



بررسی افزایش خطی شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن در دوره‌ی پر شدن دانه در نخود (رقم هاشم)

جعفر پوررضا^۱، افشین سلطانی^۲، عبدالله بحرانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۴

چکیده

افزایش خطی شاخص برداشت یک ابزار ساده جهت آنالیز و پیش‌بینی رشد و عملکرد دانه در مطالعات شبیه‌سازی را فراهم ساخته است. به منظور بررسی افزایش خطی شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن در دوره‌ی پر شدن دانه در نخود (رقم هاشم) آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در مزرعه آزمایشی دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و فاکتورها شامل تاریخ کاشت در سه سطح (۱۵ آذر، ۱ بهمن و ۱ فروردین) و تراکم در چهار سطح (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بوته در مترمربع) بودند. شاخص برداشت در طول دوره پر شدن دانه به طور خطی افزایش یافت. تأثیر تراکم بر شیب افزایش خطی شاخص برداشت (dHI/dt) معنی‌دار نبود ولی بین تاریخ کاشت‌ها از نظر این صفت اختلاف وجود داشت. زمان شروع افزایش خطی شاخص برداشت یا به عبارتی فاز تأخیری پر شدن دانه از ۲۶ روز در تاریخ کاشت اول به ۸ روز در تاریخ کاشت سوم کاهش یافت ولی در تراکم‌های مختلف اختلافی مشاهده نشد. زمان توقف افزایش خطی شاخص برداشت علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار در تراکم‌های مختلف، در تاریخ کاشت‌ها متفاوت بود و با تأخیر در کاشت کاهش یافت. از پارامترهای برآورد شده در این مطالعه می‌توان در مدل‌سازی رشد و نمو نخود استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: نخود، شاخص برداشت، مدل‌های شبیه‌سازی، تراکم بوته، تاریخ کاشت.

پوررضا، ج. ا. سلطانی و ع. بحرانی. ۱۳۹۶. بررسی افزایش خطی شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن در دوره‌ی پر شدن دانه در نخود (رقم هاشم). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۸: ۹-۱.

۱- گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران، مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: J_pourreza@yahoo.com

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L) یکی از اولین بقولات دانه‌ای اهلی شده در دنیای قدیم است. این گیاه با ۷/۵ میلیون تن از ۱۰/۳ میلیون هکتار تولید رتبه دوم اهمیت در جهان را داراست (فانو، ۲۰۰۳) و در ایران رتبه اول را از لحاظ سطح زیر کشت به خود اختصاص داده است. ایران با سطح زیر کشت حدود ۷۰۰،۰۰۰ هکتار، رتبه چهارم جهان پس از هندوستان، پاکستان و ترکیه را دارا می‌باشد (سرپرست، ۱۳۸۱).

شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد. مدل‌های گیاهی که عملکرد را از شاخص برداشت تخمین می‌زنند ابتدا عملکرد بیولوژیک را پیش‌بینی می‌کنند و سپس عملکرد دانه را به عنوان حاصل‌ضرب شاخص برداشت نهایی و عملکرد بیولوژیک تعیین می‌نمایند (کینری و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل‌های گیاهی ابزار مفیدی در درک کمی چگونگی سیستم‌های رشد گیاهی هستند (سینکلر و سلیگمن، ۲۰۰۰). هدف اصلی بسیاری از مدل‌های گیاهی پیش‌بینی عملکرد گیاهی است، اگرچه آنها برای پیش‌بینی فرآیندهایی مثل رشد، نمو و مصرف آب استفاده می‌شوند (سینکلر، ۱۹۸۶). بسیاری از مدل‌ها عملکرد دانه را از برآورد نمودن تعداد دانه در واحد سطح و دوره پر شدن دانه پیش‌بینی می‌کنند (ریتیچی و همکاران، ۱۹۹۸). بسیاری از مدل‌های دیگر با استفاده از ضرایب توزیع، عملکرد دانه را برآورد می‌کنند (گوادریان و وان لار، ۱۹۹۴). نشان داده شده که پیش‌بینی تعداد دانه یک منبع خطا در مدل‌های گیاهی ایجاد می‌کند (پورتر و همکاران، ۱۹۹۳). در سایر مدل‌های گیاهی، پیش‌بینی عملکرد دانه، با استفاده از مفهوم شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن بخصوص افزایش خطی شاخص برداشت در طی پر شدن دانه صورت می‌گیرد (سینکلر، ۱۹۸۶).

