

## آنالیز خلاء عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک: مطالعه

### شبیه‌سازی

سیدرضا امیری ده‌احمدی<sup>۱\*</sup>، مهدی پارسا<sup>۲</sup>، محمد بنایان اول<sup>۲</sup> و مهدی نصیری محلاتی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

### چکیده

آنالیز خلاء عملکرد راهکار مفیدی برای اولویت‌بندی تحقیقات و سیاست‌های تولید در کشاورزی را فراهم می‌آورد. به منظور یافتن راهکارهایی جهت افزایش عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) مدل SSM-chickpea جهت آنالیز عملکردهای پتانسیل آبی و دیم در نه منطقه (واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی تا ۳۳ درجه جنوبی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه غربی و ۵۶ درجه شرقی) تحت کشت نخود در استان خراسان رضوی واسنجی و تعیین اعتبار شد. متوسط عملکرد پتانسیل آبی نخود در مناطق مورد بررسی ۲۲۵۱ کیلوگرم در هکتار بود؛ در حالی که متوسط عملکرد پتانسیل دیم ۱۰۲۶ کیلوگرم در هکتار بود که کاهش ۵۴ درصدی در نتیجه وضعیت نامناسب رطوبتی خاک را نشان می‌داد. همچنین متوسط عملکردهای واقعی دیم و آبی به ترتیب ۶۴ و ۷۹ درصد کمتر از عملکردهای پتانسیل آبی و دیم بود. بیشترین و کمترین خلاء عملکرد در شرایط اختلاف عملکرد پتانسیل و واقعی به ترتیب در شهرستان‌های تربت جام و قوچان مشاهده شد. به طور کلی خلاء عملکرد از شمال (نیشابور، مشهد و قوچان) به سمت جنوب (تربت جام و گناباد) استان روند افزایشی داشت. همچنین، مقادیر خلاء عملکرد بین عملکرد پتانسیل دیم شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی دیم بسیار پایین بودند، زیرا هم عملکرد پتانسیل دیم شبیه‌سازی شده و هم عملکرد واقعی دیم در این مناطق پایین بود.

**واژه‌های کلیدی:** اعتبار سنجی، دیم، رطوبت خاک، عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی

### مقدمه

اراقم پرمحصول، هنوز شرایط اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد نخود می‌باشد (Gholipour, 2007). 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. بر این اساس، می‌توان محدودیت‌های محیطی، ژنتیکی و مدیریتی در تولید 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 موفقیت‌آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد و محدودیت‌های محیطی، ژنتیکی و مدیریتی استفاده شده است (Soltani et al., 1999). یک نمونه از چنین مدل‌هایی در ابتدا توسط سینکلر (Sinclair, 1986) برای سویا

نخود (*Cicer arietinum* L.) 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 (Silim et al., 1993). اگرچه ایران بعد از هندوستان بیشترین سطح زیر کشت نخود در مقیاس جهانی را دارد، اما از نظر عملکرد جهانی (۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در میان ۴۵ کشور تولید کننده نخود در جایگاه آخر قرار دارد (FAO, 2006). علاوه بر این، استان خراسان رضوی رتبه اول، بیشترین سطح زیر کشت و همچنین رتبه دوم از نظر تولید در کشور را داراست (Anonymous, 2012).

به‌رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه در مکانیزاسیون تولید و اصلاح

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، مدرس و سرانجام، دانشکده کشاورزی، گروه تولیدات گیاهی، دانشیار و استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

(Email: seyedrezaamiri@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

جغرافیایی ۱۶' ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۳۸' ۵۹° شرقی) در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا در آمد. ژنوتیپ مورد استفاده ILC 482 بود. برای دستیابی به عملکرد پتانسیل، آبیاری و کوددهی به میزان بهینه انجام شد تا از بروز تنش در گیاه جلوگیری شود. مقدار کود نیتروژن مورد نیاز (به صورت اوره)، بر اساس آزمایش تجزیه شیمیایی خاک قبل از کاشت مشخص شد. تاریخ کاشت ۲۵ اسفندماه و تراکم بوته ۳۳ گیاه در مترمربع بود. پس از کاشت به منظور تسهیل در سبز شدن یکنواخت بذرها کلیه تیمارها به طور سطحی آبیاری شدند. آبیاری هر ده روز یک بار انجام شد. عملیات کنترل حشرات، بیماری‌های احتمالی و علف‌های هرز به گونه‌ای انجام گرفت که هیچ‌گونه آثاری از آفت‌زدگی، بیماری و خسارت در نخود مشاهده نگردد. همچنین سایر عناصر مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک تأمین شدند.

اندازه‌گیری‌های گیاهی شامل یادداشت‌برداری‌های وقوع مراحل اصلی فنولوژیک (رویشی، گلدهی، غلاف‌دهی و دانه بستن)، اندازه‌گیری سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی بودند. بدین منظور، نمونه‌برداری‌های تخریبی از دو هفته پس از کاشت آغاز و تا انتهای فصل رشد به فاصله هر دو هفته یک بار ادامه یافت. در هر مرحله نمونه‌برداری، پس از حذف یک ردیف از هر طرف و نیم متر از هر یک از دو انتهای هر واحد آزمایشی به عنوان اثرات حاشیه، تعداد پنج بوته از سطح هر کرت برداشت شده و صفات مورد اشاره در بالا (به غیر از صفات فنولوژیک) بر روی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری عملکرد نهایی و اجزای عملکرد، گیاهان موجود در کل کرت آزمایشی که بدین منظور اختصاص یافته، با رعایت حاشیه برداشت گردید. علاوه بر این، از داده‌های آزمایشات مزرعه‌ای به دست آمده که در آن‌ها شرایط عملکرد پتانسیل (آبیاری کامل و مبارزه با علف‌های هرز) رعایت شده بود در مناطق مختلف ایران برای اعتبار سنجی عملکرد پتانسیل آبی و دیم (که تنها آبیاری محدود بود) استفاده شد (جدول ۱).

#### مدل

در این مطالعه از مدل SSM-Chickpea استفاده شد. 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 شبیه‌سازی می‌کند.

(*Glycine max* (L.) Merr.) ساخته شد. سپس این مدل به عنوان چارچوبی استفاده شد و مدل‌هایی برای سایر گیاهان زراعی مانند گندم (*Triticum aestivum* L.) (Amir & Sinclair., 1991)، جو (*Hordium vulgare* L.) (Wahabi & Sinclair, 2005)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Hammer et al., 1995) و نخود (Soltani et al., 1999) ساخته شد که از آن‌ها در بررسی پتانسیل تولید استفاده شده است.

