

## ارزیابی عملکرد دانه نخود تحت سناریوهای مدیریتی در مناطق مختلف با استفاده از رهیافت مدلسازی

سیدرضا امیری<sup>۱</sup>، سجاد رحیمی مقدم<sup>۲\*</sup>

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان.

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد.

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** نخود یکی از حبوبات مهم در غرب آسیا و شمال آفریقا است. همچنین این محصول یکی از حبوبات مهم در نظام‌های کشاورزی دیم این مناطق است. اگرچه ایران پنجمین کشور دنیا از نظر سطح زیرکشت خود است اما از نظر متوسط عملکرد در هکتار (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در جایگاه ۴۷ قرار دارد. در مناطق دیم ایران عملکرد نخود به شدت وابسته به مقدار باران و توزیع فصلی آن است. به طوریکه تغییرات سالیانه بارندگی بکارگیری یک مدیریت زراعی واحد که باعث حصول حداکثر عملکرد محصول با روندی قابل پیش‌بینی در طی سال‌ها باشد را دشوار می‌کند. در ایران نخود مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است و بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت حبوبات را به خود اختصاص می‌دهد و عمده کشت آن به صورت دیم است. عملکرد نخود نسبت به سایر گیاهان زراعی بسیار کمتر است.

**روش شناسی پژوهش:** شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل آب محدود با استفاده از مدل SSM-Chickpea انجام شد و عملکرد نخود حاصل از شیوه‌های مدیریت زراعی کشاورزان از جمله تاریخ کاشت، تراکم بوته و نیتروژن در ۱۲ منطقه اصلی کشت نخود مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایشات شامل ۹ آزمایش مزرعه‌ای مستقل بودند. ارزیابی مدل بر اساس مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه انجام شد. در این مطالعه از شاخص‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا (nRMS) استفاده شد.

**یافته‌های پژوهش:** بر اساس نتایج شبیه‌سازی با مدل SSM-Chickpea، متوسط عملکرد پتانسیل آب محدود برای نخود، ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. تاریخ کاشت بهینه برای همه مناطق اواخر آذرماه در کشت انتظاری بود که منجر به افزایش عملکرد دانه حدود ۱۰ درصد در ارومیه و ۶۰ درصد در خرم‌آباد نسبت به تاریخ کاشت بهاره شد. تراکم بهینه به برابر ۲۰ بوته در مترمربع بود که منجر به افزایش عملکرد دانه حدود ۲۷ درصد در اسلام‌آباد غرب شد. در خصوص تغذیه گیاه، استفاده از ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌عنوان کود آغازگر باعث افزایش عملکرد دانه تا ۱۰ درصد در منطقه اقلید و خرم‌آباد شد. در تمامی مناطق مورد مطالعه، نتایج نشان داد که عملکرد نخود رقم زودرس بیونج، ۲۳ درصد بیشتر از رقم ILC482 بود و بطور کلی بخش بزرگی از عملکرد پتانسیل آب محدود نخود ناشی از عوامل مدیریت زراعی و به ویژه تاریخ کاشت بود.

**واژه‌های کلیدی:** تاریخ کاشت، تراکم کاشت، نیتروژن، مدل

\* نگارنده مسئول: [rahimi.s@lu.ac.ir](mailto:rahimi.s@lu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵



عملکرد نخود اغلب نسبت به سایر گیاهان زراعی کمتر و با نوسانات زیادی همراه است (Soltani and Sinclair, 2011). در کشورهای توسعه یافته روند افزایش عملکرد این گیاه به اندازه سایر گیاهان زراعی به ویژه غلات نبوده است. بنابراین افزایش عملکرد این گیاه به ویژه در کشورهای در حال توسعه جایی که بیشترین تولید و مصرف برای تغذیه جمعیت رو به ازدیاد وجود دارد ضرورتی اجتناب ناپذیر است. به رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه در مکانیزاسیون عملکرد و اصلاح ارقام پر محصول، هنوز شرایط اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد این گیاه (مثل سایر گیاهان) می‌باشد. عملکرد این گیاه توسط عوامل متعددی محدود می‌شود که از جمله می‌توان به محدود بودن طول فصل رشد به علت وجود دمای نامناسب پایین و بالا، خشکی و توزیع نامناسب بارندگی یا رقابت برای استفاده از زمین توسط سایر گیاهان اشاره کرد. برای دستیابی به عملکردهای بالا، لازم است طول فصل رشد این گیاه با منابع محیطی موجود تطبیق داشته باشد و سایر صفات گیاهی برای استفاده از منابع محیطی در حد مطلوب باشند. براین اساس می‌توان محدودیت‌های محیطی، ژنتیکی و مدیریتی در عملکرد گیاهان زراعی در هر نقطه‌ای را با کمک مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی تجزیه و تحلیل کرد. از مدل‌های ساده که استفاده و تفسیر نتایج آن‌ها آسان است به صورت موفقیت آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد و محدودیت‌های محیطی، ژنتیکی و مدیریتی استفاده شده است. یک نمونه از چنین مدل‌هایی در ابتدا توسط سینکلر (Sinclair, 1986) برای سویا ساخته شد. سپس این مدل به عنوان چارچوبی استفاده شد و مدل‌هایی برای سایر گیاهان از جمله نخود (Soltani et al., 1999) ساخته شد که از آن‌ها در بررسی پتانسیل عملکرد استفاده شده است. این مدل‌ها جایگزینی برای مدل‌های پیچیده به شمار می‌آیند که دارای تعداد فراوانی فرضیه و عامل می‌باشند و به اطلاعات زیادی درباره گیاه و خاک نیاز دارند. مدل‌های گیاهان زراعی بهترین ابزار برای

