر نیز می‌باشد که با تأخیر در کاشت از ۲/۳ به ۱/٤ کاهش یافت (جدول ۳).به نظر می‌رسد در تاریخ کاشت اول اسفند به دلیل فراهمی رطوبت، پوشش سبز، دوام سطح برگ و طول دوره رشد گیاه نخود افزایش می‌یابد که مجموع این عوامل منجر به افزایش عملکرد می‌شود. ضمناً در تاریخ‌های کاشت دیر به علت تنش خشکی، پوشش سبز و طول مراحل مختلف گیاه کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد شد (رسام و سلطانی، ۱۳۸٦).

تحقیقات انجام شده (اویس و همکاران، ۲۰۰٤؛ اویس و همکاران، ۲۰۰۵) در سایر نقاط دنیا نشان می‌دهد که کاشت زمستانه نخود، عملکرد دانه بیشتری تولید می‌کند زیرا در این نوع کشت، گیاه به نحو مؤثرتری از نزولات آسمانی استفاده می‌نماید. با توجه به عدم بارندگی مناسب و پراکنش نامناسب آن در بهار در اراضی دیم و همچنین محدودیت منابع آب در اراضی فاریاب، تغییر تاریخ کاشت نخود از بهار به زمستان ضروری به نظر می‌رسد.

بطور کلی نتایج بررسی‌ها در اغلب گیاهان زراعی و از جمله نخود نشان داده است که وقوع تنش خشکی در مراحل بحرانی رشد گیاه می‌تواند خسارات جبران ناپذیری بر عملکرد وارد نماید. بنابراین شناخت مراحل حساس و بحرانی گیاه به تنش خشکی و تأمین رطوبت موردنیاز در مقطع (مقاطع) زمانی فوق می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد و استفاده بهینه از منابع آب و خاک ایفا نماید (امیری ده‌احمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ گنجعلی ونظامی، ۱۳۸۷). وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه خود بر روی نظام زراعی گندم- ذرت در شمال چین اعلام کردند تغییر تاریخ کاشت مهم‌ترین راهکار مدیریتی برای کاهش اثرات منفی دما و افزایش عملکرد می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک نیز به تغییرات تاریخ کاشت واکنش نشان داد. بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در تاریخ‌های کاشت اول اسفند (۳٤٤۸ کیلو گرم در هکتار) و اول اردیبهشت (۲۲۱۷ کیلو گرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت اول اسفند در شهرستان روانسر به میزان ٤۲۷۲ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). در روانسر در تاریخ کاشت اول اسفند احتمال ریزش بارندگی بیشتری وجود داشت (۲۰۵ میلیمتر) و از طرفی طول دوره رشد نیز بیشتر بود (۱۲۵ روز) (جدول ۳). از طرف دیگر در این شهرستان در تاریخ کاشت اول اسفند عملکرد بیشتری نیز تولید شد. کمترین عملکرد بیولوژیک در شهرستان سرپل ذهاب و تاریخ کاشت اول اردیبهشت به میزان ۱۸۷٦ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳– متوسط بلند مدت (۳۰ سال) بارندگی تجمعی، تبخیر و تعرق تجمعی از کاشت تا برداشت، روز تا رسیدگی، دما، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ‌های مختلف کاشت.