وقتی از مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت جهت پیش‌بینی عملکرد دانه در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی استفاده می‌شود لازم است ۳ پارامتر برآورد شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۴): ۱- دوره از گرده‌افشانی یا گلدهی تا افزایش خطی در شاخص برداشت (LAG) ۲- زمان توقف افزایش خطی در شاخص برداشت (HIM) ۳- شیب خطی افزایش شاخص برداشت (dHI/dt). افزایش خطی شاخص برداشت با زمان یک ویژگی بارز تولید دانه در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی است. این مفهوم به ویژه به طور مفیدی برای مدل‌سازی گیاهان زراعی استفاده شده است، زیرا تنها تولید ماده خشک و یک مقدار ثابت تغییر در شاخص برداشت (dHI/dt) نیاز است تا عملکرد را مدل‌سازی کند (کرافورد و همکاران، ۲۰۰۲). بیندی و همکاران

(۱۹۹۹) در آنالیز ۲۲ مورد مطالعه بیان نمودند که با وجود ثبات و پایداری در افزایش خطی در شاخص برداشت با زمان در طیف وسیعی از شرایط مثل تیمارهای کود دهی و آبیاری، دلایلی مبنی بر بی‌ثباتی آن در تغییر تاریخ کاشت وجود دارد. آنها عنوان کردند که افزایش خطی شاخص برداشت با زمان توصیف بهتری از نمو دانه نسبت به اندازه‌گیری‌های مستقیم سرعت رشد دانه به دست می‌دهد و یک نرمال‌سازی مناسب برای شرح رشد دانه مخصوصاً در زمینه مدل‌سازی گیاهان فراهم می‌سازد.

اسپیت و سینکلر (۱۹۸۵) در سویا گزارش کردند که واکنش شاخص برداشت به زمان پس از گلدهی به صورت لجستیکی افزایش می‌یابد. این واکنش همچنین در پنبه (سادراس و همکاران، ۱۹۹۷) و گندم (موت و همکاران، ۱۹۹۶) مشاهده شده است. چاپمن و همکاران (۱۹۹۳) این روش را در یک مدل شبیه‌سازی (QSUN) روی رشد آفتابگردان به کار بردند. در این مدل آنها افزایش شاخص برداشت روزانه و یک مقدار ثابت خطی (۰/۱۱۳ در روز) طی فاز خطی پر شدن دانه استفاده کردند تا شاخص برداشت نهایی و عملکرد را تعیین نمایند. آنها همچنین گزارش کردند که افزایش خطی شاخص برداشت تحت تأثیر ژنوتیپ، تاریخ کاشت و شرایط تغذیه‌ای قرار نگرفت و در تمام موارد ثابت بود. بر اساس گزارش سلطانی و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات افزایش خطی شاخص برداشت با زمان به میانگین دما از کاشت تا شروع رشد دانه وابسته بود. تغییرات افزایش خطی شاخص برداشت در زمان با افزایش دما به ۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و وقتی به مقدار حداکثر رسید، ثابت شد.

از آنجایی که شبیه‌سازی عملکرد با استفاده از مفهوم شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن از دقت بیشتری نسبت به داده‌های رشد دانه برخوردار است. افزایش خطی شاخص برداشت یک ابزار ساده جهت آنالیز و پیش‌بینی رشد و عملکرد دانه در مطالعات شبیه‌سازی را فراهم ساخته است. زمانی که از مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت استفاده می‌شود لازم است تا سه پارامتر برآورد شوند: ۱- دوره‌ی از گلدهی تا شروع افزایش خطی شاخص برداشت ۲- زمان توقف افزایش خطی در شاخص برداشت ۳- سرعت افزایش خطی در شاخص برداشت در طی زمان؛ بنابراین این تحقیق هدفمند شده تا به بررسی افزایش خطی شاخص برداشت و پارامترهای مربوط به آن در دوره‌ی پر شدن دانه در نخود (رقم هاشم) تحت شرایط مختلف تاریخ کاشت و تراکم بپردازد.

مواد و روش‌ها

از یک معادله غیر خطی ۲ تکه‌ای برای مدل‌سازی تغییرات شاخص برداشت در مقابل روز پس از گلدهی استفاده شد (معادله ۱). در اینجا Y شاخص برداشت، a عرض از مبدأ (محل قطع محور Y)، b افزایش خطی شاخص برداشت بر حسب درصد در روز، X روز پس از گلدهی و X_0 روز پس از گلدهی است که در آن فاز خطی شاخص برداشت متوقف می‌شود.

$$Y = \begin{cases} a+bx & \text{اگر } x < x_0 \\ a+bx_0 & \text{اگر } x \geq x_0 \end{cases}$$