منظور از عملکرد پتانسیل، عملکرد یک محصول تحت شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی و تنش‌های زیستی می‌باشد. در این شرایط عوامل محدودکننده دما، نور، دی‌اکسیدکربن و خصوصیات ژنتیکی گیاه می‌باشند (Evans, 1993; Van Ittersum & Rabbinge, 1997). خلاء عملکرد تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی می‌باشد. قبل از هر گونه بهبود عملیات مدیریتی لازم است عملکرد پتانسیل و تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی تعیین شود و سرانجام عوامل ایجاد خلاء عملکرد بررسی شوند (Lobell et al., 2009). مفهوم خلاء عملکرد در مطالعات متعددی اخیراً (Bhatia et al., 2008; Lobell et al., 2009; Neumann et al., 2010; Liu et al., 2011) به عنوان یک شاخص مهم برای افزایش عملکرد در مناطق مختلف استفاده شده است.

دلایل پایین بودن عملکرد نخود در سطح استان خراسان رضوی مطالعه نشده است و عمدتاً مطالعات به صورت ایستگاهی بوده است. نتایج این مطالعه ظرفیت تولید بالقوه نخود در استان خراسان رضوی را از نظر تولید این محصول مشخص خواهد ساخت و با مقایسه عملکرد بالقوه با عملکرد واقعی، خلاء عملکرد تعیین می‌شود. نتایج به دست آمده برنامه‌ریزان را قادر خواهد ساخت تا با اطلاع از ظرفیت‌های تولید، سیاست‌گذاری خود را بسته به شرایط هر منطقه در جهت مدیریت خلاءهای تولید هماهنگ کرده و تا حد امکان به تولید بالقوه نزدیک شوند. از سوی دیگر، به دست آوردن الگویی برای آنالیز خلاء عملکرد در استان خراسان رضوی در آینده برای سایر استان‌ها نیز قابل تعمیم بوده و در نتیجه امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر تولید بر اساس تغییرات مکانی و زمانی عملکرد، فراهم خواهد گردید.

#### مواد و روش‌ها

##### جزئیات آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها

برای واسنجی مدل SSM-chickpea، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (عرض

جدول ۱- داده‌های آزمایشات مختلف برای تعیین اعتبار مدل

Table 1- Data sets for independent model testing

منطقه Region	سال Year	عرض جغرافیایی Latitude	تیمارها Treatments	منبع Reference
مشهد Mashhad	2003	36.15° N	ژنوتیپ، تاریخ کاشت، آبیاری Genotype, planting date, irrigation	Goldani & Rezvani (2005)*
	2005-2006	36.15° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Gangeali et al. (2009)
	2006	36.15° N	ژنوتیپ Genotype	Zaferanieh et al. (2009)
	2006	36.15° N	ژنوتیپ Genotype	Nezami et al. (2009)
	2007	36.15° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Parsa et al. (2009)*
نیشابور Nishabur	2001-2002	36.16° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Rezvani Moghaddam & Sadeghi Samarjan (2008)*
	2005-2006	36.16° N	ژنوتیپ Genotype	Gangeali et al. (2011)
کرمانشاه Kermanshah	2001-2002	34.43° N	ژنوتیپ، تاریخ کاشت Irrigation, plant density	Jalilian et al. (2005)*
	2006-2007	34.43° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Karimi & Farneya (2009)*
	2006-2007	34.43° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Farshadfar & Javadi neya (2011)*
	2009	34.43° N	آبیاری Irrigation	Shaban et al. (2011)*
همدان Hamedan	2005-2006	34.52° N	تاریخ کاشت Planting date	Majnoun Hosseini & Hamzeii (2011)*
	2006	34.52° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, irrigation	Saman et al. (2010)
اردبیل Ardabil	2006	38.15° N	آبیاری، تراکم گیاهی Irrigation, plant density	Raey et al. (2007)

ارومیه <b>Oroomeih</b>	2008	38.15° N	تراکم گیاهی Plant density	Khandan Bejandi et al. (2010)
	2007-2008	37.53° N	ژنوتیپ، آبیاری Genotype, Irrigation	Taghikhani et al. (2010)
خرم‌آباد <b>Khoram abad</b>	2004-2005	33.48° N	آبیاری، تراکم گیاهی Irrigation, plant density	Mirzaye Heydari et al. (2009)*
	2004-2005	33.48° N	آبیاری، تراکم گیاهی Irrigation, plant density	Mousavi et al. (2009)*
کرج <b>Karaj</b>	2006	35.55° N	تراکم گیاهی Plant density	Kashfi et al.(2001)

\* از پلات‌های این آزمایشات که در شرایط دیم بودند برای ارزیابی عملکرد دیم شبیه‌سازی شده استفاده شد.

\* water limited plots from these field experiments were also used for water limited yield evaluation.

شبیه‌سازی فورترن تبدیل شد که یک زبان شبیه‌سازی قدرتمند و آسان همراه با پیام‌های خطای روشن است (Van Kraanlingen, 2003).

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل در سه مرحله انجام شد. نخست، تعدادی از پارامترهای گیاهی بر اساس داده‌های مشاهده شده آزمایشات مزرعه‌ای تغییر داده شدند. این پارامترها با اجرای مکرر مدل تخمین زده شدند تا اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده کاهش یابد (جدول ۲). در مرحله دوم، این پارامترهای تغییر یافته برای شبیه‌سازی رشد گیاه نخود با توجه به در دسترس بودن داده‌های آب و هوایی روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. شبیه‌سازی‌ها از تاریخ کاشت تا رسیدگی ادامه یافت. سرانجام، نتایج سطح برگ، ماده خشک تولیدی، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده به وسیله رگرسیون خطی و ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> بررسی شدند. بر این اساس، مدل برای تیمار پتانسیل واسنجی شد. بر اساس این روش، محاسبه انحراف مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده که توصیفی از قابلیت پیش‌بینی مدل را ارائه

در این مدل، واکنش فرایندهای رشد گیاه به عوامل محیطی شامل نور، طول روز، دما و در دسترس بودن آب منظور شده است. مدل جهت شبیه‌سازی روزانه به اطلاعات آب و هوایی و خاک 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 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 و تجمع نیتروژن را به صورت روزانه انجام می‌دهد و به اطلاعات قابل دسترس درباره هوا (حداقل و حداکثر دما، تشعشع خورشیدی یا تعداد ساعات آفتابی و بارندگی روزانه) و خاک نیاز دارد (Soltani & Sinclair, 2011).

کد مدل در برنامه ویژوال بیسیک<sup>۱</sup> نوشته شده است اما برای این مطالعه دستورات مدل به زبان نرم‌افزار FST<sup>۲</sup> یا مترجم

1- Visual basic  
2- Fortran simulation translator

3- Root mean square error (RMSE)

می‌کند، از معادله (۱) به دست می‌آید (Wallach & Goffinet, 1987):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Pi - Oi)^2}{n}} \quad (1)$$

Pi: مقادیر پیش‌بینی شده، Oi: مقادیر اندازه‌گیری شده و n: تعداد مشاهدات است. این شاخص میانگین فاصله مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. بدیهی است که کمتر بودن این شاخص، دقت بالاتر مدل را در پیش‌بینی عملکرد نشان می‌دهد.

### عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده

مطالعه در نه منطقه از خراسان رضوی واقع در شمال شرق (واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی تا ۳۳ درجه جنوبی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه غربی و ۵۶ درجه شرقی) ایران تحت دو سناریو عدم محدودیت و محدودیت آب انجام شد. بر اساس در دسترس بودن داده‌های آب و هوایی، شبیه‌سازی‌ها بین ۱۸ تا ۲۱ سال انجام شدند. برای هر سال، شبیه‌سازی‌های جداگانه انجام شد. شرایط استاندارد شبیه‌سازی‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

### عملکردهای واقعی

عملکردهای واقعی، محصول آب و هوای منطقه و شیوه‌های مدیریتی اتخاذ شده توسط کشاورزان است. عملکرد واقعی آبی و دیم در سطح استان برای دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۲، از جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی (Anonymous, 2012) جمع‌آوری شدند. سپس از متوسط عملکرد واقعی در هر شهرستان برای آنالیز خلاء عملکرد

استفاده شد.

### روش محاسبه خلاء عملکرد

با استفاده از عملکردهای به دست آمده در شرایط پتانسیل و عملکردهای واقعی کشاورزان، خلاء عملکرد در هر شهرستان در سه وضعیت محاسبه شد:

۱- خلاء عملکرد بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد پتانسیل دیم شبیه‌سازی شده.

۲- خلاء عملکرد بین عملکرد پتانسیل آبی شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی آبی کشاورزان.

۳- خلاء عملکرد بین عملکرد پتانسیل دیم شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی دیم کشاورزان.

## نتایج و بحث

### واسنجی و اعتبار سنجی مدل

در این مطالعه، تغییرات اندکی در برخی پارامترهای مدل داده شد، این پارامترها در جدول ۲ ارائه شده‌اند. ارزیابی مدل برای رشد گیاه بر اساس شاخص سطح برگ و ماده خشک کل تولیدی بالای سطح خاک نشان داد که مدل این ویژگی‌های رشد را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی شبیه‌سازی و مشاهده شده در شکل ۱ ارائه شده‌اند. مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برای شاخص سطح برگ ۰/۳۱ بود. همچنین مقدار این شاخص برای ماده خشک تولیدی ۶۳۵ کیلوگرم در هکتار بود.

جدول ۲- پارامترهای حاصل از واسنجی مدل برای رقم ILC482.

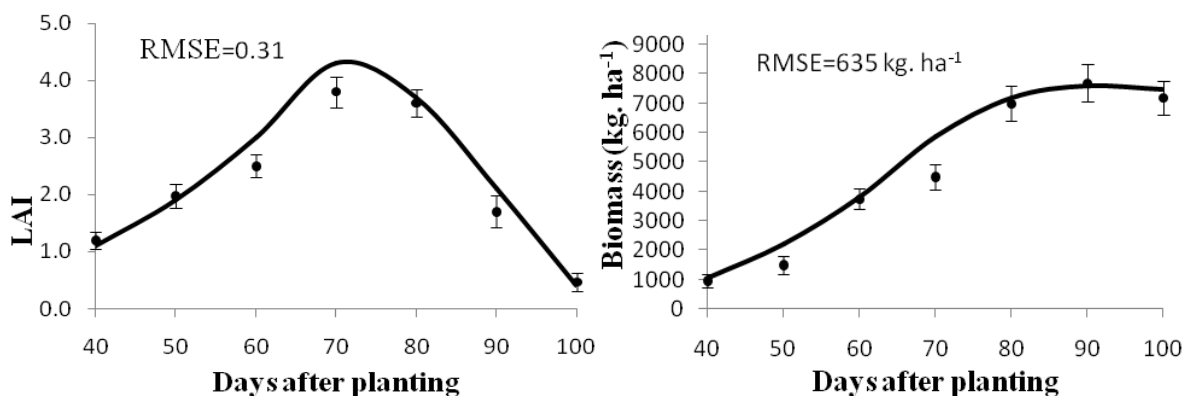
Table 2- Parameters of ILC482 genotype obtained in parameterization

پارامترهای گیاهی Crop parameters	تعریف Description	ضریب برای ILC482 Coefficient for ILC482
PTDVER1	روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن تا گلدهی (روز) <b>Biological day between plant emergence and flower appearance (day)</b>	23
PTDR1R3	روز بیولوژیک مورد نیاز برای گلدهی تا غلافدهی (روز) <b>Biological day between first flower and first pod (day)</b>	9
PTDR3R5	روز بیولوژیک مورد نیاز برای غلافدهی تا شروع پر شدن دانه (روز) <b>Biological day between first pod and initiate seed filling (day)</b>	3
PS	ضریب حساسیت به طول روز <b>Photoperiod sensitivity coefficient</b>	0.00730
MXNOD	حداکثر سرعت تولید گره در ساقه (گره در روز) <b>The maximum rate of node production at stem (node d<sup>-1</sup>)</b>	0.61
GNC	غلظت نیتروژن دانه (میلی‌گرم بر گرم) <b>Grain nitrogen concentration (mg g<sup>-1</sup>)</b>	0.009
PDHI	حداکثر سرعت افزایش در شاخص برداشت در روز در مرحله خطی افزایش آن <b>Maximum increase of harvest index rate per day at linear stage of its increase</b>	0.004

جدول ۳- اطلاعات جغرافیایی، آب و هوایی مورد استفاده برای شبیه‌سازی عملکرد نخود در استان خراسان رضوی

Table 3- Geographical details, period of weather data used of regions selected for simulation of potential yields of chickpea in Razavi Khorasan province

منطقه Region	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	دوره Period	تعداد سال No. of year	تاریخ کاشت Sowing date	تراکم گیاهی (تعداد گیاه بر متر مربع) Plant density (plant.m <sup>-2</sup> )
درگز Daregaz	37.26°	59.6°	1995-2012	18	۳۰ بهمن 19 February	33
قوچان Qoochan	37.40°	58.30°	1995-2012	18	۱۵ فروردین 1 April	33
گناباد Gonabad	34.21°	58.41°	1995-2012	18	۳۰ بهمن 19 February	33
کاشمر Kashmar	35.23°	58.48°	1995-2012	18	۳۰ بهمن 19 February	33
مشهد Mashhad	36.15°	56.28°	1993-2012	21	۳۰ بهمن 19 February	33
نیشابور Nishabur	36.16°	58.48°	1993-2012	21	۲۵ اسفند 16 March	33
تربت جام Torbat- Jam	35.15°	60.35°	1995-2012	18	۳۰ بهمن 19 February	33
تربت حیدریه Torbat Heidareye	35.16°	59.13°	1995-2012	18	۲۵ اسفند 16 March	33
سبزوار Sabzevar	36.12°	57.39°	1995-2012	18	۳۰ بهمن 19 February	33