منطقه	تاریخ کاشت	روز تا رسیدگی	متوسط دما (°C)	تبخیر و تعرق تجمعی(**میلیمتر**)	بارندگی (**میلیمتر**)	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلو گرم در هکتار)	حداکثر شاخص سطح برگ
سرپل ذهاب	۱ اسفند	۱۱۳	۲۱	۱۸۸	۱٤۰	۱۳۹۲	٤۰۱۲	۲/٦
	۱۵ اسفند	۱۰۵	۲۲	۱۷٤	۱۲۲	۱۲٦۱	۳۹۷۲	۲/٤
	۱ فروردین	۹۸	۲٤	۱٤۱	۸۱	۱۰۳۷	۳۵٤۸	۲
	۱۵ فروردین	۹۰	۲۵	۱۰۹	۵۲	٦٦۰	۲۹۹۷	۱/۵
	۱ اردیبهشت	۸٤	۲۷	۸۰	۲۵	۳٤۰	۱۸۷٦	۰/۸
روانسر	۱ اسفند	۱۲۵	۱٦	۲٦۰	۲۰۵	۱٤۵٤	٤۲۷۲	۲/۹
	۱۵ اسفند	۱۱۵	۱۷	۲۳۰	۱۷٤	۱۲۸٦	۳۷٦۰	۲
	۱ فروردین	۱۰٦	۱۹	۱۸۵	۱۲۹	۹۸۰	۳۲۹۳	۱/۹
	۱۵ فروردین	۹۷	۲۰	۱٤۷	۹۱	۸۰۰	۳۰۲۰	۱/۹
	۱ اردیبهشت	۹۰	۲۲	۱۰۷	۵۱	۵٤۰	۲٤٦۸	۱/۷
کرمانشاه	۱ اسفند	۱۲۲	۱۵	۲۲۱	۱۷۳	۱۲۱۹	۳۱۷٤	۲
	۱۵ اسفند	۱۱۳	۱۸	۱۹۵	۱٤٦	۹۸۰	۲۹٦۱	۲/۱
	۱ فروردین	۱۰۳	۱۹	۱٦۱	۱۰۹	۸۹۰	۲۷۱۷	۲/۱
	۱۵ فروردین	۹۸	۲۰	۱۲۸	۷۵	۷۰۰	۲٤۵۲	۲
	۱ اردیبهشت	۹۰	۲۲	۱۰۱	٤٦	۵۰۰	۲۰۷۲	۱/۸
کنگاور	۱ اسفند	۱۲۰	۱٤	۲۰۷	۱۵۳	۱۱۲۲	۲۸۱۸	۱/۹
	۱۵ اسفند	۱۱۰	۱۵	۱۹۱	۱۳۰	۸٤۸	۱۰۱۲	۱/۸
	۱ فروردین	۱۰۸	۱۷	۱٦۵	۱۰٦	۸۰۰	۲۳٦۲	۱/۸
	۱۵ فروردین	۹۹	۱۸	۱۳۳	۷۵	٦۰۰	۲۲۷۸	۱/۷
	۱ اردیبهشت	۹۰	۲۰	۱۰۱	٤۷	٤۳۰	۲۱۳۳	۱/٤
اسلام آباد غرب	۱ اسفند	۱۲۳	۱٤	۲۲۷	۱۷۰	۱۱۵۸	۲۹٦٤	۱/۷
	۱۵ اسفند	۱۱٦	۱٦	۱۹۸	۱٤۱	۱۰۰۰	٤۲۸	۱/۷
	۱ فروردین	۱۰٦	۱۷	۱۵۳	۹۷	۷٦۰	۲۷٦۱	۱/۸
	۱۵ فروردین	۹۸	۱۹	۱۲۳	٦٦	٦۰۰	۲۱۷۰	۱/۸
	۱ اردیبهشت	۹۱	۲۰	۹۸	۳۸	٤۲۰	۲۵۳۸	۱/۳

در شهرستان سرپل ذهاب در تاریخ کاشت اول اردیبهشت بارندگی کمتری وجود داشت و همچنین طول دوره رشد گیاه نیز کمتر بود (جدول ۳). همچنین کاهش عملکرد بیولوژیک در این شهرستان منجر به کاهش چشمگیر عملکرد به میزان ۳٤۰ کیلو گرم در هکتار شد. تأخیر در کاشت از اول اسفند به اول اردیبهشت منجر به کاهش ۳۵ درصدی عملکرد بیولوژیک شد، زیرا هم از میزان بارندگی‌ها و طول فصل رشد کاسته شد و هم دما در تاریخ کاشت اول اردیبهشت افزایش یافت (جدول ۳). دمای بین ۱٤/۵ تا ۲٤/۵ درجه سانتی‌گراد، شرایط مناسب برای رشد نخود می‌باشد. دماهای گرمتر پیری را تسریع، دوره رشد را کوتاه و نتیجتاً عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (گنجعلی و نظامی، ۱۳۸۷).