آنالیز داده‌ها به استفاده از رویه PROC ANOVA و PROC NLIN در برنامه آماری SAS (سلطانی، ۱۳۷۷) انجام شد. از نرم‌افزار EXCEL برای ترسیم نمودارها و گرافها استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات فنولوژیک نشان داد که صفات روز تا گلدهی، روز تا غلاف‌دهی، روز تا شروع دانه‌بندی و روز تا شروع رسیدگی در تاریخ کشت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. در تراکم‌های مختلف به استثنای صفت روز تا گلدهی، سایر صفات تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر صفت روز تا گلدهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که در سایر صفات اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات فنولوژی (جدول ۳) نشان داد که تعداد روز تا گلدهی در تاریخ کاشت اول (۱۵ آذر) ۱۳۸ روز بوده و با تأخیر در کاشت، این مدت در تاریخ کاشت سوم (۱ فروردین) به ۶۴ روز رسید. یعنی به ازای هر ۱۰ روز تأخیر در کاشت تقریباً ۷ روز کاهش در طول این دوره وجود داشته است. در مورد صفات روز تا غلاف‌دهی، روز تا دانه‌بندی (آغاز پر شدن دانه) و روز تا شروع رسیدگی نیز تاریخ کاشت اول به ترتیب با ۱۵۶، ۱۶۲ و ۱۸۰ روز بیشترین طول دوره را داشت و با تأخیر در کاشت این دوره در تاریخ کاشت سوم به ترتیب به ۷۹، ۹۴ و ۱۰۷ روز کاهش یافت (جدول ۳). کاهش مدت زمان رسیدن به هر یک از مراحل فوق می‌تواند به افزایش دما و طول روز ناشی از تأخیر در کاشت نسبت داده شود. بدین‌صورت که میانگین دمای حداکثر و حداقل (جدول ۱) در طی دوره کاشت تا گلدهی در تاریخ کاشت اول به ترتیب ۱۶/۸ و ۶/۴، برای تاریخ کاشت دوم به ترتیب ۱۹/۶ و ۸/۳ و در تاریخ کاشت سوم به ترتیب برابر ۲۳/۷ و ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد بود. جهت بررسی تأثیر دما و طول روز بر وقوع

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ اجرا گردید. شهرستان گرگان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، در ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه ۶۰۷ میلی‌متر و دامنه نوسان دمای سالیانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالیانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور، یکی تاریخ کاشت در سه سطح (۱۵ آذرماه ۱۳۸۲، ۱ بهمن ماه ۱۳۸۲ و ۱ فروردین ماه ۱۳۸۳) و دیگری تراکم کاشت در چهار سطح (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بوته در مترمربع) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. برای ایجاد تراکم‌های مختلف فاصله روی ردیف-ها ۲۲/۲۲، ۱۱/۱۱، ۷/۳۳ و ۵/۵۵ سانتی‌متر به ترتیب برای تراکم‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بوته در مترمربع اعمال شد. زمین مورد استفاده در سال قبل از آزمایش بصورت آیش بود و در نیمه دوم آبان ماه با انجام شخم برگردانده شد. بذری که برای کاشت استفاده گردید رقم هاشم بود که رقم متداول منطقه می‌باشد. فاصله بین ردیف‌ها در تمام کرت‌ها در تراکم‌های مختلف بذر ۳۰ سانتی‌متر بود.

میزان کود توصیه شده ۱۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلو اوره بود. کود مصرفی دو ماه قبل از هر تاریخ کاشت به زمین اضافه شد. در هر تاریخ کاشت ابتدا خاک کرت‌های مورد نظر با بیل برگردانده و سپس کلوخه‌های درشت با شن کش از کرت خارج شدند. پس از سبز شدن بذور، در مرحله ۴ تا ۵ برگگی تنک انجام گردید.

صفات اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق شامل مراحل فنولوژیک روز تا گلدهی (R1)، روز تا غلاف‌دهی (R3)، روز تا دانه‌بندی (R5)، روز تا شروع رسیدگی (R7) و روز تا رسیدگی کامل (R8) بود که در فصل رشد روی ۱۰ بوته مشخص بر اساس روش فهر و کاویس (۱۹۹۷) انجام شد. همچنین وزن خشک روی ۷ بوته (که از یک نمونه بزرگتر ۲۰-۱۰ تایی انتخاب می‌شدند) از ابتدای گلدهی در هر تاریخ کاشت اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاه در هر نمونه برداری، همزمان برگ‌های زرد و ریزش یافته از پای بوته‌ها برداشت می‌گردید. نمونه‌ها به صورت جداگانه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در آن قرار گرفتند و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. این روند از ابتدای گلدهی تا مرحله رسیدگی کامل صورت گرفت. نمونه‌برداری هر ۵ روز یک بار انجام شد.

مراحل فنولوژیک و طول روز تاریخ کاشت های مختلف به تفصیل توسط تراپی (تراپی، ۲۰۰۴) بحث شده است.

جدول ۱: میانگین دمای حداکثر، حداقل، بارندگی و تشعشع در ماه‌های مربوط به دوره رشد گیاه نخود در مقایسه با آمار بلندمدت، در شرایط آب و هوایی شهر گرگان.