نخود محصولی است که در مناطقی که شرایط آب‌وهوایی متفاوت از معتدل تا گرم و از مرطوب تا خشک سازگار است. خصوصیتی همچون توانایی تثبیت ازت، توسعه ریشه عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات عملکرد نظام‌های زراعی در کشاورزی پایدار ایفا نماید. نخود به عنوان سومین محصول در بین حبوبات در جهان و اولین محصول در غرب آسیا و شمال آفریقا مطرح است (Malhotra and Sexana, 2002). این گیاه یک محصول دانه‌ای مهم در نظام‌های کشاورزی دیم این مناطق به شمار می‌رود. در ایران نخود مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است و بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت حبوبات را به خود اختصاص می‌دهد. ایران در مقیاس جهانی پس از هند، پاکستان و ترکیه بیشترین سطح زیر کشت را دارد ولی از لحاظ عملکرد در رتبه ۴۵ قرار گرفته است (FAO, 2022).

در مزارع دیم عملکرد دانه 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. 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 (Simance et al., 1994).

دیم حاصل از تاریخ کاشت، تراکم و نیتروژن واقعی کشاورزان جهت ارزیابی عملکرد نخود ناشی از شیوه-های مدیریت زراعی با استفاده از ارقام مختلف نخود دیم شامل رقم ILC482 به عنوان یک رقم کابلی معرفی شده توسط موسسه ICARDA و رقم محلی بیونچ در ۱۲ منطقه اصلی عملکرد نخود در ایران با استفاده از مدل SSM-Chickpea بود.

### مواد و روش‌ها

**مناطق مورد مطالعه:** این مطالعه در ۱۲ منطقه عملکرد نخود ایران شامل آباد، بجنورد، دلفان، دیواندره، اقلید، اسلام آبادغرب، خرم آباد، مشهد، پیرانشهر، روانسر، سقز و ارومیه انجام شد. این مناطق دارای اقلیم متفاوتی هستند به طوری که در این مناطق میانگین دمای سالانه از ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد (خرم‌آباد در غرب) تا ۸/۱ (دیواندره در غرب) و بارندگی تجمعی سالانه از ۱۳۷ میلی‌متر (آباد در جنوب غربی) تا ۶۸۱ میلی‌متر (پیرانشهر در غرب) متغیر است.

**مدل شبیه‌سازی و داده‌های مورد نیاز:** در این مطالعه از مدل SSM-Chickpea (Soltani and Sinclair, 2011) استفاده شد. مدل مربوطه شامل ۶ زیر مدل می‌باشد که عبارتند از: نمو فنولوژیک، عملکرد و توزیع ماده خشک، رشد و پیرشدن سطح برگ، موازنه نیتروژن در گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک. در این مدل، واکنش فرایندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و قابلیت دسترسی به آب منظور شده است. مدل برای شبیه‌سازی روزانه به اطلاعات آب‌وهوایی، خاکی و مدیریتی نیاز دارد.

چهار ورودی برای اجرای مدل مورد نیاز است، از جمله اقلیم، خاک، گیاه و داده‌های مدیریت زراعی. داده‌های اقلیمی شامل حداکثر و کمینه دما، بارندگی و تابش خورشیدی روزانه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. داده‌های خاک شامل کسر حجمی آب

بررسی تأثیر روش‌های مدیریتی از جمله رقم، تاریخ کاشت بر عملکرد محصول می‌باشند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018; Amiri *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2016). آزمایشات مزرعه‌ای هزینه و زمان بر هستند بنابراین کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی راهکار مناسبی برای ارزیابی مناسب تداخلات ژنوتیپ، محیط و مدیریت می‌باشند. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2016) در استان خراسان رضوی و شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک و کشت نخود در شرایط آبیاری تکمیلی با استفاده از مدل SSM-Legume مشاهده کردند که کاشت نخود با ۲ تا ۳ هفته زودتر (اوایل و میانه بهمن) نسبت به زمان مرسوم کشاورزان، باعث کاهش ۵۲ درصدی ریسک کاهش عملکرد نخود و در نتیجه دست آوردن عملکرد پایدار در محیط‌های خشک و نیمه خشک است. محمد و همکاران (Mohammed *et al.*, 2017) در شمال شرقی اتیوپی نشان دادند که کاشت زود هنگام به همراه ارقام زودرس در مناطقی که دمای بالای هوا یکی از محدودیت‌های عملکرد محصولات کشاورزی است، مهم است. آنها همچنین گزارش دادند که دماهای بالا می‌توانند با تغییر مراحل رشد و توسعه‌ی نخود، به عملکرد آن آسیب بزنند. از سوی دیگر، سلطانی و سینکلر (Soltani and Sinclair, 2012) نتیجه گرفتند که ارقام زودرس از طریق کاهش طول دوره رشد رویشی و افزایش دوره پر شدن دانه، باعث افزایش عملکرد دانه (۱۳-۱۸ درصد) در مناطق زیر کشت نخود در ایران می‌شود. همچنین ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2019) با استفاده از مدل DSSAT-CERES در ارزیابی عملکرد گندم تحت تیمارهای مختلف نیتروژن و تراکم کاشت بیان کردند که کاربرد کود نیتروژن ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به همراه تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع باعث افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود.