به نظر می‌رسد فراهمی رطوبت با افزایش طول دوره رشد رویشی و افزایش عمق موثر کانوپی، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را افزایش می دهد که منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌شود(گلدانی و رضوانی مقدم، ۱۳۸٤). اثر رطوبت بر کاهش عملکرد بیولوژیک را می‌توان به کاهش طول دوره‌ی رشد، بخصوص گرده‌افشانی تا رسیدگی و نیز اثر آن بر کاهش سرعت رشد محصول نسبت داد. همچنین تنش خشکی در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی باعث کاهش میزان ماده خشک می‌شود زیرا تنش باعث ریزش گلها، غلاف‌ها و عدم تشکیل دانه می‌شود (امیری ده‌احمدی و همکاران، ۱۳۸۹ الف و ب). در گیاه نخود فراهمی رطوبت در مرحله گلدهی بسیار حائز اهمیت است چون در این زمان گیاه نخود دارای رشد رویشی فعال است.

ضمن اینکه نخود گیاهی است رشد نامحدود و الگوی تجمع ماده خشک در نخود دارای یک مرحله رشد رویشی سریع بعد از گلدهی و سپس کاهش در مرحله غلاف‌دهی است (گنجعلی و نظامی،۱۳۸۷). نتایج بررسی‌ها (پارسا و همکاران، ۱۳۹۰؛ کریمی و فرنیا، ۱۳۸۸) در گیاه نخود نشان می دهد که در شرایط تنش خشکی کاهش بیوماس گیاهی به منزله‌ی کاهش تعرق گیاه است تا تعادل مناسبی بین تعرق و نگهداری سطح برگ بحرانی برای فتوسنتز وجود داشته باشد و در شرایط تنش کاهش سطح برگ یک روش سازگاری مهم است، چون اولین راهکاری است که گیاه هنگام کمبود آب آنرا اتخاذ می کند. این موضوع در مورد باقلا هم صادق است، در این گیاه هنگامی که تنش خشکی حادث می شود، ارتفاع گیاه و گسترش سطح برگ کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک نیز شد (اویس و همکاران، ۲۰۰۵).