ماه	حداکثر دما (°C)		حداقل دما (°C)		تشنشع (MJ/m ²)		بارندگی (mm)
	دوره آزمایش	بلندمدت	دوره آزمایش	بلندمدت	دوره آزمایش	بلندمدت	
آذر	۱۶/۵	۱۶/۰	۷/۲	۶/۳	۱۸/۳	۲۳/۲	۴۷/۴
دی	۱۴/۳	۱۲/۹	۵/۳	۳/۸	۷/۶	۹/۴	۴۷/۹
بهمن	۱۶/۲	۱۲/۴	۴/۹	۳/۴	۱۵/۲	۱۱/۲	۵۳/۱
اسفند	۱۶/۳	۱۴/۵	۶/۷	۵/۲	۱۹/۰	۱۴/۱	۳۵/۰
فروردین	۲۰/۷	۱۹/۳	۷/۷	۹/۰	۳۳/۰	۱۷/۴	۷۵/۳
اردیبهشت	۲۵/۱	۲۴/۹	۱۳/۹	۱۳/۸	۹/۴	۲۰/۱	۵۷/۳
خرداد	۲۵/۳	۲۹/۶	۱۸/۱	۱۸/۴	۲۰/۰	۲۱/۶	۷۵/۴
تیر	۳۱/۶	۳۲/۰	۲۲/۰	۲۱/۹	۲۸/۰	۲۱/۲	۸۰/۴

جدول ۲: آنالیز واریانس صفات فنولوژیک در تاریخ کاشت ها و تراکم‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		روز تا گلدهی	روز تا غلاف دهی	روز تا دانه‌بندی	روز تا شروع رسیدگی
بلوک	۳	۰/۶۹ ^{ns}	۱/۹۲ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۱/۶۹ ^{ns}
تراکم	۳	۰/۶۹ ^{ns}	۵/۸۶ ^{**}	۰/۹۷ ^{ns}	۶/۰۸ ^{**}
تاریخ کاشت × تراکم	۶	۱/۵۶ ^{**}	۰/۳ ^{ns}	۰/۱۴	۰/۴۸ ^{ns}
خطا	۳۳	۰/۴	۰/۶۷	۰/۲۳	۰/۷۴

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف

فاکتور	روز تا گلدهی	روز تا غلاف دهی	روز تا دانه‌بندی	روز تا شروع رسیدگی
تاریخ کاشت				
۱۵ آذر	۱۳۸/۲ a	۱۵۵/۷ a	۱۶۱/۶ a	۱۸۰/۳ a
۱ بهمن	۱۱۳/۶ b	۱۱۹/۰ b	۱۲۵/۰ b	۱۴۰/۷ b
۱ فروردین	۶۴/۴ c	۷۰/۴ c	۷۹/۲ c	۹۴/۱ c
Lsd	۰/۴	۰/۶	۰/۳	۰/۶
تراکم				
۱۵ بوته	۱۰۵/۸	۱۱۶/۱ a	۱۲۲/۳ a	۱۳۹/۴ a
۳۰ بوته	۱۰۵/۳	۱۱۴/۶ b	۱۲۱/۷ b	۱۳۸/۲ b
۴۵ بوته	۱۰۵/۶	۱۱۴/۷ b	۱۲۲/۰ ab	۱۳۷/۹ b
۶۰ بوته	۱۰۵/۶	۱۱۴/۷ b	۱۲۱/۸ b	۱۳۷/۹ b
Lsd	NS	۰/۷	۰/۴	۰/۷

بندی و شروع رسیدگی تحت تأثیر تراکم بوته کاهش یافتند. نتایج زارعی (۲۰۰۵) در بررسی تراکم‌های مشابه با این تحقیق بر روی

مقایسه تراکم‌های مختلف نیز نشان داد که اختلاف بین آنها از نظر روز تا گلدهی معنی‌دار نیست، اما تعداد روز تا غلاف‌دهی، دانه-

افزایش خطی شاخص برداشت در طیف وسیعی از شرایط مثل تیمارهای کود دهی و آبیاری، اما در تاریخ کاشت های مختلف افزایش خطی در شاخص برداشت متفاوت بود. طبق نظر آنها روزهای طولانی توزیع ماده خشک به میوه و دانه را در بادام زمینی کاهش داد. در مطالعه روی افزایش خطی شاخص برداشت در آفتابگردان بنگ و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که مقدار افزایش خطی شاخص برداشت با دماهای پائین در طی دوره‌ی پر شدن دانه و نیز تأخیر در کاشت کاهش یافت.

همان‌طور که در جدول ۴ و شکل ۱ نشان داده شده، زمان شروع فاز خطی شاخص برداشت (a/b) در تراکم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداد. ولی فاکتور تاریخ کاشت اثر معنی‌داری روی شروع فاز خطی شاخص برداشت داشته است؛ و با تأخیر در کاشت زمان شروع فاز خطی شاخص برداشت به طور چشمگیری کاهش یافته است و از حدود ۲۶ روز در تاریخ کاشت اول به حدود ۸ روز در تاریخ کاشت دوم و سوم کاهش یافته است. این کاهش احتمالاً به علت افزایش دما در تاریخ کاشت دوم و سوم است. تأخیر در کاشت به دلیل کوتاه نمودن دوره رشد گیاه و تسریع در مراحل فنولوژیکی (به علت دمای بالاتر) مدت زمان لازم برای شروع افزایش خطی شاخص برداشت را نیز کاهش داده است. سلطانی و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان دادند که اختلافات برای زمان شروع فاز خطی بین تراکم‌ها در هر تاریخ کاشت معنی‌دار نبود و این زمان با تأخیر در کاشت زودتر انجام گرفت. کرافورد (۲۰۰۲) نیز نشان داد که دمای بالا به طور معنی‌داری روی آغاز مرحله خطی شاخص برداشت تأثیرگذار بوده است.