با توجه به موارد مطرح شده در بالا، هدف از این مطالعه شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد

خاک، آلبیدو، شماره منحنی خاک و عمق خاک (سانتی متر) از سازمان هواشناسی کشاورزی ایران جمع آوری شد. اکثر خاک‌های دیم دارای عمق ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی متر می باشند (Soltani and Sinclair, 2012). همچنین در مناطق مورد مطالعه عمق موثر استخراج آب نخود ۱۰۰ سانتی متر است (Soltani and Sinclair, 2011)؛ همچنین در عمق خاک بیش از ۱۰۰ سانتی متر، عمق استخراج موثر ۱۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. مقدار نیتروژن مورد نیاز نخود قبل از فعال سازی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، ۲ گرم نیتروژن در متر مربع است. مقدار آب خاک در هنگام کاشت با یک مدل ساده تعادل آب خاک اندازه گیری شد (Soltani and Sinclair, 2012).

(2012) داده های خاک برای مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های گیاهی شامل ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف است که در بخش بعدی توضیح داده شده اند. شیوه های مدیریتی مرسوم کشاورزان در مناطق مورد مطالعه شامل تراکم بوته (۱۵ بوته در متر مربع)، رقم (بیونینج به عنوان رقم زودرس و شاهد)، تاریخ کاشت (۲۴ اسفند)، کود نیتروژن (بدون نیتروژن)، ردیف کاشت (۳۰ سانتی متر)، عمق کاشت (۵ سانتی متر) و خاک ورزی (مرسوم) بود. عملکرد واقعی نخود از ادارات کشاورزی و پرسشنامه های هر منطقه جمع آوری شد.

جدول ۱- جزئیات ارتفاع، خاک، تشعشع تجمعی، بافت خاک و سال های شیه سازی در مناطق مورد مطالعه.

Table 1. Details of altitude, soil, cumulative radiation and rainfall, soil texture and years of simulation in the studied areas.

منطقه	ارتفاع (متر) Altitude(m)	بارندگی تجمعی در طول فصل رشد (میلیمتر) Cumulative rainfall(mm)	تشعشع تجمعی (مگا ژول بر متر مربع) Cumulative radiation(Mj m <sup>-2</sup> )	بافت خاک Soil texture	سال های شیه سازی Years simulation
آباده (Abadeh)	1890	136	3965	رسی شنی Sandy clay	2006-2016
بجنورد (Bojnurd)	1070	240	4353	لوم رسی سیلنی Silty clay loam	1995-2016
دلفان (Delfan)	190	226	3171	لومی رسی Clay loam	1995-2016
دیواندره (Divandareh)	1850	295	4153	لومی سیلنی Silty loam	1997-2016
اقلید (Eqild)	2300	196	3900	رسی سیلنی Silty clay	1995-2016
اسلام آباد غرب (Eslamabad ghab)	1350	138	2954	لوم رسی سیلنی Silty clay loam	1995-2016
خرم آباد (Khoramabad)	1147	286	3602	لومی رسی سیلنی Silty clay loam	1995-2016
مشهد (Mashhad)	985	257	2599	لومی سیلنی Silty loam	1995-2016
پیرانشهر (Piranshahr)	1446	581	2381	لومی رسی سیلنی Silty clay loam	1995-2016
روانسر (Ravansar)	1362	417	3700	لومی سیلنی Silty loam	2007-2016
سقز (Saqqez)	1476	369	3920	لومی رسی Clay loam	1995-2016
ارومیه (Urmia)	1332	214	3904	لومی رسی Clay loam	1995-2016

ارزیابی مدل شبیه سازی: مدل پیش تر توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2020) برای ارقام ارقام بیونینج و ILC482 واسنجی شده است و ضرایب

ژنتیکی این دو رقم در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین، جهت اعتبار سنجی مدل برای شیوه های مدیریت زراعی تاریخ کاشت، تراکم و نیتروژن از

پتانسیل آب محدود در شرایط کود نیتروژن واقعی اعمال شده توسط کشاورزان. همچنین، عملکرد پتانسیل آب محدود به عنوان عملکرد رقمی است که در شرایط بهینه بدون محدودیت مواد مغذی و بدون تنش‌های زیستی رشد می‌کند (تنها آب محدودکننده است). از طرف دیگر، تاریخ کاشت، تراکم بوته و کود نیتروژن برای محاسبه عملکرد پتانسیل دیم بهینه در نظر گرفته می‌شوند. برای به دست آوردن تاریخ کاشت بهینه، تراکم بوته و کود نیتروژن، از مطالعات قبلی استفاده شد (Amiri *et al.*, 2020; Kanouni and Nematifard, 2013; Shaban *et al.*, 2011).

### نتایج و بحث

**ارزیابی مدل:** مدل SSM-Legume عملکرد دانه را بخوبی برای ارقام بیونج و ILC482 شبیه سازی کرد (شکل ۱). مقدار nRMSE برای عملکرد دانه برابر با ۲/۰۸ درصد و میزان  $R^2$  برابر با ۰/۹۵ بود. همچنین نزدیکی خط یک به یک و خط رگرسیون به هم نشان دهنده یک توافق نزدیک بین مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه و مقادیر شبیه سازی شده است (جدول ۱). مقایسه نتایج شبیه سازی با داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از ۹ آزمایش شامل تیمارهای مختلف (آبیاری، تاریخ کاشت، تراکم کاشت و نیتروژن) نشان داد که این مدل عملکرد دانه نخود را به خوبی شبیه‌سازی کرده است و می‌تواند اثرات این تیمارها را روی عملکرد دانه در نظر بگیرد. بنابراین مدل می‌تواند برای ارزیابی شیوه‌های مدیریتی مختلف در بوم نظام های زراعی نخود که دارای ویژگی‌های مشابه با مناطق مورد مطالعه است، استفاده شود. علاوه بر این، دقت مدل SSM-Legumes در چندین مطالعه قبلی در محیط های مختلف برای حبوبات مختلف نشان داده شده است (Vadez *et al.*, 2017; Ghanem *et al.*, 2015 b; Amiri *et al.*, 2020 and 2021).