شکل ۱- مقادیر شبیه‌سازی شده (خطوط) و مشاهده شده (نقاط) شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی نخود در مشهد

Fig. 1- Comparison of simulated (lines) and observed (data points) values of leaf area index (LAI) and above ground biomass of chickpea in Mashhad

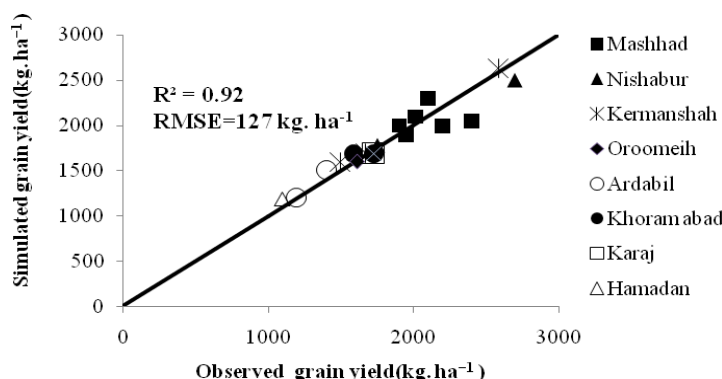
مربعات خطا و ضریب تبیین به ترتیب ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۷۴ بود (شکل ۳).

### عملکردهای واقعی

عملکردهای واقعی آبی از ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار در گناباد تا ۱۰۱۶ کیلوگرم در هکتار در نیشابور نوسان داشتند. همچنین متوسط عملکرد واقعی آبی ۷۹۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). علاوه بر این، عملکرد واقعی دیم از ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار در نیشابور تا ۱۶۲ کیلوگرم در هکتار در تربت حیدریه متغیر بود. متوسط عملکرد واقعی دیم ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار بود.

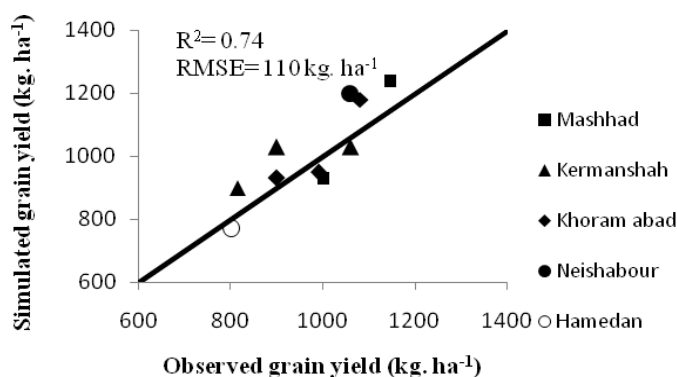
برای ارزیابی عملکرد پتانسیل آبی شبیه‌سازی شده، کرت‌هایی از ۱۹ آزمایشات مزرعه‌ای که در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی و همچنین عوامل تنش‌زای زنده به خوبی کنترل شده بودند، استفاده شد (جدول ۱). مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین برای عملکرد دانه به ترتیب ۱۲۷ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۲ به ترتیب بود (شکل ۲) که نشان‌دهنده مطابقت نزدیک بین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در گستره وسیعی از این آزمایشات مزرعه‌ای بود.

علاوه بر این برای اعتبارسنجی عملکرد دیم شبیه‌سازی، داده‌هایی از ۱۰ آزمایش مزرعه‌ای که تنها آبیاری محدود کننده بود استفاده شد (جدول ۱). نتایج اعتبارسنجی مدل برای ریشه میانگین



شکل ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر اساس داده‌های حاصل از مطالعات مستقل که در جدول ۱ فهرست شده‌اند. خط تو پر، خط ۱:۱ است.

Fig. 2- Simulated versus measured grain yield. Solid line is 1:1 line. Data obtained from different experiments are indicated with different symbols.



شکل ۳- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دیم (کیلوگرم در هکتار) بر اساس داده‌های حاصل از مطالعات مستقل که در جدول ۱ فهرست شده‌اند. خط تو پر، خط ۱:۱ است.

Fig. 3- Simulated versus measured water limited yield. Solid line is 1:1 line. Data obtained from different experiments are indicated with different symbols.

بیش از ۹۰ درصد از سطح زیر کشت نخود در ایران به صورت دیم است لذا یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه نخود است (Ganjeali et al., 2009). تحقیقات انجام شده (Parsa et al., 2012; Gangali, & Nezami, 2008; Ganjeali et al., 2009) نشان می‌دهد که کاشت پاییزه و یا زمستانه نخود، عملکرد دانه بیشتری تولید می‌کند زیرا در این نوع کشت، گیاه به نحو مؤثرتری از نزولات آسمانی استفاده می‌نماید.

عملکردهای واقعی دیم به علت کمبود بارندگی و توزیع نامناسب بارندگی در این مناطق بسیار پایین بود (جدول ۵). بررسی نوسانات عملکرد واقعی طی سال در مناطق مورد مطالعه نشان داد که در هیچ کدام از مناطق روند عملکرد واقعی معنی‌دار نیست (داده‌ها ارائه نشده‌اند)، زیرا نوسانات بارندگی در این مناطق زیاد می‌باشد و از طرفی در کشت آبی نخود نیز یک یا دو مرحله آبیاری در مراحل بحرانی رشد گیاه صورت می‌گیرد لذا چنین نوساناتی قابل انتظار است. از آن‌جا که

جدول ۴- متوسط عملکردهای پتانسیل، واقعی و خلاءهای عملکرد در مناطق مورد بررسی استان خراسان رضوی.

Table 4- average of simulated potential yield, actual yields and yield gaps at selected regions in Razavi Khorasan province.

منطقه Region	عملکرد واقعی دیم (کیلوگرم در هکتار) Rainfed actual yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) (D)	عملکرد واقعی آبی (کیلوگرم در هکتار) Irrigated actual yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) (C)	ضریب تغییرات CV	عملکرد پتانسیل دیم (کیلوگرم در هکتار) Water limiting yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) (B)	ضریب تغییرات CV	عملکرد پتانسیل آبی (کیلوگرم در هکتار) Water non- limiting yield (kg.ha <sup>-1</sup> ) (A)	خلاء عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap (kg.ha <sup>-1</sup> )		
							YG <sub>MR</sub> <sup>3</sup> (B-D)	YG <sub>MM</sub> <sup>2</sup> (A-B)	YG <sub>MI</sub> <sup>1</sup> (A-C)
درگز Daregaz	265	840	33	900	8	2186	635	1286	1346
قوچان Qoochan	265	900	28	1300	22	1956	1035	656	1055
گناباد Gonabad	-	617	35	850	17	2197	-	1347	1580
کاشمر Kashmar	172	702	32	1153	12	2225	981	1072	1522
مشهد Mashhad	245	885	34	1251	16	2213	1006	962	1327
نیشابور Nishabur	270	1016	24	952	17	2421	682	1469	1404
سبزوار Sabzevar	236	751	30	967	10	2224	731	1257	1472
تربت حیدریه TorbatHeydarie	162	850	36	977	15	2257	815	1280	1407
تربت جام Torbat- Jam	226	630	36	880	11	2584	654	1704	1954
میانگین Average	230	799	32	1026	14	2251	817	1226	1452
ضریب (درصد) تغییرات CV (%)	16	15		15		7	18	23	15