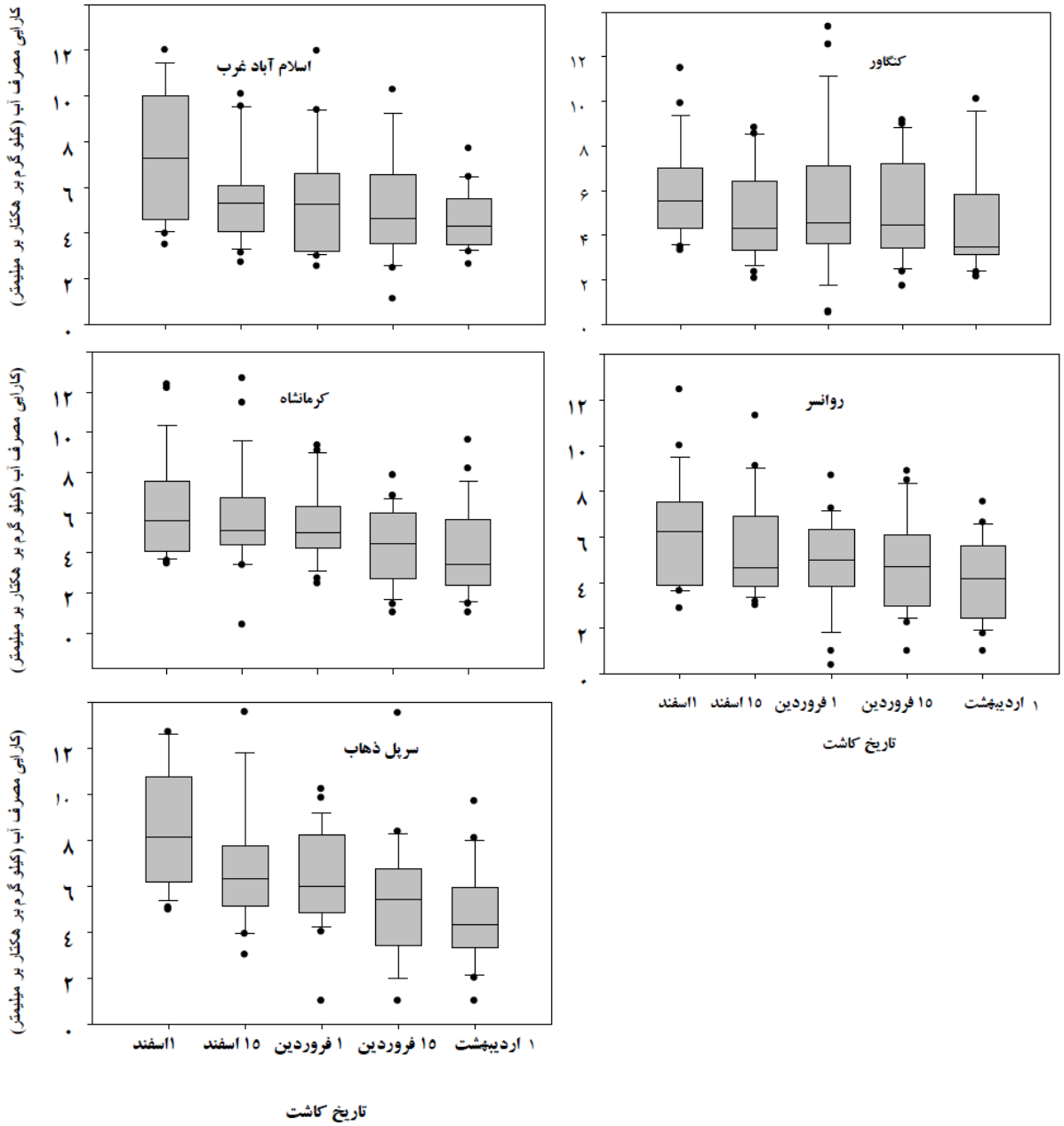
کارایی مصرف آب

تنوع قابل ملاحظه‌ای در کارایی مصرف آب در مناطق و تاریخ کاشت‌های مختلف مشاهده شد (شکل ۲). بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به ترتیب در تاریخ‌های کاشت اول اسفند (٦/٦ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) و اول اردیبهشت (۵/۲ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) بدست آمد (شکل ۲). بیشترین کارایی مصرف آب در شهرستان سرپل ذهاب در تاریخ کاشت اول اسفند به مقدار ۸/٦ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر بدست آمد، زیرا در این شهرستان در تاریخ کاشت اول اسفند متوسط عملکرد ۱۳۹۲ کیلو گرم در هکتار بود (جدول ۳) و همچنین مقدار تبخیر و تعرق تجمعی طی فصل رشد ۱۸۸ میلی‌متر بود (جدول ۳) که منجر به افزایش کارایی مصرف آب شد (شکل۲). کمترین مقدار کارایی مصرف آب نیز در شهرستان اسلام آباد غرب و در تاریخ کاشت اول اردیبهشت به مقدار ٤/٥ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر بدست آمد (شکل ۲). در این شهرستان علی‌رغم اینکه متوسط عملکرد ٤۲۰ کیلو گرم در هکتار بود ولی میزان تبخیر و تعرق تجمعی به میزان ۹۸ میلیمتر بود که منجر به کاهش کارایی مصرف آب نسبت به شهرستان سرپل ذهاب که عملکرد ۳٤۰ کیلو گرم در هکتار در این تاریخ کاشت داشت، منجر شد.