آزمایشات مزرعه‌ای نیز استفاده شد. بدین منظور از داده های ۹ آزمایش مزرعه‌ای مستقل برای اعتبارسنجی مدل محصول استفاده شد (جدول ۳). ارزیابی مدل بر اساس مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای عملکرد دانه انجام شد. در واقع مدل برای سناریوهای مورد مطالعه یعنی تاریخ کاشت، تراکم و نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت تا مشخص شود که مدل می‌تواند برای شبیه‌سازی این سناریوها مورد استفاده قرار بگیرد یا نباید تحت این سناریوها مورد استفاده قرار گیرد. شاخص‌های مختلفی را می‌توان برای ارزیابی تفاوت بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری میدانی اعمال کرد. در این مطالعه از شاخصهای آماری های از جمله ضرایب تعیین ( $R^2$ )، ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا (nRMSE) استفاده شد (Loague and Green, 1991). nRMSE خطای شبیه سازی مدل را با دادن وزن زیاد به خطاهای زیاد نشان می‌دهد. دقت مدل زمانی که مقدار nRMSE به صفر نزدیک باشد، بیشتر است (Brisson *et al.*, 2002). مقدار  $R^2$  بین ۰ و ۱ است و  $R^2$  نزدیک ۱ نشان دهنده دقت مدل است.

$$nRMSE = \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \right]^{0.5} \times \frac{100}{O} \quad (1)$$

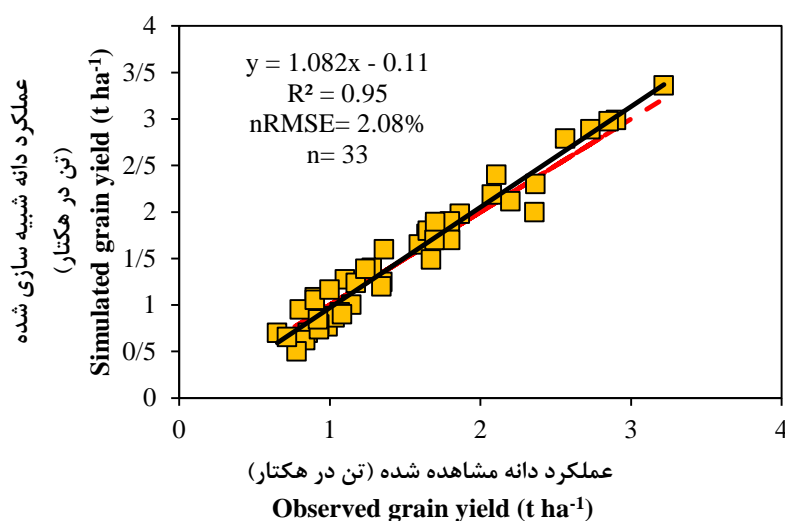
در این معادله  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب به مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده اشاره دارند و  $O$  میانگین مقدار مشاهده شده است.

بر اساس داده‌های آب و هوایی موجود در هر منطقه، شبیه‌سازی‌های بلندمدت انجام گرفت. شبیه‌سازی‌ها در چهار سناریو عملکرد برای دو رقم بیونج و ILC482 (به ترتیب زودرس و متوسط) انجام شد: (۱) عملکرد پتانسیل آب محدود، (۲) عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تاریخ کاشت واقعی کشاورزان، (۳) عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تراکم گیاه واقعی که توسط کشاورزان انجام می‌شود، (۴) عملکرد

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی دو رقم به دست آمده در واسنجی مدل (Amiri et al., 2020).

Table 2. Parameters of three cultivars obtained in model calibration (Amiri et al., 2020).

پارامتر	ILC482	بیونج Beavanij
غلظت نیتروژن دانه Grain nitrogen concentration (mg g <sup>-1</sup> )	0.043	0.043
ضریب حساسیت دوره نوری Photoperiod sensitivity coefficient	0.11	0.1
حداکثر تعداد گره ساقه Maximum stem node number (node d <sup>-1</sup> )	0.52	0.42
حداکثر افزایش نرخ شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن Maximum increase of harvest index rate per day at linear stage of its increase	0.02	0.02
روز بیولوژیکی بین ظهور اولین غلاف و شروع پر شدن دانه Biological day between first pod and initiate seed filling (day)	5	3



شکل ۱- نتایج ارزیابی مدل برای عملکرد دانه شبیه سازی شده در مقابل اندازه گیری شده برای ارقام بیونج و ILC482. خط پیوسته مشکی: رگرسیون؛ خط چین قرمز: ۱-۱ خط؛ nRMSE: ریشه نرمال شده میانگین مربع؛  $R^2$ : ضریب تبیین؛ n: تعداد مشاهدات.

Figure 1. Results of model validation. Simulated versus measured grain yield for Beavanij and ILC482 cultivars. Continuous line: 1-1 line; dashed line: regression line; nRMSE: the normalized root mean square error;  $R^2$ : The coefficient of determination; n: number of observations.

۱/۵ تن در هکتار در بجنورد در شمال شرق متغیر بود (جدول ۴). علاوه بر این، عملکرد پتانسیل آب محدود لاین ILC482 (از مواد بین‌المللی در مرکز ICARDA) نسبت به رقم زودرس بیونج ۲۰ درصد بیشتر بود.