با توجه به جدول ۴ و شکل ۱ زمان توقف در افزایش خطی شاخص برداشت (X_0) علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار در تراکم‌های مختلف، در تاریخ‌های مختلف کاشت اختلاف معنی‌داری نشان داد میانگین این صفت در تاریخ کاشت ۱۵ آذر ۴۷ و در تاریخ کاشت ۱ بهمن ۲۹ روز بوده است (برای داده‌های مربوط به تاریخ کاشت ۱ فروردین امکان استفاده از معادله دو تکه‌ای نبود و یک معادله خطی ساده برازش داده شد). با توجه به زمان وقوع مراحل فنولوژیکی در این تحقیق، زمان توقف در فاز افزایش خطی شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۱۵ آذر و ۱ بهمن به ترتیب ۱۸۵ و ۱۴۱ روز پس از کاشت به وقوع پیوست. در حالی که وقوع شروع رسیدگی ($R7$) در این دو تاریخ کاشت به ترتیب ۱۸۰ و ۱۴۱ روز پس از کاشت بود. بنابراین استنباط می‌شود زمان توقف در افزایش خطی شاخص برداشت در بعد از $R7$ رخ دهد. سلطانی و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی بر روی گیاه نخود نیز تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت را به زمان توقف و فاز

نخود نیز مؤید این مسئله است. علت کوتاه شدن طول هر یک از مراحل فنولوژیکی حاصل رقابت ناشی از افزایش تراکم است. این نتایج، با گزارش کامل و همکاران (۱۹۷۸) بر روی نخود مطابقت دارد. با این حال المور (۱۹۹۱) در مطالعه بر روی سویا معتقد است که تراکم بوته تأثیر چندانی در مدت زمان لازم وقوع مراحل نمو ندارد.

در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی ماده خشک تجمعی دانه به صورت حاصل‌ضرب تولید ماده خشک تجمعی و شاخص برداشت برآورد می‌شود در این مدل‌ها شاخص برداشت با یک مقدار ثابت و به شکل خطی پس از آغاز دوره پر شدن دانه افزایش می‌یابد (سینکلر، ۱۹۸۶؛ رابرتسون و همکاران، ۲۰۰۱). در این روش نقش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ترکیب شده‌اند و برای پیش‌بینی عملکرد دانه نیازی به پیش‌بینی تعداد دانه و اندازه دانه نیست.