۱ - خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی

YG<sub>MM</sub> = Modeled water non-limiting potential yield - Modeled water limiting potential yield

۲ - خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم

YG<sub>MI</sub> = Modeled water non-limiting potential yield - Irrigated actual yield

۳ - خلاء بین عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد واقعی دیم

YG<sub>MR</sub> = Modeled water limiting potential yield - rainfed actual yield

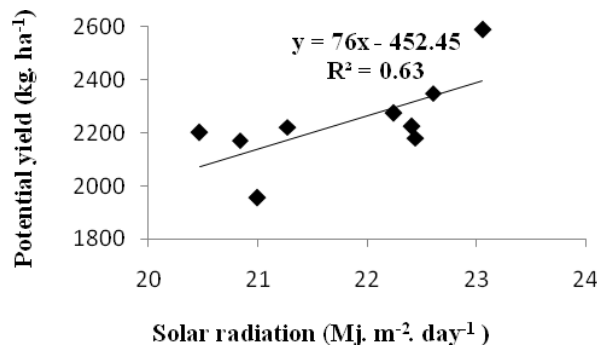


نخود در سری‌های تاریخی آب و هوا به ترتیب از ۲۰ تا ۲۳ مگاژول بر مترمربع بر روز و ۱۵ تا ۲۱ °C متغیر بود. در مطالعه مذکور، متوسط عملکردهای پتانسیل آبی همبستگی مثبت و معنی‌داری با تشعشع فصلی ( $R^2 = 0.63, P \leq 0.05$ ) و دما ( $R^2 = 0.51, P \leq 0.05$ ) نشان داد (شکل‌های ۴ و ۵). بنابراین، تنوع مکانی و زمانی عملکردهای پتانسیل آبی در استان خراسان رضوی به میزان زیادی توسط تنوع زمانی و مکانی تشعشع و دما کنترل می‌شود. باتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) در مطالعه خود بر روی گیاه سویا در هند نشان دادند که نوسانات عملکرد پتانسیل سویا تحت تأثیر نوسانات تشعشع قرار می‌گیرد.

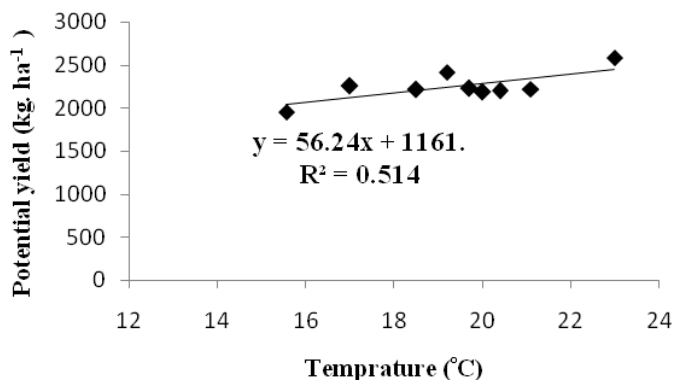
با توجه به عدم بارندگی مناسب و پراکنش نامناسب آن در بهار در اراضی دیم و همچنین محدودیت منابع آب در اراضی فاریاب، در تغییر تاریخ کاشت نخود از بهار به زمستان یا پاییز، ضروری به نظر می‌رسد. همچنین بین عوامل مختلف ایجاد کننده تنش در نخود مانند بیماری، آفت، علف‌های هرز، خشکی، غرقابی، شوری و سرما، عامل خشکی به تنهایی ۴۵ درصد از عملکرد دانه می‌کاهد (Gangali et al., 2008; Malhotra, 2002).

#### عملکرد پتانسیل آبی شبیه‌سازی شده

عملکرد پتانسیل آبی تحت تأثیر دو متغیر اقلیمی تشعشع و دما است. مقادیر متوسط متغیرهای اقلیمی در طی دوره رشد و نمو نخود در جدول ۵ ارائه شده‌اند. متوسط تشعشع و دما در طی دوران رشد



شکل ۴- رابطه عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده با تشعشع طی دوران رشد در مناطق مورد مطالعه در استان خراسان رضوی  
 Fig. 4- Association of long-term mean simulated potential yield with mean crop season solar radiation among selected regions across Razavi Khorasan



شکل ۵- رابطه عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده با دما طی دوران رشد در مناطق مورد مطالعه در استان خراسان رضوی  
 Fig. 5- Association of long-term mean simulated potential yield with mean temperature among selected regions across Razavi Khorasan

جدول ۵- متوسط تشعشع، دما و بارندگی در طی دوران رشد نخود در مناطق مورد مطالعه استان خراسان رضوی

Table 5- average of solar radiation, temperature and rainfall during growth period of chickpea at selected regions in Razavi Khorasan province

منطقه Region	بارندگی (میلی متر) Rainfall (mm)	دما (درجه سانتیگراد) Temperature(°C)	تشعشع (مگاژول بر متر مربع در روز) Solar radiation (MJ.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )
درگز Daregaz	96	20.1	20.8
قوچان Qoochan	124	15.57	20.9
گناباد Gonabad	36	20.4	22.2
کاشمر Kashmar	60	19.7	22.4
مشهد Mashhad	92	18.5	20.4
نیشابور Nishabur	82	19.2	22.6
سبزوار Sabzevar	54	21.1	21.2
تربت حیدریه Torbat Heydarie	82	15.0	22.7
تربت جام Torbat- Jam	60	22.7	23.0

### عملکرد پتانسیل دیم

تحت شرایط محدودیت آبیاری، متوسط عملکرد پتانسیل شبیه سازی، ۱۰۲۶ کیلوگرم در هکتار با ضریب تغییرات ۱۵ درصد بود (جدول ۴). به طور کلی متوسط عملکردهای دیم بسیار پایین بود زیرا میزان بارندگی در منطقه پایین و متوسط آن ۷۶ میلی متر بود. در بین مناطق مختلف، عملکرد پتانسیل دیم بین ۱۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (قوچان) تا ۸۵۰ کیلوگرم در هکتار (گناباد) متغیر بود. همچنان که در جدول ۵ مشاهده می شود متوسط بارندگی در قوچان و گناباد به ترتیب ۱۲۴ و ۳۶ میلی متر است. از آن جا که تولید در این سطح عمدتاً به وسیله در دسترس بودن آب (بارندگی) علاوه بر دیگر عناصر آب و هوایی کنترل می شود لذا نوسان زمانی و مکانی عملکرد پتانسیل دیم در مقایسه با عملکرد پتانسیل آبی بسیار بیشتر بود (جدول ۴). چنین نوسانات قابل توجه در عملکرد پتانسیل دیم، میزان نوسانات عملکرد نخود تحت شرایط دیم در استان خراسان رضوی را به خوبی نشان می دهد.