عملکردهایی پتانسیل آب محدود و عملکردهای دیم کشاورزان: در مناطق مورد بررسی، عملکرد پتانسیل نخود آب محدود برابر با ۱/۲ تن در هکتار برآورد شد. اما تنوع قابل توجهی در عملکرد شبیه سازی شده نخود در مناطق مورد مطالعه مشاهده شد. به طور میانگین در تمام سال‌ها و ارقام، عملکرد پتانسیل آب محدود بین ۰/۷۳ تن در هکتار در اسلام‌آباد غرب در غرب کشور تا مقدار

جدول ۳- مجموعه داده های مورد استفاده برای اعتبارسنجی مدل تحت تیمارهای مختلف (تاریخ کاشت، تراکم کاشت، آبیاری و نیتروژن)  
 Table 3. The data set used to validate the model under different treatments (planting date, planting density, irrigation and nitrogen)

منطقه Region	طول و عرض جغرافیایی Latitude and longitude	رقم Cultivar	سال آزمایش Study year	متوسط دمای سالیانه (درجه سانتیگراد) Annual mean temperatu re (°C)	بارندگی تجمعی سالیانه (میلیمتر) Annual cumulative rainfall (mm)	منبع Reference
کرمانشاه Kermanshah	34°21' N 47°09' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2007	13	110	Karimi and Farnia (2009)
کرمانشاه Kermanshah	33° 36' N 45° 24' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2010	14	450	Shaban <i>et al.</i> (2011)
کرمانشاه Kermanshah	34° 21' N 48° 09' E	ILC482	2007	13	450	Vaghar <i>et al.</i> (2009)
کرمانشاه Kermanshah	34° 08' N 46° 26' E	ILC482	2002	14	511	Jalilian <i>et al.</i> (2005)
اسلام آباد غرب Eslamabad-e- Gharb	38° 15' N 48° 17' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2016	17	498	Khojamli <i>et al.</i> (2019)
گنبد Gonbad	34° 19' N 47° 06' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2017	14	455	Hajishaba ni <i>et al.</i> (2021)
مغان Moghan	36° 18' N 49° 46' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2020	13	300	Darvishi <i>et al.</i> (2022)
خرم آباد Khoramabad	33° 25' N 48° 19' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2018	17	256	Danaye- Tous <i>et al.</i> (2022)
کرمانشاه Kermanshah	34° 21' N 47° 09' E	بیونج (Beavanij) و ILC482	2015	15	247	Fallahi <i>et al.</i> (2021)

تن در هکتار در دلفان تا ۱/۴ تن در هکتار در ارومیه متغیر بود. از طرف دیگر، عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تراکم کاشت مرسوم کشاورزان، به میزان ۱/۱۱ تن در هکتار بود. همچنین نوسان عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تراکم کاشت مرسوم کشاورزان بین ۰/۶ تن در هکتار در اسلام آباد غرب تا ۱/۵ تن در هکتار در بجنورد متغیر بود. همچنین، عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط نیتروژن مرسوم کشاورزان ۱/۱۰ تن در هکتار بود (جدول ۵).

در کلیه مناطق زیر کشت نخود عملکرد ILC482 نسبت به بیونج برتری داشت. همچنین عملکرد پتانسیل آب محدود رقم ILC482 در مقایسه با رقم بیونج در شیوه های مدیریتی مرسوم کشاورزان شامل تاریخ کاشت، تراکم و نیتروژن، حدود ۲۰، ۱۹ و ۱۸ درصد بیشتر بود (جدول ۴). عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تاریخ کاشت مرسوم کشاورزان برای هر دو رقم، کلیه مناطق ۰/۹ تن در هکتار بود. نوسان عملکرد برای دو رقم مورد مطالعه، بین ۰/۵

جدول ۴- سطوح مختلف عملکرد نخود دیم در مناطق مورد مطالعه.

Table 4. Different levels of rainfed chickpea production in the study areas.

منطقه Region	عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط نیتروژن واقعی کشاورزان (تن در هکتار) Rainfed potential production with actual nitrogen fertilizer applied by farmers (t ha <sup>-1</sup> )	عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تراکم کاشت واقعی کشاورزان (تن در هکتار) Rainfed potential production with actual plant density practiced by farmers (t ha <sup>-1</sup> )	عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط تاریخ کاشت واقعی کشاورزان (تن در هکتار) Rainfed potential production with actual sowing date practiced by farmers (t ha <sup>-1</sup> )	عملکرد پتانسیل آب محدود (تن در هکتار) Rainfed potential production (t ha <sup>-1</sup> )				
	ILC482	بیونج Beavanij	ILC482	بیونج Beavanij	ILC482	بیونج Beavanij	ILC482	بیونج Beavanij
آباد (Abadeh)	1.01	0.90	1.10	0.79	0.86	0.70	1.05	0.91
بجنورد (Bojnurd)	1.59	1.43	1.57	1.45	1.37	1.21	1.66	1.49
دلفان (Delfan)	0.97	0.62	0.96	0.55	0.56	0.44	0.99	0.64
دیواندره (Divandareh)	1.15	1.02	1.12	1.05	1.11	1.10	1.16	1.05
اقلید (Eqild)	1.04	0.92	1.09	0.91	0.89	0.80	1.17	1.02
اسلام آباد غرب (Eslamabad-e- Ghab)	0.82	0.57	0.85	0.43	0.71	0.43	0.90	0.58
خرم آباد (Khoramabad)	1.21	0.96	1.28	1.04	0.79	0.48	1.35	1.05
مشهد (Mashhad)	1.55	1.39	1.55	1.42	1.30	1.13	1.66	1.49
پیرانشهر (Piranshahr)	1.30	1.13	1.34	1.19	0.95	0.84	1.41	1.21
روانسر (Ravansar)	1.22	1.03	1.27	1.10	0.97	0.78	1.36	1.11
سقز (Saqqez)	1.10	0.88	1.02	0.93	0.96	0.83	1.09	0.94
ارومیه (Urmia)	1.45	1.29	1.45	1.34	1.46	1.32	1.52	1.35