تبخیر و تعرق تجمعی طی فصل رشد در تاریخ های کاشت زود هنگام بیشتر از دیر هنگام بود (جدول ۳)، زیرا دوره رشد گیاه در کشت زود هنگام بیشتر است که منجر به افزایش تبخیر و تعرق می‌شود. طبق اطلاعات مندرج در جدول ۳ در تاریخ کاشت اول اردیبهشت نسبت به اول اسفند مقدار تبخیر و تعرق ٥٦ درصد کاهش یافت. علی‌رغم اینکه در کشت اول اسفند مقدار تبخیر و تعرق تجمعی بیشتر است، اما عملکردهای تولیدی نیز بالا می‌باشد (شکل ۲) که در نهایت منجر به افزایش کارایی مصرف آب شد.

مقایسه کشت زود هنگام و دیر هنگام از نظر رشد گیاه و کارایی مصرف آب نشان داد که کارآیی مصرف آب در کشت اول اسفند نسبت به اول اردیبهشت ، ۲۰ درصد افزایش داشته است. افزایش کارآیی مصرف آب ناشی از توسعهٔ سریع سطح فتوسنتزی در کشت اول اسفند است. زمانی که نخود بهاره کشت می‌شود، نخود زمستانه وارد مرحله رشد سریع شده و شاخص سطح سبز آن به شدت در حال افزایش است (رسام و سلطانی، ۱۳۸٦؛گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۷).

با تغییر تاریخ کاشت از بهار به پاییز، به دلیل افزایش راندمان مصرف آب ، افزایش طول دوره رشد رویشی و زایشی و مواجهه کمتر گیاه با تنش خشکی انتهای فصل در مقایسه با کشت های بهاره، عملکرد در گیاه عدس ٦۹ درصد افزایش یافته است. در منطقه نیشابور خراسان، حداکثر عملکرد دانه نخود در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند حاصل شده است. در مناطق مرتفع ایران و ترکیه و سایر مناطق معتدله سرد، تاریخ کاشت مناسب، تا اوایل بهار است و معمولاً تأخیر در کاشت از ابتدای فروردین به بعد، سبب کاهش عملکرد می‌شود (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۷؛ جومرانی و باتیا، ۲۰۱٤).



شکل ۲– تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر کارایی مصرف آب نخود در مناطق مورد مطالعه. طول هر باکس نشان دهنده تغییرات سالانه در هر تاریخ کاشت است. دایره های سیاه نشان دهنده نقاط خارج از محدوده عملکرد برای هر تاریخ کاشت می باشد

نتیجه‌گیری

در بوم‌نظام‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک دستیابی به تولید بالا و پایدار به علت کمبود بارندگی سالانه دشوار است. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی ابزاری مفید در جهت بهینه‌سازی مدیریت زراعی به شمار می‌روند. در مطالعه حاضر نتایج شبیه‌سازی با مدل SSM-Chickpea در مناطق تحت کشت نخود در استان کرمانشاه نشان داد به تأخیر انداختن کشت بهاره نخود به واسطه کاستن از سطح برگ، کوتاه کردن دوره رشد و برخورد نمودن بخش اعظم دوره رشد زایشی با تنش خشکی انتهای فصل منطقه موجبات کاهش جدی عملکرد را

فراهم می‌کند. در مناطق مورد مطالعه، تاریخ کاشت زود هنگام اول اسفند نسبت به تاریخ کاشت دیر هنگام اول اردیبهشت منجر به کاهش ٦٤ درصدی عملکرد دانه، کاهش ۳۵ درصدی عملکرد بیولوژیک و کاهش ۲۰ درصدی کارایی مصرف آب شد. بنابراین کشاورزان بایستی با انتخاب تاریخ کاشت بهینه عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نخود را افزایش دهند که موضوعی بسیار مهم در مناطق نمیه خشک تحت کشت نخود است.