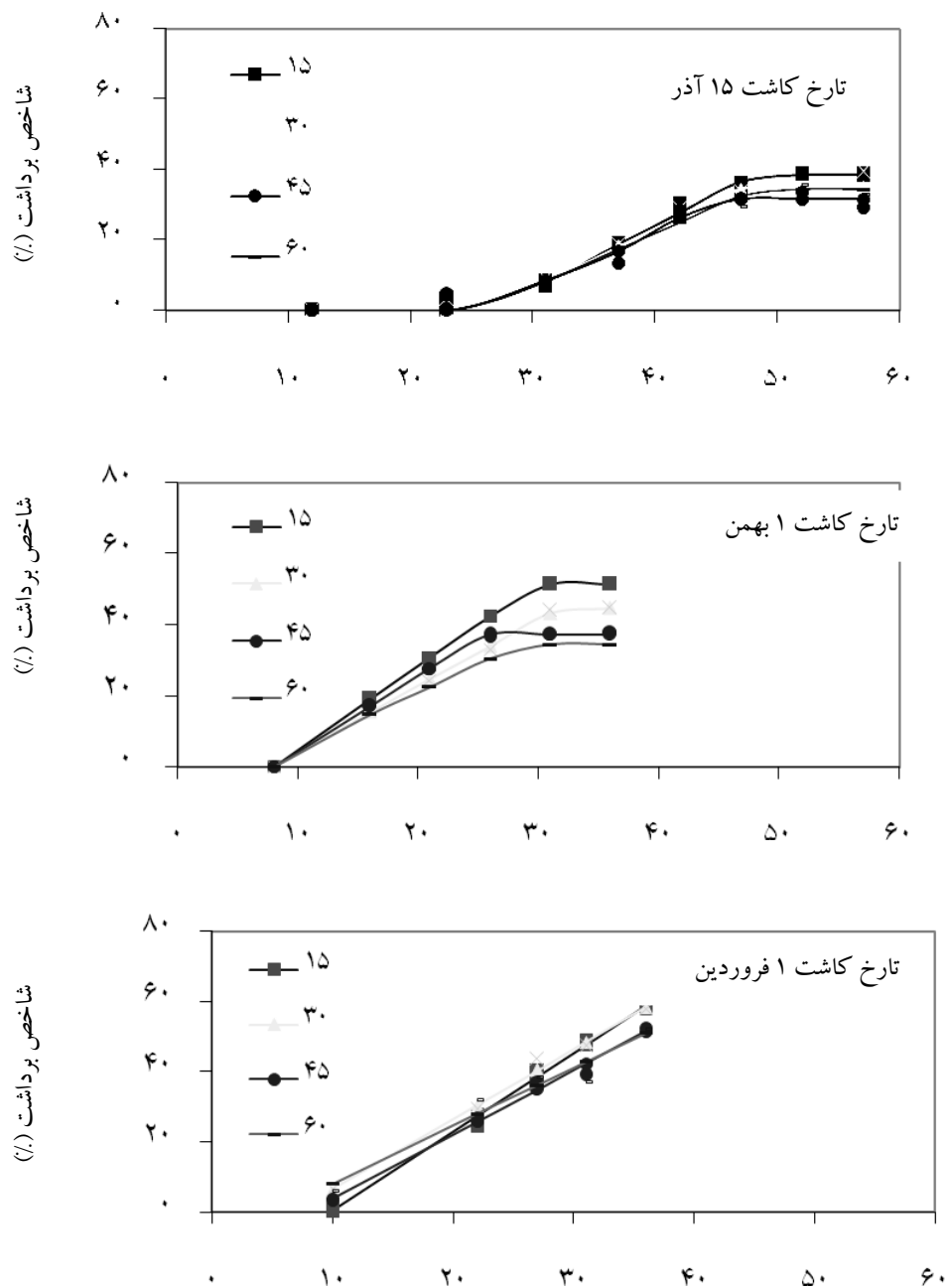
مؤلفه‌های معادله (۱) شامل شاخص برداشت (y)، b شیب معادله که نشانگر افزایش خطی در شاخص برداشت و برابر dHI/dt است و X_0 زمان توقف افزایش خطی در شاخص برداشت، هستند. سایر پارامترهایی که در این معادله به دست می‌آیند عبارت‌اند از a/b (دوره فاز تأخیری یعنی زمان شروع فاز خطی شاخص برداشت)، دوره فاز خطی افزایش شاخص برداشت که از تفاضل زمان توقف افزایش خطی شاخص برداشت (X_0) و زمان شروع فاز خطی $(-a/b)$ به دست می‌آید و حداکثر شاخص برداشت $(a+bx_0)$. لازم به توضیح است که در این تحقیق شاخص برداشت از نسبت ماده خشک غلاف به ماده خشک کل گیاه به دست آمد از نظر سرعت افزایش خطی شاخص برداشت بین تراکم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴ و شکل ۱). متوسط سرعت افزایش خطی شاخص برداشت در مقابل زمان در تاریخ‌های کاشت اول تا سوم به ترتیب ۱/۷۱، ۱/۹۹ و ۱/۹۹ درصد در هر روز بود. در تاریخ کاشت اول به دلیل شرایط دمایی و دوره طولانی، رشد رویشی بیشتری بوده است. سلطانی و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی خود روی گیاه نخود گزارش کردند که سرعت افزایش خطی در شاخص برداشت در مقابل زمان در دامنه‌ای از ۱/۳ تا ۲/۱۹ درصد در روز متغیر بوده است. آنها همچنین دریافته‌اند که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری روی سرعت افزایش خطی شاخص برداشت دارد، اما اختلافات بین تراکم‌ها معنی‌دار نبود. نامبردگان نشان دادند که سرعت افزایش خطی شاخص برداشت به متوسط دما از کاشت تا شروع رشد دانه و به مقدار رشد رویشی در قبل از پر شدن دانه وابسته است. بیندی و همکاران (۱۹۹۹) در آنالیز ۲۲ مورد مطالعه بر روی سورگوم بیان نمودند که با وجود ثبات و پایداری در

برداشت نشان دادند (جدول ۴ و شکل ۱) به نحوی که با افزایش تراکم یک روند نزولی در شاخص برداشت دیده شد. یافته‌های موجود نشان داده که در شرایط مناسب برای رشد رویشی حداکثر شاخص برداشت کاهش یافته است (۲۰۰۴).