نسبت به شهرستان اسلام آباد غرب (۱۳۸ میلی متر و ۲۰۵۴ مگاژول در مترمربع) بارندگی و تشعشع تجمعی بیشتری دریافت کرد (جدول ۱). تاثیر تغییرات در پارامترهای اقلیمی در زمینه پتانسیل عملکرد آب محدود در کشورهای دیگر هم قابل مشاهده است. به عنوان مثال در کشور هندوستان به عنوان قطب تولید نخود در دنیا گزارش شده است که تولید نخود در این کشور تا حدود ۶۴ درصد به وسیله تغییرات بارندگی در طول فصل رشد این گیاه محدود می شود و تغییرات زیادی در استرس خشکی بر روی عملکرد این گیاه تاثیر گذار هستند (Hajjarpoor *et al.*, 2018).

عملکرد پتانسیل آب محدود رقم ILC482 در همه مناطق بالاتر از رقم بیونج (به عنوان رقم زودرس) بود. رقم زودرس انتظار می رود از طریق فرار از گرما و تنش های خشکی پایان فصل، عملکرد دانه بالاتری داشته باشد (Kumar *et al.*, 2021). اما، شروع زود هنگام پر کردن دانه ILC482 می تواند به افزایش

همچنین بیشترین و کمترین میزان عملکرد پتانسیل آب محدود در شرایط نیتروژن مرسوم کشاورزان در بجنورد و اسلام آباد غرب به ترتیب با ۱/۵ و ۰/۶ تن در هکتار مشاهده شد. متوسط عملکرد پتانسیل آب محدود ۱/۲ تن در هکتار بود که نشان می دهد میانگین عملکرد پتانسیل آب محدود نسبتاً نزدیک به میانگین عملکرد جهانی نخود است.

این نتیجه نشان می دهد که مناطق مورد مطالعه پتانسیل خوبی برای عملکرد محصول نخود برای برآورده کردن نیازهای روزافزون جمعیت را دارند با این حال، باید توجه داشت که تنوع قابل توجه در عملکرد پتانسیل آب محدود در میان مناطق مورد مطالعه تا حد زیادی به دلیل تغییرات اقلیمی (مانند دما، بارندگی و تابش) بود. به عنوان مثال بیشترین و کمترین عملکرد پتانسیل دیم به ترتیب در بجنورد در شمال شرق و اسلام آباد غرب مشاهده شد (جدول ۴). همچنین، گیاه نخود در طول فصل رشد (۲۴۰ میلی متر و ۴۳۵۳ مگاژول در مترمربع) در بجنورد



افزایش عملکرد در اقلید در جنوب و خرم‌آباد شد. اگرچه در دسترس بودن نیتروژن برای رشد و نمو نخود بسیار مهم است، نیتروژن در مقایسه با تاریخ کاشت و تراکم بوته به‌عنوان یک عامل محدودکننده برای عملکرد بهینه دانه در نظر گرفته نمی‌شود. در واقع، بر اساس تثبیت بیولوژیکی نیتروژن همیشه برای به حداکثر رساندن رشد و عملکرد نخود کافی است. با این حال، کود آغازگر نیتروژن به شروع تشکیل گره کمک می‌کند و همچنین به‌عنوان منبع نیتروژن عمل می‌کند تا زمانی که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در مراحل اولیه شروع شود (Divya *et al.*, 2019). گالپوتاج و همکاران (Galpottage *et al.* 2020) در ارزیابی اثر مقادیر کودهای مختلف آغازگر نیتروژن (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) نشان داد که نخود کمترین واکنش را به کاربرد کود آغازگر نشان می‌دهد، همچنین مقادیر پایین نیتروژن گره‌زایی و مقدار نیتروژن تثبیت شده را افزایش می‌دهد، اما انتظار می‌رود مقادیر بالا به شدت گره‌زایی را کاهش داده و تثبیت نیتروژن را مهار کند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بخش بزرگی از عملکرد پتانسیل آب محدود نخود ناشی از عوامل مدیریت زراعی، به ویژه تاریخ کاشت می‌باشد. در واقع عملکرد پتانسیل آب محدود حاصل از تاریخ کاشت کشاورزان ۷۵ درصد کمتر از عملکرد پتانسیل آب محدود بود که اجازه دستیابی به عملکرد ۱/۲ تن در هکتار را نمی‌دهد. در تمامی مناطق مورد مطالعه، نتایج نشان داد که عملکرد نخود رقم زودرس بیونج ۲۳ درصد بیشتر از رقم ILC482 بود. بر اساس نتایج این شبیه‌سازی به طور کلی، افزایش عملکرد نخود به بهبود شیوه‌های مدیریت زراعی بستگی دارد. با اینکه در دهه‌های گذشته، تأکید زیادی بر ژنتیک و اصلاح گیاه برای افزایش عملکرد محصول شده است، جستجوی بهترین شیوه‌های زراعی برای کاهش خلا عملکرد تا حد زیادی نادیده گرفته شده است.

مدت‌زمان پر شدن دانه کمک کند (جدول ۲) که در نهایت به عملکرد دانه بیشتر منتهی می‌شود. افزایش طول دوره پر شدن دانه ویژگی کلیدی برای بهبود عملکرد دانه با افزایش تشعشع جذب شده، عملکرد مواد فتوسنتزی برای پر کردن مستقیم دانه، و انتقال مجدد کربوهیدرات‌های از بافت‌های رویشی به دانه‌ها است (Gaur *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2021). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تاریخ کاشت بهینه برای همه مناطق اواخر آذرماه به‌عنوان مدیریت کشت انتظاری می‌باشد که منجر به افزایش عملکرد دانه حدود ۱۰ درصد در ارومیه و ۶۰ درصد در خرم‌آباد نسبت به تاریخ کاشت معمولی شد. در واقع، اواخر آذر به‌عنوان کاشت انتظاری، طول فصل رشد را ۳۹ درصد در مقایسه با تاریخ کاشت معمولی افزایش داد (داده‌ها نشان داده نشده است).

نتایج نشان داد که تراکم بهینه بوته ۲۰ بوته در مترمربع در مقایسه با تراکم مرسوم کشاورزان (۱۵ بوته در مترمربع) منجر به افزایش عملکرد دانه به میزان ۱ درصد در شهرستان‌های دیواندره، پیرانشهر، روانسر، سفز و ارومیه در غرب و شمال غرب و ۲۷ درصد در اسلام‌آباد غرب در غرب کشور شد. تراکم بهینه گیاه باعث افزایش عادت رشد عمودی‌تر می‌شود و در نتیجه نرخ بسته‌شدن تاج‌پوشش، شاخص سطح برگ، عملکرد و کارایی استفاده از آب، نور خورشید و هوا را افزایش می‌دهد (Timlin *et al.*, 2014). همچنین تراکم مناسب در کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد موثر است و در برداشت مکانیزه نیز تعیین تراکم مناسب حائز اهمیت است. فتاح و همکاران (Fattah *et al.*, 2020) نشان داد که عملکرد نخود با کاهش تراکم از ۳۰ به ۱۵ بوته در متر مربع در جنوب غربی سلیمانیه عراق افزایش یافت. معمولاً کشاورزان در زمان کاشت و در طول فصل رشد نخود از کود نیتروژن استفاده نمی‌کنند. اما نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌عنوان کود آغازین باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۰ درصد

- Amiri SR, Eyni-Nargeseh H, Rahimi-moghaddam S, Azizi K. 2021. Water use efficiency of chickpea agro-ecosystems will be boosted by positive effects of CO<sub>2</sub> and using suitable genotype × environment × management under climate change conditions. *Agricultural Water Management* 252: 106928
- Amiri SR, Deihimfard R, Eyni-Nargeseh H. 2020. Toward dormant seeding of rainfed chickpea as an adaptation strategy to sustain productivity in response to changing climate. *Field Crops Research* 24: 107674
- Amiri SR, Deihimfard R, Soltani A. 2016. A Single Supplementary Irrigation Can Boost Chickpea Grain Yield and Water Use Efficiency in Arid and Semiarid Conditions: A Modeling Study. *Agronomy Journal* 108: 2406-2416
- Brisson N, Ruget F, Gate P, Lorgeou J, Nicoullaud B, Tayot X, Plenet D, Jeuffroy MH, Bouthier A, Ripoche D, Mary B, Justes E. 2002. STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize. *Agronomi* 22: 69–92
- Danaye-Tous T, Kordi S, Dastborhan S, Mokhtari I, Pezeshkpour P. 2022. Effect of Nitrogen Fertilizer Source and Weed Interference on Yield and Yield Components of Dryland Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 32(2): 231-251 (In Persian)
- Darvishi B, Eshghi M, Bahrami S, Nasiri H, Azad R, Khandan A, Bakhtar R, Norouzi A. 2022. Determining Cultivation (Agronomic) Value of Imported Chickpea Cultivars Compared to Iranian Cultivars. *Journal of Crop Improvement* 24(2): 337-352 (In Persian)
- Divya J, Ramesh C, Deep Chandra S, Saurabha K, Reeta G. 2019. Impacts of bioinoculants pseudomonas jesenii MP1 and rhodococcus qingshengii S10107 on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield and soil nitrogen status. *Pedospher* 29(3): 388–399
- Fallah S, Ehsanzadeh P, Daneshvar M. 2005. Grain yield and yield components in three chickpea genotypes under dryland conditions with and without supplementary irrigation at different plant densities in Khorramabad, Lorestan. *Iranian Journal of Agricultural Science* 36 (3): 719-731 (In Persian)
- FAO. 2022. Production Year Book, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy , <http://apps.fao.org>
- Fattah MA, Hama SJ, Ahmad RA. 2020. Water productivity and yield of chickpea in response to supplementary irrigation, plant density, and sulfur fertilizing. *Journal of Crop Science Biotechnology* 23: 385–393
- Galpottage D, Wasanthika H, Schoenau JJ, King T. 2020. Effect of starter fertilizer in seed-row on emergence, biomass and nutrient uptake by six pulse crops grown under controlled environment conditions. *Journal of Plant Nutrition* 43(6): 1–17.
- Gaur PM, Samineni S, Thudi M, Tripathi S, Sajja SB, Jayalakshmi V, Mannur DM, Vijayakumar AG, Ganga R, Nadigatla VPR, Ojiewo C, Fikre A, Kimurto P, Kileo RO, Girma N, Chaturvedi SK, Varshney RK, Dixit GP, Link W. 2018. Integrated breeding approaches for improving drought and heat adaptation in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Breeding* 138(4): 389-400
- Ghanem ME, Marrou H, Biradar C, Sinclair TR. 2015. Production potential of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in East Africa. *Agricultural Systems* 137: 24–38
- Hajishabani H, Mondani F, Bagheri AR. 2021. Evaluation of morphological and physiological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Kermanshah region climate condition. *Iranian Journal of Pulses Research* 12(1): 12-25 (In Persian)
- Hajjarpoor A, Vadez V, Soltani A, Gaur P, Whitbread A, Babu DS, Gumma MK, Diancumba M, Kholová J. 2018. Characterization of the main chickpea cropping systems in India using a yield gap analysis approach. *Field Crops Research* 223: 93–104
- Kanouni H, Nematifard M. 2013. Effect of sowing time and seeding rate on seed yield and some agronomic traits of two kabuli chickpea genotypes in autumn sowing in rainfed conditions in Kurdistan province of Iran. *Seed and Plant Journal* 29(2): 185-200 (In Persian)