دستیابی به عملکردهای بالای نخود در مناطق با بارندگی اندک بسیار ناچیز است. در ایران، نخود اساساً در مناطقی که بارندگی سالانه

رابطه رگرسیونی عملکرد پتانسیل و سال در هیچ کدام از مناطق معنی دار نبود (نتایج رگرسیون ارائه نشده اند) که بدین معنی است نوسان کمتر عملکردهای پتانسیل در نتیجه فراهمی آب و عناصر غذایی و کنترل مناسب عوامل تنش زای زنده است. محققان دیگر نیز نشان دادند که نوسانات عملکرد پتانسیل در طی سال خیلی زیاد نیست (Aggarwal et al., 1994; Bhatia et al., 2008).

متوسط عملکردهای پتانسیل آبی در بین فصول و مناطق مختلف ۲۲۵۱ کیلوگرم در هکتار و دارای ضریب تغییرات هفت درصد بود. در بین مناطق مختلف، متوسط عملکرد پتانسیل آبی بین ۱۹۵۵ کیلوگرم در هکتار در قوچان تا ۲۵۸۴ کیلوگرم در هکتار در تربت جام بود. متوسط تشعشع در این مناطق به ترتیب ۲۰/۹ و ۲۳ مگاژول بر مترمربع در روز بود (جداول ۴ و ۵). علاوه بر این، کمترین عملکرد پتانسیل آبی در قوچان با ۱۱۱۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۲۰۱۲ و بیشترین عملکرد پتانسیل آبی در تربت جام با ۳۱۵۹ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۹۹۴ مشاهده شد. همچنین متوسط تشعشع و دما در قوچان به ترتیب ۲۱/۲ مگاژول بر مترمربع در روز و ۱۵ °C بود. از طرفی مقادیر متوسط تشعشع و دما در تربت جام به ترتیب ۲۳/۳ مگاژول بر مترمربع در روز و ۱۸ °C بود.

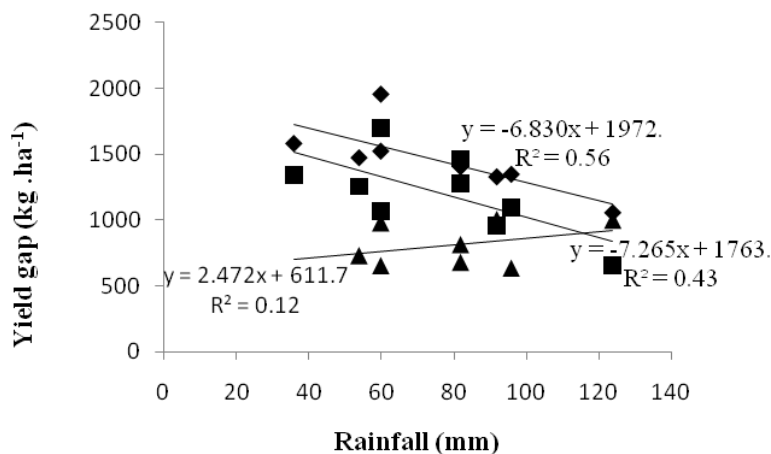
حدود ۸۱۷ کیلوگرم در هکتار کمتر از عملکرد پتانسیل دیم شبیه‌سازی بود که کاهش ۷۹ درصدی نسبت به عملکرد پتانسیل دیم نشان داد. خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی کشاورزان از ۱۰۵۵ (قوچان) کیلوگرم در هکتار تا ۱۹۵۴ (تربت جام) کیلوگرم در هکتار نوسان داشت (جدول ۴). همچنان‌که در جدول ۵ مشاهده می‌شود تربت جام بیشترین عملکرد پتانسیل آبی و کمترین عملکرد واقعی آبی را در بین مناطق مورد مطالعه دارد که منجر به افزایش خلاء عملکرد شد. در مقابل، کمتر بودن خلاء عملکرد در قوچان نتیجه پایین بودن عملکرد پتانسیل آبی (۱۹۵۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی آبی نسبتاً بالای آن بود (۹۰۰ کیلوگرم در هکتار). به طور کلی، رابطه منفی و معنی‌داری بین بارندگی و خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی مشاهده شد ( $R^2=0/56$  و  $P \leq 0/05$ )؛ به طوری‌که به ازای افزایش هر میلی‌متر بارندگی خلاء عملکرد حدود شش کیلوگرم کاهش یافت (شکل ۶).

لوبل و همکاران (Lobell et al., 2009) دلایل خلاءهای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم و ذرت (*Zea mays* L.) را در مناطق اصلی کشت این گیاهان در جهان را بررسی و اعلام کردند که عملکردهای این گیاهان به ندرت از ۸۰ درصد عملکردهای پتانسیل آن‌ها بیشتر است.

آن ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است رشد می‌کند. اما این مناطق بیشتر از توزیع نامناسب بارندگی تا کمبود بارندگی رنج می‌برند (Gangeali & Nezami, 2008). علاوه بر این، مطالعات اخیر (Karimi, Farneya, 2009; Parsa et al., 2012; Nezami et al., 2009) نشان داده است که حداقل ۵۰ درصد از مناطق تحت کشت نخود بارندگی کافی دارند ولی توزیع آن مناسب نیست و با فصل رشد گیاه هماهنگ نیست. لذا بایستی تاریخ کاشت را جلو انداخت تا از بارندگی‌های اواخر زمستان و اوایل بهار به خوبی استفاده شود. در مقایسه با عملکرد پتانسیل آبی، رابطه بین عملکرد پتانسیل دیم و تشعشع طی دوران رشد در این مناطق معنی‌دار نبود. این مؤید آن است که در این سطح تولید، نوسان عملکرد پتانسیل در مناطق مختلف به میزان زیادی به وسیله در دسترس بودن آب کنترل می‌شود.

#### خلاء عملکرد

عملکردهای پتانسیل شبیه‌سازی شده در مناطق اصلی تحت کشت نخود در استان خراسان رضوی نشان داد که پتانسیل عملکرد بالایی وجود دارد که توسط کشاورزان شناسایی نشده است. متوسط عملکردهای واقعی آبی در این مناطق حدود ۱۴۵۲ کیلوگرم در هکتار کمتر از عملکردهای پتانسیل آبی شبیه‌سازی بود که ۶۴ درصد کمتر از مقدار پتانسیل بود (جدول ۴). همچنین متوسط عملکرد واقعی دیم



شکل ۶- رابطه خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی (♦)، خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم شبیه‌سازی (■) و خلاء بین عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد واقعی دیم (▲) با بارندگی طی دوران رشد در مناطق مورد مطالعه در استان خراسان رضوی.

Fig. 6- Association of long-term mean yield gap between simulated potential and irrigated actual yield (♦), mean yield gap between simulated potential and water limited yield (■) and yield gap between simulated water limited and rainfed actual yield (▲) with mean crop season rainfall among selected regions across Razavi Khorasan province.

عملکردهای بالا و قابل قبولی کسب کنند. مطالعات گنجعلی و همکاران؛ نظامی و همکاران؛ زعفرانی و همکاران (Zaferanieh et al., 2009; Nezami et al., 2009; Gangeali et al., 2009) نشان داده است که تاریخ کاشت زمستانه در مقایسه با بهاره عملکرد را تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌دهد. این دستاورد در نتیجه همزمانی مراحل حساس فنولوژی نخود با رژیم‌های رطوبتی مناسب و همچنین افزایش رشد رویشی قبل از گلدهی می‌باشد.

باتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) با استفاده از مدل CROPGRO-Peanut پتانسیل و خلاء عملکرد سویای دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که به طور متوسط پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰ درصد می‌باشد به عبارت دیگر تنها ۳۰ درصد از عملکرد پتانسیل در مزارع برداشت می‌شود. آن‌ها برای کاهش آن پیشنهاد کردند در مناطق با فصل بارندگی طولانی مدیریت زراعی مانند کشت ارقام پرمحصول، بهبود وضعیت تغذیه گیاه و کنترل آفات و بیماری‌ها صورت گیرد و در مناطق با بارندگی کمتر اقدام به حفظ رطوبت و آبیاری تکمیلی شود.

مینگ و همکاران (Meng et al., 2013) عملکردهای پتانسیل و خلاءهای عملکرد را در چهار منطقه اصلی کشت ذرت در چین را برآورد کردند. آن‌ها نشان دادند که خلاء بین عملکرد پتانسیل و عملکرد متوسط واقعی کشاورزان ۸/۶ و ۶ مگاگرم در هکتار به ترتیب برای کشت‌های آبی و دیم متغیر است. همچنین متوسط عملکرد واقعی کشاورزان ۴۸ تا ۵۶ درصد عملکرد پتانسیل بود.

### نتیجه‌گیری

استان خراسان رضوی با عملکردهای واقعی پایین نخود، خلاء عملکرد بالا و پتانسیل زیادی برای افزایش فعلی عملکرد دارد. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که متوسط عملکرد پتانسیل آبی نخود برای این مناطق ۲۲۵۱ کیلوگرم در هکتار است این درحالی است که متوسط پتانسیل عملکرد دیم ۱۰۲۶ کیلوگرم در هکتار است که ۵۴ درصد کاهش عملکرد در نتیجه شرایط نامناسب رطوبتی را نشان می‌دهد. همچنین متوسط عملکردهای واقعی آبی و دیم به ترتیب ۶۴ و ۷۹ درصد کمتر از عملکردهای پتانسیل آبی و دیم بود. در بین مناطق مورد مطالعه عملکردهای پتانسیل آبی نسبت به عملکردهای

کالدیز و همکاران (Caldiz et al., 2002) با هدف شناسایی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی مناطق مختلف تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در آرژانتین و تعیین پتانسیل عملکرد در طول دوره رشد این محصول در مناطق مختلف، مطالعه‌ای بر مبنای پهنه‌بندی اکولوژیکی انجام دادند. آن‌ها در این بررسی پهنه‌های اگرواکولوژیکی برای تولید سیب‌زمینی را مشخص نموده و دوره رشدی مناسب هر پهنه را تعیین کردند، همچنین آن‌ها اعلام کردند که همراه با افزایش پتانسیل عملکرد در مناطق مختلف خلاء عملکرد نیز افزایش یافت.

خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم شبیه‌سازی شده از ۶۵۶ (قوچان) تا ۱۷۰۴ (ترت جام) کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۴). همچنان که در جدول ۴ مشاهده می‌شود کمترین عملکرد پتانسیل آبی و بیشترین عملکرد پتانسیل دیم در قوچان مشاهده شد. به طور کلی، خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی کشاورزان و خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم شبیه‌سازی شده در این استان از شمال (نیشابور، مشهد، قوچان و درگز) به جنوب (ترت جام و گناباد) روند افزایشی نشان داد، زیرا عملکرد پتانسیل آبی در این استان روند افزایشی از شمال به جنوب داشت. همچنین رابطه منفی و معنی‌داری بین بارندگی و خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم شبیه‌سازی شده مشاهده شد ( $R^2=0/43$  و  $P \leq 0/05$ ) به طوری که به ازای افزایش هر میلی‌متر بارندگی خلاء عملکرد حدود هفت کیلوگرم کاهش یافت (شکل ۶).

خلاء بین عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد واقعی دیم کشاورزان از ۶۳۵ (درگز) تا ۱۰۳۵ (قوچان) کیلوگرم در هکتار نوسان داشت. همچنان که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقادیر این خلاء عملکرد در مقایسه با دیگر خلاءهای عملکرد ذکر شده بسیار پایین است زیرا هم عملکرد پتانسیل دیم و هم عملکرد واقعی دیم کشاورزان در این مناطق پایین است. علاوه بر این، خلاء عملکرد در این سطح کم و بیش تحت تأثیر مقدار بارندگی در این مناطق قرار نگرفت، زیرا عملکردهای دیم تولیدی در این مناطق بسیار پایین بود (جدول ۴) که منجر به عدم معنی‌داری رابطه بین بارندگی و خلاء بین عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد واقعی دیم شد (شکل ۶). بنابراین، کشاورزان بایستی با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، همزمانی مراحل حساس فنولوژیکی را با بارندگی و شرایط اقلیمی منطقه تنظیم کنند تا

قوچان و درگز) به جنوب (تربت جام و گناباد) روند افزایشی نشان داد. مقادیر خلاء بین عملکرد پتانسیل دیم و عملکرد واقعی دیم در مقایسه با دیگر خلاءهای عملکرد ذکر شده بسیار پایین بود زیرا هم عملکرد پتانسیل دیم و هم عملکرد واقعی دیم کشاورزان در این مناطق پایین بود.

پتانسیل دیم و واقعی نوسان کمتری داشت و همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $R^2 = 0/63$ ,  $P \leq 0/05$ ) با تشعشع و دما ( $P \leq 0/05$ )، ( $R^2 = 0/51$ ) در طی دوران رشد داشت. به طور کلی، خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و عملکرد واقعی آبی کشاورزان و خلاء بین عملکرد پتانسیل آبی و دیم در این استان از شمال (نیشابور، مشهد

## منابع

- Aggarwal, P.K., and Kalra, N. 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 Research* 38: 93-103.
- Amir, J., and Sinclair, T.R. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Research* 29: 59-69.
- Anonymous, 2011-2012. Annual report of 2001-2012. Agricultural Research Institute, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Becker, M., and Johnson, D.E. 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of Côte d'Ivoire. *Field Crops Research* 60: 201-208.
- Bhatia, V.S., Singh, P., Wani, S.P., Chauhan, G.S., Kesava Rao, A.V.R., Mishra, A.K., and Srinivas, K. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1252-1265.
- Caldiz, D.O., Haverkort, A.L., and Struik, P.C. 2002. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina. *Agricultural Systems* 73: 297-311.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2006. The FAOSTAT Database. Available at Web site <http://faostat.fao.org/default.aspx> (verified 12 June 2012).
- Farshadfar, E., and Javadi Neya, J. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Journal* 17: 517-537. (In Persian with English Summary)
- Ganjeali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7: 183-194. (In Persian with English Summary)
- Ganjeali, A., Joveynipour, S., Porsa, H., and Bagheri, A. 2011. Selection for drought tolerance in Kabuli chickpea genotypes in Nishabur region. *Iranian Journal of Pulses Research* 2: 27-38. (In Persian with English Summary)
- Gangeali, A., and Nezami, A. 2008. Ecophysiology and Determinatives Yield of Pulses. In: M. Parsa and A.R. Bagheri (Eds.). *Pulses*. Jahad-e Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran 500 pp. (In Persian)
- Goldani, M., and Rezvani, P. 2005. Effects of different drought levels and planting date on yield and yield components of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research* 2: 1-12. (In Persian with English Summary)
- Gholipour, M. 2007. Potential effects of individual versus simultaneous climate change factors on growth and water use in chickpea. *International Journal of Plant Production* 2: 189-204.
- Jalilian, S.A., Modarres Sanavy, M., and Sabaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield component and protein content of flour chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions. *Journal of Agricultural Sciences and natural resources*. 12: 1-9.
- Karimi, B., and Farneya, A. 2009. Evaluation of cultural traits, yield and yield components of rainfed chickpea cultivars with supplemental irrigation. *Modern Agriculture Journal* 17: 83-90. (In Persian with English Summary)
- Kashfi, S.M.H., Majnoun Hosseini, N., and Zeinali Khaneghah, H. 2011. Effect of plant density and starter nitrogen fertilizer on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Kourosh) at Karaj conditions. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 11-20. (In Persian with English Summary)
- Khandan Bejandi, T., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Asgari Zakaria, R., Namvar, A., Jafari, and Moghaddam, M. 2010. Effect of plant density, rhizobia and microelements on yield and some of morphophysiological characteristics of pea. *Electronic Journal of Crop Production* 3: 139-157. (In Persian with English Summary)
- Laborte, A.G., Bie, K.D., Smaling, E.M.A., Moya, P.F., Boling, A.A., and Van Ittersum, M.K. 2012. Rice yields and

yield gaps in Southeast Asia: Past trends and future outlook. *European Journal of Agronomy* 36: 9-12.

Lu, C., and Fan, L. 2013. Winter wheat yield potentials and yield gaps in the North China Plain. *Field Crops Research* 143: 98-105.

Liu, X.Y., He, P., Jin, J.Y., Zhou, W., Gavin, S., and Steve, P. 2011. Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agronomy Journal* 103: 1452-1463.

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 179-204.

Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z., and Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crop Research* 143: 91-97.

Millan, T., Clarke, H.J., Siddique, K.H.M., Buhariwalla, H.K., Gaur, P.M., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., and Winter, P. 2006. Chickpea molecular breeding: new tools and concepts. *Euphytica* 147: 81-103.

Mirzaye Heidari, M., Noori, M.H., Khorgami, A., Pezeshkpoor, P., and Arzani, A. 2009. Effects of plant density and supplemental irrigation on crop yield, chlorophyll content and light penetration in the canopy chickpea cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40:113-121. (In Persian with English Summary)

Majnoun Hosseini, N., and Hamzeii, R. 2011. Effect of winter and spring planting time on yield and yield components of chickpea at dry land conditions. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 59-68. (In Persian with English Summary)

Mousavi, S. K. Pezeshkpoor, P. Khorgami, A., and Noori, M. N. 2009. Effects of supplemental irrigation and crop density on yield, and yield components of Kabuli chickpea cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7: 657-672. (In Persian with English Summary)

Naab, J.B., Singh, P., Boote, K.J., Jones, J.W., and Marfo, K.O. 2004. Using the CROPGRO peanut model to quantify yield gaps of peanut in the Guinean Savanna Zone of Ghana. *Agronomy Journal* 96: 1231-1242.

Neumann, K., Verburg, P.H., Stehfest, E., and Mueller, C. 2010. The yield gap of global grain production: a spatial analysis. *Agricultural Systems* 103: 316-326.

Nezami, A., and Bagheri, A. 2001. Screening of Mashhad chickpea (*Cicer arietinum* L.) collection for cold tolerance under field conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15: 155-162.

Nezami, A., Sedaghat Khahi, H., Porsa, H., Parsa, M., and Bagheri, A. 2009. Evaluation of fall sowing of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to cold under supplemental irrigation in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 415-423. (In Persian with English Summary)

Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaeyanzadeh, E., and Nezami, A. 2012. Effects of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 9: 1-14. (In Persian with English Summary)

Raey, Y., Demaghsi, N., and Seied Sharifi, R. 2007. Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 9: 371-381. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., and Sadeghi Samarjan, R. 2008. Effect of sowing dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) (cultivar 3279 ILC). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6: 315-325. (In Persian with English Summary)

Saman, M., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Sabaghpour, S.H. 2010. The effect of terminal drought on yield and yield components of chickpea genotypes. *Iranian Journal of Crop Science* 41: 259-269. (In Persian with English Summary)

Shaban, M., Mansoori Far, S., Ghobadi, M., and Ashrafi Parchin, 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 with English Summary)

Silim, S.N., Saxana, M.C., and Singh, K.B. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin .II. Factors influencing yield under drought. *Field Crops Research* 34: 137-141.

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

Sinclair, T.R., and Seligman, N.G. 2000. Criteria for publishing papers on crop modeling. *Field Crops Research* 68: 165-172.

Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea

growth and yield. *Field Crops Research* 62: 213-224.

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

Taghi Khani, H., Eivazi, A.R., Reza Dost, S., and Roshdi, M. 2010. Evaluation of tolerant indices to drought stress at different stages of growth in chickpea. *Crop Science Journal* 7: 2-13. (In Persian with English Summary)

van Ittersum, M.K., and Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for the analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research* 52: 197-208.

Van Kraalingen, D.W.G., Rappoldt, C., and Van Laar, H.H. 2003. The Fortran simulation translator, a simulation language. *European Journal of Agronomy* 18: 359-361.

Wahabi, A., and Sinclair, T.R. 2005. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field Crops Research* 91: 287-296.

Wallach, D., and Goffinet, B. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying ecological and agronomic systems. *Biometrics* 43: 561-573.

Zaferanieh, M., Nezami, A., Parsa, M., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of fall sowing of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms under complementary irrigation in Mashhad condition: 1- Phenological and morphological characteristics. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7: 473-481. (In Persian with English Summary)