افزایش خطی شاخص برداشت نشان دادند و متذکر شدند که با تأخیر در کاشت این زمان کوتاه‌تر می‌گردد. هال و همکاران (۱۹۸۵)، بنگ و همکاران (۱۹۹۸) و چاپمن (۱۹۹۳) در آفتابگردان گزارش نمودند که زمان حادث شدن شروع رسیدگی منطبق بر زمان توقف افزایش خطی شاخص برداشت بوده است. تراکم و تاریخ‌های کاشت مختلف اثر معنی‌داری روی شاخص

جدول ۴: ضرایب معادله توصیف کننده تغییرات شاخص برداشت در مقابل زمان پس از گلدهی. **n** تعداد مشاهدات، **b** سرعت افزایش خطی شاخص برداشت در مقابل زمان (**dHI/dt**، درصد در روز)، **-a/b**، زمان شروع فاز خطی افزایش شاخص برداشت (روز پس از گلدهی)، **x0**، زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت (روز پس از گلدهی)، **HI_{max}** شاخص برداشت نهایی (درصد)، **RMSE** جذر میانگین مربعات خطا و **R²** ضریب تبیین می‌باشد

R ₂	RMSE	HI _{max}	-a/b±se	x0±se	b±se	a±se	تیمار
تاریخ کاشت ۱۵ آذر							
۰/۹۹	۱/۹	۴۰/۴۰	۲۵/۸۱	۴۸/۲۶±۱/۳	۱/۸۰±۰/۱۶	-۴۶/۵±۶/۶۱	تراکم ۱۵
۰/۹۹	۲/۲	۳۵/۲۲	۲۵/۸۲	۴۷/۴۴±۱/۵	۱/۶۳±۰/۱۸	-۴۲/۱±۷/۳۰	تراکم ۳۰
۰/۹۹	۳/۰	۳۱/۵۹	۲۸/۱۲	۴۴/۷۵±۲/۱	۱/۹۰±۰/۳۸	-۵۳/۴±۱۴/۴۷	تراکم ۴۵
۰/۹۸	۴/۷	۳۴/۰۶	۲۵/۵۳	۴۸/۲۴±۳/۶	۱/۵۰±۰/۴۰	-۳۸/۳±۱۵/۹۳	تراکم ۶۰
تاریخ کاشت ۱ بهمن							
۰/۹۹	۱/۵	۵۱/۲۸	۷/۷۷	۲۹/۸۸±۱/۰	۲/۳۲±۰/۲۱	-۱۸/۰±۴/۶۴	تراکم ۱۵
۰/۹۹	۰/۹	۴۴/۵۱	۷/۶۹	۳۱/۷۶±۰/۷	۱/۸۵±۰/۰۹	-۱۴/۲±۲/۱۳	تراکم ۳۰
۰/۹۹	۰/۷	۳۷/۳۱	۸/۰۷	۲۵/۴۳±۰/۷	۲/۱۵±۰/۲۱	-۱۷/۴±۳/۹۰	تراکم ۴۵
۰/۹۹	۰/۹	۳۶/۹۸	۶/۲۲	۲۸/۶۴±۰/۸	۱/۶۵±۰/۱۳	-۱۰/۳±۲/۸۱	تراکم ۶۰
تاریخ کاشت ۱ فروردین							
۰/۹۹	۲/۲	-	۹/۳۶	-	۲/۲۵±۰/۱۱	-۲۲/۲±۳/۰۱	تراکم ۱۵
۰/۹۹	۲/۰۴	-	۶/۸۰	-	۱/۹۹±۰/۱۰	-۱۳/۵±۲/۷۱	تراکم ۳۰
۰/۹۸	۲/۳	-	۷/۹۵	-	۱/۸۳±۰/۱۲	-۱۴/۵±۳/۱۵	تراکم ۴۵
۰/۹۵	۴/۴	-	۵/۱۰	-	۱/۶۵±۰/۲۲	-۸/۴±۵/۹۳	تراکم ۶۰



روز پس از گلدهی

شکل ۱- روند تغییرات شاخص برداشت در مقابل زمان در تاریخ کاشت های ۱۵ آذر، ۱ بهمن و ۱ فروردین در تراکم‌های مختلف کاشت (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بوته در مترمربع).

نتیجه‌گیری

(dHI/dt) با تأخیر در کاشت افزایش یافت. زمان شروع افزایش خطی در شاخص برداشت (-a/b) در تراکم‌های مختلف تفاوتی نشان نداد ولی با تأخیر در کاشت این زمان به دلیل افزایش دما و در نتیجه تسریع در مراحل فنولوژیکی در دو تاریخ کاشت دوم و سوم کاهش یافت. زمان توقف افزایش خطی شاخص برداشت

تأخیر در کاشت و افزایش تراکم بوته سبب تسریع گذر از مراحل فنولوژیک شدند که دلیل آن را می‌توان در افزایش رقابت برای جذب عوامل محیطی با زیاد شدن تراکم و افزایش دما با تأخیر در کاشت ذکر کرد. سرعت افزایش خطی شاخص برداشت

علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار در تراکم‌های مختلف با
تأخیر در کاشت کاهش یافت. افزایش تراکم سبب افزایش حداکثر