- Karimi B, Farnia A. 2009. Evaluation agronomic traits, yield and yield components of rainfed chickpea cultivars with supplementary irrigation. *New Agricultural Science Journal* 17: 83-90 (In Persian)
- Khojamli A, Nakhzari Moghaddam A, Mollashahi M, Ahangar L. 2019. Investigation of some quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Adel cv. under the influence of nitrogen and supplemental irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research* 10(2): 193-203 (In Persian)
- Kumar T, Hamwieh A, Swain N, Sarker A. 2021. Identification and morphological characterization of promising kabuli chickpea genotypes for short-season environment in central India. *Journal of Genetics* 100 (2): 1-8
- Loague K, Green RE. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* 7 (1-2): 51-73
- Malhotra RS, Sexana MC. 2002 . Strategies for overcoming drought stress in chickpea. *Icarda No 17:20 – 23*
- Mohammed A, Tana T, Singh P, Molla A, Seid A. 2017. Identifying best crop management practices for chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Northeastern Ethiopia under climate change condition. *Agricultural Water Management* 194: 68-77
- Rahimi-Moghaddam S, Kambouzia J, Deihimfard R. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology* 253: 1-14
- Shaban M, Mansoori Far S, Ghobadi M, AshrafiParchin R. 2011. Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Journal* 17:451-470 (In Persian)
- Simance B, Vankeulen H, Stol H, Struik PC. 1994. Application of a crop growth model (SUCROS-87) to assess the effect of moisture stress on yield potential of durum wheat in Ethiopia. *Agricultural Systems* 44: 337-353
- Sinclair TR. 1986. water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. model development. *Field Crops Research* 15:125-141
- Soltani A, Ghassemi-Golezani K, Rahimzadeh-Khooie, Moghaddam M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 62: 213- 224
- Soltani A, Sinclair TR. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research* 124: 252-260
- Soltani A, Sinclair TR. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, Wallingford, UK, 336p
- Timlin D, Fleisher D H, Kemanian A, Reddy V. 2014. Plant density and leaf area index effects on the distribution of light transmittance to the soil surface in maize. *Agronomy Journal* 106:1828-1837
- Vadez V, Halilou O, Hissene HM, Traore PS, Sinclair TR, Soltani A. 2017. Mapping water stress incidence and optimal plant populations and cultivar duration for African groundnut productivity enhancement. *Front. Plant Science* 8:432
- Vaghar MS, Mohamadi M, Shams K, Pazaki A, Kebraie S. 2009. Effect of Sowing Time on Yield and Yield Components of Dryfarming Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Kermanshah Region. *Journal of Agronomy and plant Breeding* 5(1): 1-18 (In Persian)
- Zhang D, Wang H, Li D, Li H, Ju H, Li R, Batchelor WD, Li Y. 2019. DSSAT-CERES-Wheat model to optimize plant density and nitrogen best management practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 114: 19-32



## Assessing chickpea grain yield under management scenarios in different regions using modeling approach

Seyedreza Amiri<sup>1</sup>, Sajjad Rahimi-Moghaddam<sup>2\*</sup>

1- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran.

2- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

### EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Chickpea is one of the important legumes in West Asia and North Africa. It is also one of the important legumes in rainfed agricultural systems in these regions. Although Iran has the fifth rank in terms of under chickpea cultivation, it ranks 47th in terms of average grain yield per hectare (400 kg/ha). In dry areas of Iran, chickpea yield is highly dependent on the amount of rainfall and its seasonal distribution. Therefore, annual changes in rainfall make it difficult to employ a unitary agricultural management that leads to maximum crop yield with a predictable trend over the years. Chickpea is the most important legume crop in Iran, accounting for over 50% of cultivated legume lands, and is primarily planted under rainfed conditions. Chickpea production is significantly lower than other crops.

**Methodology:** Simulation of the potential yield of rainfed chickpea was carried out using the SSM-Chickpea model and rainfed chickpea yield resulting from farmers' crop management practices, including planting date, plant density, and nitrogen in 12 main chickpea growing regions were evaluated. These experiments consisted of 9 independent field experiments. In the current research, the model was evaluated based on the comparison of measured and simulated values for grain yield. Statistical indices including determination coefficients ( $R^2$ ) and normalized root mean square error (nRMS) were used.

**Research findings:** The simulation with model SSM-Chickpea showed that the average potential rainfed chickpea yield was 1200 kg/ha. The simulation results also indicated that the optimal planting date for all regions was mid-December, as dormant seeding management, led to an increase in grain yield of about 10% in Urmia and 60% in Khorramabad compared with the spring sowing date. Optimal plant density was 20 plants/m<sup>2</sup> resulted in a 27% increase in grain yield in Islamabad-e Gharb. Regarding the plant nutrition, the results showed that using 20 kg/ha as a starter fertilizer led to up to a 10% increase in grain yield in the Eqlid and Khorramabad. In all studied regions cv. Bivanij had 23% greater grain yield comparing ILC 482 and a large part of chickpea grain yield potential depended on agricultural management practices in general and planting date, specifically.

**Keywords:** Planting date, planting density, nitrogen, model.

\* Corresponding author: [rahimi.s@lu.ac.ir](mailto:rahimi.s@lu.ac.ir)