منابع

امیری ده‌احمدی، س.ر.، م. پارسا.، ا. نظامی. وع. گنجعلی.۱۳۸۹الف. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه . مجله پژوهش‌های حبوبات ۱ (۲): ٦۹

امیری ده‌احمدی، س. ر.، م. پارسا. و ع. ، گنجعلی .۱۳۸۹ب. تاثیر تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۸(۱): ۱۵۷-۱٦٦.

پارسا، م.، ع. گنجعلی.، ا. رضائیان زاده. و ا. نظامی.۱۳۹۰. تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و شاخص‌های رشد سه رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) در منطقه مشهد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۹(۲): ۱-۱٤.

رسام، ق. و ا. سلطانی.۱۳۸٦.بهینه سازی مدیریت تولید نخود در شرایط دیم با استفاده از شبیه سازی رایانه ای. دومین همایش کشاورزی بوم شناختی ایران مهر ۱۳۸٦. گرگان، ایران.

کریمی، ب. و ا. فرنیا. ۱۳۸۸. بررسی صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود دیم با آبیاری تکمیلی. مجله دانش نوین کشاورزی ۱۷(۵): ۹۰-۸۳.

گلدانی، م. و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸٤. اثر سطوح خشکی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام دیم و آبی نخود در مشهد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۲(۲): ۱-۱۲.

گنجعلی، ع. و ا. نظامی.۱۳۸۷. اکوفیزیولوژی و محدودکننده های عملکرد حبوبات در حبوبات، پارسا،م و باقری، ع، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ۵۰۰ صفحه.

گنجعلی، ع.، ع. باقری. و ح. پُرسا. ۱۳۸۸. ارزیابی ژرم پلاسم نخود (*Cicer arietinum* L.) برای مقاومت به خشکی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷(۱): ۱۸۳-۱۹٤.

گنجعلی، ع.، م. پارسا. و س. صباغ‌پور. ۱۳۸۷. زراعت و نظام های زراعی در حبوبات، پارسا،م و باقری، ع، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ۵۰۰ صفحه.

سلطانی، ا. و ب. ترابی. ۱۳۸۸. مدل‌سازی گیاهان زراعی: مطالعات موردی. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

Aggarwal, P. K and N. Kalra. 1994. Simulating the effect of climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and optimal management strategies. *Field Crops Res*. 38:93–103.

Amir, J., and T. R. Sinclair. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res. 29:59-69.*

AmiriDeh Ahmadi, S. R., M. Parsa ., M. Bannayan ., M. Nassiri Mahallati and R. Deihimfard. 2014. Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *Int. J. Plant Prod.* 8(4):531-548.

Anonymous, 2016. Crop Modeling. URL: http://https//sites.google.com/site/CropModeling.

Araya, A., S. Habtu ., K. M. Hadgu., A. Kebede and T. Dejene. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agric. Water Manage.* 97:1838–1846.

Bannayan, M., N. M. J. Crout and G. Hoogenboom. 2003. Application of the CERES-wheat model for within-season prediction of wheat yield in United Kingdom. *Agron. J.* 95:114-125.

Bannayan, M., K. Kobayashi ., H. Marashiand G. Hoogenboom. 2007. Gene-based modeling for rice: An opportunity to enhance the simulation of rice growth and development? *J. Theor. Biol*. 249:593-605.

Byerlee, D.B., G. Triomphe and M. Sebillotte. 1991. Integration agronomic and economic perspective into the diagnostic stage of on farm research. *Exp. Agric*. 27:95-114.

Chenu, K., R. Deihimfard and S. C. Chapman. 2013. Large-scale characterization of drought pattern: A continent-wide modelling approach applied to the Australian wheatbelt – Spatial and temporal trends. *New Phytol*. 198:801–820.

Deihimfard, R., M. NassiriMahallati and A. Koocheki. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Res*. 184:28–38.

FAO.2012. Production Year Book. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, Available online at: http://apps.fao.org.

Jumrani, K and V. S. Bhatia. 2014. Impact of elevated temperatures on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Res*. 164:90–97.

Malhotra, R. S and M. C. Saxena. 2002. Strategies for overcoming drought stress in chickpea. *ICARDA Bulletin*. 17: 20– 23.

Oleary, G. J and D. J. Connor. 1998. A simulation study of wheat crop response to water supply, nitrogen nutrition, stubble retention and tillage. *Aust. J. Agric. Res*. 49,: 11-19.

Oweis, T., A. Hachum and M. Pala. 2004. Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a mediterranean environment. *Agric. Water Manage*. 66:163–179.

Oweis, T., H. Zang and M. Pala. 2000. Water use and water-use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J*. 92:231–238.

Simance, B., H. Vankeulen., H. Stol and P. C. Struik. 1994. Appliccation of a crop growth model (SUCROS-87) to assess the effect of moisture stress on yield potential of durum wheat in Ethiopia. *Agric. Syst*. 44:337-353.

Sinclair, T.R. 1986. water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. model development. *Field Crops Res. 15:125-141*.

Soltani, A., F. R. Khooie., K. Ghassemi-Golezni and M. Moghaddam. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semi-arid environment. *Agric. Water Manage*. 49:225–237.

Soltani, A., M. J. Robertson., B. Torabi., M. Yousefi-Dazand and R. Sarparast. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricult Forest Meterol*. 138: 156–167.

Soltani, A and T. R. Sinclair. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res*. 124:252-260.

Soltani, A and T. R. Sinclair. 2012a. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *Eur. J. Agron*. 38:22-31.

Tanner, C.B and T. R. Sinclair. 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R., (Eds.), Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. pp. 1-27. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.

Tsegay, A., E. Vanuytrecht., B. Abrha., J. Deckers., K. Gebrehiwot and D. Raes. 2015. Sowing and irrigation strategies for improving rainfed tef (*Eragrostis tef* (Zucc.)Trotter) production in the water scarce Tigray region, Ethiopia. *Agric. Water Manage*. 150:81–91.

Van Kraalingen, D. W. G., C. Rappoldt and H. H. Van Laar. 2003. The Fortran simulation translator, a simulation language. *Eur. J. Agron*. 18:359-361.

Wang, J, E, Wang., X. Yang., F. Zhang and H. Yin. 2012. Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the North China Plain by climate change adaptation. *Climatic Change*. 113:825–840.

Yau, S, M. Nimah and M. Farran. 2011. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agric. Water Manage*. 98:1776-1781.

Determining the optimum sowing date of chickpea in Kermanshah province using modeling approach

S.R. Amiri[1]

Received: 2016-5-12 Accepted: 2016-7-24

Abstract

Crop simulation models are useful tools for determination of optimum strategies for crop management and sustainability of the agricultural ecosystems. The aim of this study was to evaluate the effect of different sowing dates on grain yield, biological yield and water use efficiency of chickpea (Bivanij cultivar) under rainfed conditions at five locations in Kermanshah province. For this purpose, the SSM-Chickpea model with historical daily weather data for the period of 1985–2014, were used. The results showed that early sowing date increased leaf area and biological yield and eliminated terminal drought stress. The highest and lowest grain yield was obtained on 20 February and 4 March sowing dates with 1269 and 446 kg ha^{-1}, respectively. The delayed sowing date substantially reduced grain yield by 64%. Furthermore, the highest and lowest biological yield was obtained on 20 February (3448 kg ha^{-1}) and 21April (2217 kg ha^{-1}). On the other hand, the greatest water use efficiency was obtained on 20 February (6.6 kg ha^{-1} mm^{-1}). Therefore, in Kermanshah province with a cold semi-arid and arid climate, the farmers with early sowing (20 February) could improve water use efficiency, biological yield and average productivity of rainfed chickpea because earlier sowing dates resulted in the longer growing season, more concurrency rainfall with growing season. It also concluded that early-sowing crops flowered and matured earlier and escaped later drought.

Keywords: Biological yield, grain yield, drought stress, SSM-chickpea model, water use efficiency

1- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Educational Complex of Saravan, Saravan, Iran