منابع

- ترابی، ب. ۱۳۸۳، پیش بینی نمو فنولوژیک در گیاه نخود. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۲۱ صفحه. ۱۲۱ صفحه.
- زارعی، ه. ۱۳۸۴. پیش بینی تولید و توزیع ماده خشک در گیاه نخود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۸۶ صفحه.
- سرپرست، ر. ۱۳۸۱. بررسی و مقایسه محصول و تعیین درجه سازگاری ارقام نخود سفید در کشت پاییزه. مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان.
- سلطانی، ا. ۱۳۷۷. کاربرد نرم افزار SAS در تجزیه های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۶ صفحه.
- Bang, M.P., G.L. Hammer, and K.G. Rickert. 1998. Temperature and sowing date affect the linear increases of sunflower harvest index. *Agron. J.* 90:324-328.
- Bindi, M., T.R. Sinclair, and J. Harrison. 1999. Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. *Agron. J.* 39: 486-493.
- Chapman, S.C., G.L. Hammer, and J.A. Palta. 1993. Predicting leaf area development of sunflower. *Field Crop Res.* 34:101-112.
- Craufurd, P. Q., P. V. Vara Prasad, and R. J. Summerfield. 2002. Dry matter production and rate of change of harvest index at high temperature in peanut. *Crops Sci.* 42: 146-151.
- Elmor, W.E. 1991. Soybean cultivars response to planting rate and tillage. *Agron. J.* 82:8-32.
- FAO, 2003. Production Year Book, 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. <http://apps.fao.org>.
- Fehr, W.R., C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 80.
- Goudriaan, J., and H.H. Van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 238pp.
- Hall, A. J., C. A. Chiamanti., F. Vilella., and G. Freir., 1985. Timing of water stress effects on yield components in sunflower. P. 131-136. In Proc. Int. Sunflower Conf., 11th. Mar del Plata. Argentina. 10-13 Mar. 1985. Int. Sunflower Assoc. Paris, France.
- Kamel, M. C., E. A. Mahmoud, and M. Z. Hassan. 1978. Effect of plant density on growth attributes of two Egyptian chickpea varieties. *Res. Bulletin* 69.
- Kiniry, J. R., C. E. Simpson, A. M. Schubert and J. D. Reed. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and Harvest index at three sites in Texas. *Field Crops Res.* 91: 297-306.
- Moot, D. J., P. D. Jamieson., A. L. Henderson., M. A. Ford., and J. R. Porter. 1996. Rate of change in harvest index during grain-filling of wheat. *J. Agric. Sci. Camb.* 126: 387-395.
- Porter, J. R., P. D. Jamieson, and D. R. Wilson. 1993. Comparison of the wheat simulation models AFRCWHEAT2, CERES-WHEAT and SWHEAT for non limiting conditions of crop growth. *Field Crops Res.* 33: 131-157.
- Ritchie, J.T., U. Singh, D. C. Godwin, and W. T. Bowen. 1998. Cereal growth, development and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (EDS), Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 79-98.
- Robertson, M.J., P. S. Carberry, Y. S. Chauhan, R. Ranganathan, and G. J. O'Leary. 2001. Predicting growth and development of pigeonpea: a simulation model. *Field Crops Res.* 1:195-210.
- Sadras, V. O., M. P. Bange., and S. P. Milroy. 1997. Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors. *Ann. Bot.* 80: 75-81.
- Sinclair, T. R., and N. G. Seligman. 2000. Criteria for publishing papers on crop modeling. *Field Crops Res.* 68: 165-172.
- Sinclair, T.R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. Model development. *Field Crops Res.* 15, 125-141.
- Soltani, A., S. Galeshi, and M. R. Attarbashi. 2004. Comparison of two methods for estimating parameters of harvest index increase during seed growth. *Field Crops Res.* 89, 369-378.
- Spaeth, S.C., and T. R. Sinclair. 1985. Linear increase in soybean harvest index during seed filling. *Agron. J.* 77: 207-211.

Investigation of harvest index linear increase and related parameters in filling grain period of chickpea (*Cicer arietinum*)

J. Pourreza¹, A. Soltani², A. Bahrani³

Received: 2015-08-24 Accepted: 2015-12-15

Abstract

The linearity of harvest index (HI) increase has provided a simple means to analyse and predict seed growth and yield in experimental and simulation studies. The objective of this study was to investigate harvest index linear increase and related parameters in filling grain period of chickpea (*Cicer arietinum*) crops grown under well-watered conditions. A field experiment, with 3 sowing dates and 4 plant densities, was conducted in Gorgan during 2004-2005. Crop biomass and phenological stages were measured between emergence and maturity. Harvest index increased in seed filling period linearly. The effect of density on harvest index linear increase was not significant but there was a difference between sowing date. The time of beginning harvest index linear increase, decreased from 26 to 8 days from first sowing date to third one, but there was any difference in plant density. From obtained parameters in this research can use in chickpea growth simulation models.

Keywords: chickpea, harvest index, Simulation models, plant density, sowing date.

1- Department of Agriculture, Ramhormoz branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran.

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Department of Agriculture, Ramhormoz branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran.