ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد دو رقم تجاری نیشکر در تراکم‌های مختلف و استفاده از مدل‌های سیگموئیدی

علیرضا عزیزی[۱]، حبیب اله روشنفکر[۲*]، پیمان حسیبی[۳] و حسین نوروزی[۴]

۱، ۲ و۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴) گروه تحقیقات به زراعی موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان، اهواز، ایران.

نویسنده مسئول*: h.roshanfekr@scu.ac.ir

این مقاله برگرفته از رسالۀ دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

چکیده

تراکم ساقه یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در کشت نیشکر است که بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد اثر مستقیم دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی اثر چهار سطح تراکم ساقه (۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ ساقه در متر مربع) بر هفت شاخص فیزیولوژیکی رشد شامل شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، دوام سطح برگ، نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ و سطح ویژه برگ، در دو رقم تجاری CP69-1062 و CP48-103 انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر اهواز (جنوب استان خوزستان) اجرا گردید. نتایج نشان داد که تراکم ۲۲ ساقه بهترین شرایط را برای سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، نسبت سطح برگ و سطح ویژه برگ فراهم کرد، در حالی که تراکم ۲۸ ساقه به بیشترین مقادیر شاخص سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ منجر شد. مقایسه ارقام نشان داد که CP69-1062 پایداری بیشتری داشت، اما CP48-103 حساسیت شدیدتری به افزایش تراکم نشان داد. در تراکم‌های بالاتر از ۲۶ ساقه افت شدید شاخص‌های فیزیولوژیکی (به جز شاخص سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ) مشاهده شد. مدل‌سازی رشد با استفاده از سه مدل سیگموئیدی (لجستیک، گامپرتز و ریچاردز) نشان داد که مدل لجستیک در ارزیابی کلی هفت شاخص بهترین برازش را داشت، اما مدل ریچاردز با داشتن پارامتر شکل انعطاف‌پذیر (d) برای سرعت جذب خالص، نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ که الگوی نامتقارن دارند، دقت بالاتری ارائه کرد. پارامترهای مدل‌ها (x_0، a، b، d) الگوی تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی تحت تراکم‌های مختلف را کمی‌سازی کردند. تراکم ۲۴-۲۲ ساقه برای CP69-1062 و ۲۶-۲۲ ساقه برای CP48-103 با استفاده از مدل‌های لجستیک و ریچاردز توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل لجستیک، ریچاردز، رقابت درون‌گونه‌ای و رگرسیون غیر خطی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

مقدمه

نیشکر (*Saccharum officinarum*) یکی از محصولات اقتصادی و استراتژیک مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است که علاوه بر تولید شکر، در صنایع تولید اتانول، زیست‌توده و فرآورده‌های جانبی نقش مهمی ایفا می‌کند (Singh *et al*., 2023). تغییر تراکم می‌تواند شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد از جمله شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نرخ جذب خالص، دوام سطح برگ، نسبت وزن برگ، نسبت سطح برگ و سطح ویژه برگ را تحت تأثیر قرار دهد (Zhao *et al*., 2022). مطالعه‌ها نشان داده‌اند که افزایش تراکم می‌تواند در مراحل اولیه رشد شاخص سطح برگ را افزایش دهد، اما ممکن است به دلیل رقابت شدید، سرعت جذب خالص و کارایی فتوسنتزی در مراحل بعدی کاهش یابد (Ferreira Junior *et al*., 2014). اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای شاخص‌های رشد قادر به توصیف الگوهای پویای تجمع زیست‌توده در طول فصل نیستند، از این رو استفاده از مدل‌های غیرخطی برای تحلیل روندهای رشد ضروری است (Chien *et al*., 2016). مدل‌های رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی با تعداد محدودی پارامتر، منحنی کامل رشد را برازش کرده و نقاط عطف، حداکثر سرعت رشد و بازه زمانی فازهای رشدی را تخمین بزنند (Archontoulis & Miguez, 2015). این مدل‌ها به ویژه برای مقایسه تیمارها (مانند تراکم‌های مختلف) مفید هستند، زیرا پارامترهای برآوردی قابل تفسیر فیزیولوژیکی و مقایسه آماری هستند (Paine *et al*., 2012). الگوی تغییرات این شاخص‌ها در طول فصل رشد معمولاً به صورت سیگموئیدی مشاهده می‌شود و سه مرحله مشخص را شامل می‌شود، به گونه‌ای که در مرحله ابتدایی رشد کندتر، در مرحله میانی رشد سریع‌تر، و در مرحله نهایی رشد به ثبات یا بلوغ قرار می‌گیرد (Chien *et al*., 2016). مدل لجستیک (Verhulst, 1838) با فرض تقارن در نقطه عطف، برای توصیف رشد صفاتی که الگوی یکنواخت دارند مدل گامپرتز (Gompertz, 1825) به دلیل نامتقارنی ذاتی، توانایی بهتری در توصیف رشد سریع اولیه صفاتی مانند LAI دارد که در مراحل اولیه با شیب تند افزایش می‌یابند و سپس سیر کاهشی می‌گیرند (Paine *et al*., 2012). مدل ریچاردز (Richards, 1959) با افزودن پارامتر شکل، انعطاف‌پذیری بیشتری فراهم می‌کند (Archontoulis & Miguez, 2015). مطالعه‌های قبلی در نیشکر نشان داده‌اند که مدل گامپرتز برای شاخص سطح برگ، (Inman-Bamber, 1994) و مدل لجستیک برای ماده خشک ساقه (Singels *et al*., 2005) برازش بهتری دارند (Silva *et al*., 2014). هدف این پژوهش ارزیابی اثر چهار سطح تراکم ساقه (۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ ساقه در متر مربع) بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد دو رقم تجاری نیشکر در شرایط اقلیمی خوزستان و مقایسه عملکرد سه مدل سیگموئیدی (لجستیک، ۱۸۳۸؛ گامپرتز، ۱۸۲۵؛ ریچاردز، ۱۹۵۹) در توصیف منحنی‌های رشد این شاخص‌ها است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد نیشکر در واکنش به تراکم‌های مختلف ساقه در دو رقم تجاری CP48- 103 و CP69-1062، با استفاده از سه مدل رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی، در شرایط اقلیمی استان خوزستان طی سال زراعی ۰۴–۱۴۰۳ اجرا شد. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر (جنوب استان خوزستان) انجام گرفت. دو رقم نیشکر به عنوان فاکتور اصلی (کرت اصلی) و چهار سطح تراکم ساقه شامل ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ ساقه در متر مربع به عنوان فاکتور فرعی (کرت فرعی) در نظر گرفته شدند. سن مزرعه از نوع پلنت[1] (مزرعه تازه‌کشت) بود. نمونه‌برداری‌ها جهت اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد از ۱۵ مرداد ۱۴۰۳ آغاز و به فواصل ۱۵ روزه تا ۱۴ آبان ۱۴۰۳ در هفت مرحله انجام شد. در هر نمونه‌برداری، سطحی معادل یک متر مربع (۵۴ سانتی‌متر طول × ۱۸۳ سانتی‌متر عرض) بر روی پشته مزرعه برداشت گردید.

محاسبه سطح برگ

رابطه ۱:

$$LA = 0.7 \times LL \times LW \times N \times S$$

برای محاسبه سطح برگ از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه، ضریب تصحیح ۰/۷ می‌باشد و طول برگ (LL) و بیشترین عرض برگ (LW) بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. مساحت سطح برگ (LA) بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد؛ همچنین میانگین تعداد برگ در هر ساقه (N) و تعداد ساقه در واحد سطح (S) تعیین گردید (Bush et al., 2016).

مدل‌های رشد

سه مدل رگرسیونی غیرخطی سیگموئیدی شامل مدل لجستیک[2] ، گامپرتز[3] (سه پارامتری) و ریچاردز[4] (چهار پارامتری) استفاده شد. از ترکیب جبری توابع تحلیلی مدل‌های برازش ۱، ۲ و ۳ شده بدست آمدند (van der Werf *et al.*, 2023).

مدل ۱:

$$y = \frac{a}{1+\exp[-b\times(x-xo)]}$$

مدل ۲ :

$$y = a \times \exp\{-\exp \times [-b \times (x - xo)]\}$$

مدل ۳ :

$$y = c + \frac{a}{1+\exp[-a\times(s-b)]^{\wedge}d}$$

1. Plant crop
2. Logistic
3. Gompertz
4. Richards

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

در معادلات رشد سیگموئیدی، نماد y بیانگر مقدار پیش بینی شاخص مورد مطالعه بر حسب تعداد ساقه‌ها است. پارامتر a حد نهایی رشد را نشان می‌دهد و بیانگر مقدار نهایی شاخص. پارامتر x به عنوان زمان، پارامتر b به عنوان پارامتر شکل، وضعیت اولیه رشد را نشان می دهد. پارامتر x_0 زمان نقطه عطف منحنی را نشان می‌دهد. پارامتر d عدم‌تقارن منحنی است که توزیع رشد را پیش و پس از نقطه عطف تنظیم کرده و بیانگر درجه انحراف منحنی از حالت لجستیک متقارن می‌باشد.

شاخص‌های ارزیابی برازش مدل‌ها

برای ارزیابی برازش مدل‌ها از شاخص‌های میانگین مربعات ریشه خطا *(*RMSE*)* و ضریب تبین تعدیل شده (R^2adj) رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده گردید.

رابطه ۲:
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\Sigma^{n}_{i=1}(P_i - O_i)^2}{n}}$$

رابطه ۳:
$$R^2\mathrm{adj} = 1 - \frac{\Sigma(O_i - P_i)^2/(n-q)}{\Sigma(O_i - \bar{O})^2/(n-1)}$$

O_i = مقادیر مشاهده شده، P_i = مقادیر پیش‌بینی شده، $\bar{O}$ = میانگین مقادیر مشاهده شده، n = تعداد نمونه‌ها، q = تعداد پارامترهای مدل، میانگین مربعات ریشه خطا (RMSE) کوچک‌تر به مفهوم شاخص نیکویی برازش مدل‌ها است و ضریب تبین تعدیل شده (R^2adj) توصیفی از قابلیت پیش بینی مدل را ارائه می‌کند. نزدیک‌تر به یک نیز نشانگر برازش بهتر مدل به داده‌ها می‌باشد. برای انتخاب بهترین مدل از شاخص آیکائیک (AIC) رابطه ۴ استفاده شد.

رابطه ۴:
$$AIC = n \times In(\frac{RSS}{n}) + 2K$$

k تعداد پارامترهای مدل و RSS مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. در مدل‌ها هر کدام که مقدار AIC کمتری داشته باشند به عنوان مدل بهتر انتخاب می‌شوند. در آزمایشاتی که نمونه‌ها (n) کوچک است، از شاخص آکائیک تصحیح شده (AICc) استفاده می‌شود. در رابطه ۵، n تعداد نقاط نمونه‌گیری است. عدد آکائیک کوچک‌تر یا منفی‌تر باشد، مدل مناسب‌تر است.

رابطه ۵:
$$AICc = AIC + \frac{2K(K+1)}{n-k-1}$$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

محاسبه شاخص‌های رشد از مشتقات و انتگرال‌های تحلیلی و تجریه واریانس

شاخص‌های رشد فیزیولوژیک بر اساس روابط تحلیلی گزارش‌شده توسط van der Werf و همکاران (۲۰۲۳) محاسبه شدند. سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص از روابط مشتقی و دوام سطح برگ از رابطه انتگرالی مدل‌های رشد به‌دست آمد. شاخص‌های سطح برگ، نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ و سطح ویژه برگ به‌صورت تابعی از زمان محاسبه شدند.

رابطه ۶:

$$\mathrm{LAI}(t) = \frac{LA(t)}{GA(t)}$$

در این رابطه، LA(t) سطح برگ بر حسب (سانتی مترمربع) و GA(t) سطح زمین نیز بر حسب (سانتی مترمربع) بودند. برای تجزیه واریانس از رابطه ۷ استفاده شد (Da Silva et al., 2017).

رابطه ۷:

$$\mathrm{LAI} = \frac{\mathrm{LA}}{\mathrm{GA}}$$

CGR از مشتق اول مدل برازش شده به DW نسبت به زمان به دست آمد :

رابطه ۸:

$$\mathrm{CGR(t)} = \frac{\mathrm{d[DW(t)]}}{\mathrm{dt}}$$

برای مدل لجستیک، مشتق تحلیلی سرعت رشد محصول به صورت زیر محاسبه می‌شد :

رابطه ۹:

$$\mathrm{CGR(t)} = \frac{A \times K \times eXP[-K(t-tm)]}{1+exp[-k(t-tm)]}$$

برای مدل گامپرتز :

رابطه ۱۰:

$$\mathrm{CGR(t)=A \times k \times exp\{-exp[-k(t-tm)]\} \times exp[-k(t-tm)]}$$

برای مدل ریچاردز :

رابطه ۱۱:

$$\mathrm{CGR(t) = (A * K * exp[-K(t-tm)]) / (1 + c * exp[-K(t-tm)])^{(1 + 1/c)}}$$

در این رابطه، زمان نمونه‌برداری (۱۵ روز) با نماد dt، وزن خشک گیاه در زمان t با نماد DW (t) و سرعت رشد محصول در زمان با نماد CGR(t) نمایش داده شد. برای تجزیه واریانس سرعت رشد محصول بر اساس از رابطه ۱۲ محاسبه شد (Moniruzzaman *et al*., 2020).

رابطه ۱۲:

$$\mathrm{CGR} = \mathrm{W2} - \frac{\mathrm{W1}}{\mathrm{T2}} - \mathrm{T1}$$

رابطه ۱۳:

$$\mathrm{NAR(t)} = \frac{\mathrm{CGR(t)}}{\mathrm{LAI(t)}}$$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

NAR(t) از رابطه تابعی مشتق‌گرفته شده رشد مشتق شده، اما در عمل از نسبت سرعت رشد محصول به شاخص سطح برگ محاسبه شد. برای تجزیه واریانس NAR از رابطه رابطه ۱۴ محاسبه شد (Moniruzzaman *et al*., 2020).

رابطه ۱۴: $\mathrm{NAR} = \frac{\mathrm{CGR}}{\mathrm{LAI}}$

رابطه ۱۵: $\mathrm{LAD} = \int_{t1}^{t2} LAI(t)dt$

LAD از رابطه انتگرالی شاخص LAI (t) دربازه زمانی بین t_1 و t_2 به دست آمد و بیانگر میزان پایداری سطح برگ طی فصل رشد بود. برای تجزیه واریانس دوام سطح برگ (LAD) بر اساس از رابطه ۱۶ محاسبه شد (*et al*., 2022 Ahmad).

رابطه ۱۶: $\mathrm{LAD} = (\mathrm{LAI1} + \mathrm{LAI2})(\mathrm{T2} - \mathrm{T1})$

رابطه ۱۷: $LAR(t) = \frac{LA(t)}{DW(t)}$

در این رابطه، LA(t) سطح برگ برحسب (سانتی‌متر) و DW(t) وزن خشک کل گیاه بر حسب (گرم) بودند؛ واحد LAR(t) به (سانتی‌متر مربع بر گرم) بیان گردید. برای تجزیه واریانس، نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از رابطه ۱۸ دست آمد (Moniruzzaman *et al*., 2020).

رابطه ۱۸: $(20\mathrm{LAR} = \mathrm{SLA} \times \mathrm{LWR})$

رابطه ۱۹: $\mathrm{LWR(t)} = \frac{WL(t)}{WT(t)}$

در این رابطه، WL (t) وزن خشک برگ و WT(t) وزن خشک کل گیاه هر دو بر حسب (گرم) بودند، بنابراین، واحد LWR(t) به (گرم بر گرم) بیان گردید. برای تجزیه واریانس، نسبت وزن برگ (LWR) با استفاده از رابطه ۲۰ به دست آمد (Moniruzzaman *et al*., 2020).

رابطه ۲۰: $\mathrm{LWR} = \mathrm{LDW/TDW}$

رابطه ۲۱ : $\mathrm{SLA(t)} = \frac{LA(t)}{WL(t)}$

در این رابطه، LA(t) سطح برگ بر حسب (متر) و WL(t) وزن خشک برگ بر حسب (گرم) بودند، واحد SLA (t) به صورت (سانتی مترمربع بر گرم) بیان شد. برای تجزیه واریانس، سطح برگ ویژه (SLA) با استفاده از رابطه ۲۲ تعیین شد (چعب و همگاران ۱۳۹۰).

رابطه ۲۲: $\mathrm{SLA} = \mathrm{LA/LAD}$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

در نهایت، داده‌های حاصل به منظور برازش مدل‌های رشد (لجستیک، گامپرتز و ریچاردز) و ارزیابی آماری آنها از نرم‌افزار Sigma Plot نسخه ۱۵ استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه واریانس انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

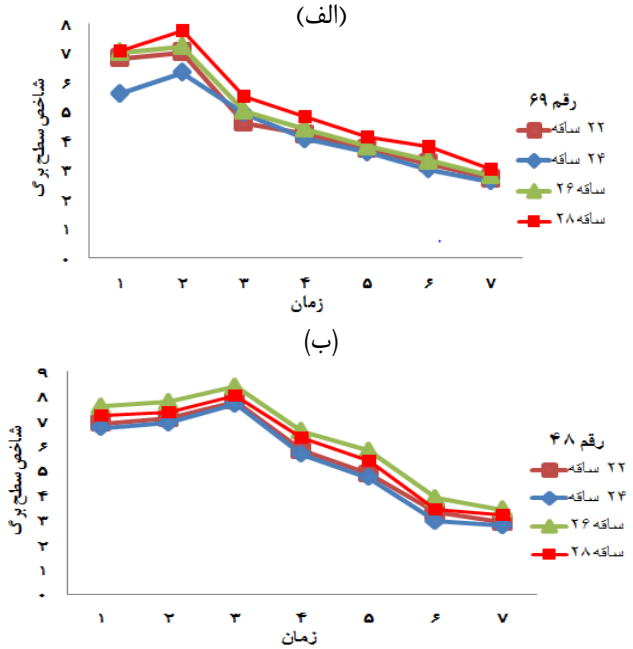
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

برازش مدل لجستیک نشان داد که هر دو رقم بهترین انطباق را با این مدل داشتند و در تراکم‌های بالاتر، بیشترین (b) را نشان دادند. در پاسخ به افزایش تراکم ساقه از نظر رسیدن به (a) و (x0) رفتار متفاوتی داشتند (جدول‌های ۵ و ۶). در رقم CP69-1062، با افزایش تراکم از ۲۲ به ۲۸ ساقه، پارامتر a حداکثر (شاخص سطح برگ) افزایش می‌یابد که نشان دهنده سازگاری بالای این رقم با تراکم‌های بالا است. در مقابل، رقم CP48-103، حداکثر شاخص سطح برگ آن در تراکم ۲۶ ساقه به حداکثر رسید و سپس در تراکم ۲۸ ساقه کاهش یافت. این روند نشان می‌دهد که تراکم بالاتر از ۲۶ ساقه در CP48-103 که نشان‌دهنده محدودیت فتوسنتزی در تراکم‌های بیش از حد بهینه است. این اختلاف با بررسی پارامتر x_0 تشدید می‌یابد در حالی‌که CP69-1062 کاهش نسبتاً متعادلی در x_0 تجربه می‌کند، CP48-103 در بالاترین تراکم (۲۸ ساقه) شدیدترین افت (رسیدن سریع‌تر به حداکثر سرعت رشد) را نشان می‌دهد که موید حساسیت بالای این رقم به رقابت تراکم است. پارامتر شکل ($d\approx1$) در مدل ریچاردز، برتری و مدل لجستیک را به‌عنوان گزینه‌ای کارآمد (بهینه از نظر تعداد پارامتر) برای شاخص سطح برگ هر دو رقم تأیید کرد. یافته‌های حاضر با نتایج Rao و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد و نیز تحلیل غیرخطی الگوهای رشد و تراکم در نیشکر با نتایج Li و همکاران (۲۰۲۳) هم‌خوانی دارد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم در سطح احتمال ۰/۰۵، تراکم و اثر متقابل رقم × تراکم بر شاخص سطح برگ (شاخص سطح برگ) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). این برهم‌کنش نشان می‌دهد که تعیین تراکم بهینه برای هر رقم، به‌منظور دستیابی به حداکثر کارایی فتوسنتزی و بهبود عملکرد، ضروری است. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان داد که با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ در رقم CP69-1062 افزایش یافت و بیشترین مقدار در تراکم ۲۸ ساقه در مترمربع به‌دست آمد؛ در حالی‌که در رقم CP48-103 بیشترین مقدار در تراکم ۲۶ ساقه در مترمربع مشاهده شد و در تراکم ۲۸ کاهش معنی‌داری داشت که با نتایج Singh و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد. حداکثر شاخص سطح برگ برای رقم CP48-103در تراکم ۲۶ ساقه در تاریخ ۱۴ شهریور، و برای رقم CP69-1062 نیز در تراکم ۲۸ ساقه در تاریخ ۳۰ مرداد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

مشاهده شد (شکل ۱- الف و ب). این تفاوت رفتار رشدی نشان می‌دهد رقم CP69-1062 سازگاری بیشتری با تراکم‌های بالا دارد، اما رقم CP48-103 نسبت به افزایش تراکم حساس‌تر است.



شکل ۱ : تغییرات شاخص سطح برگ نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).

محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

ارزیابی مدل‌ها

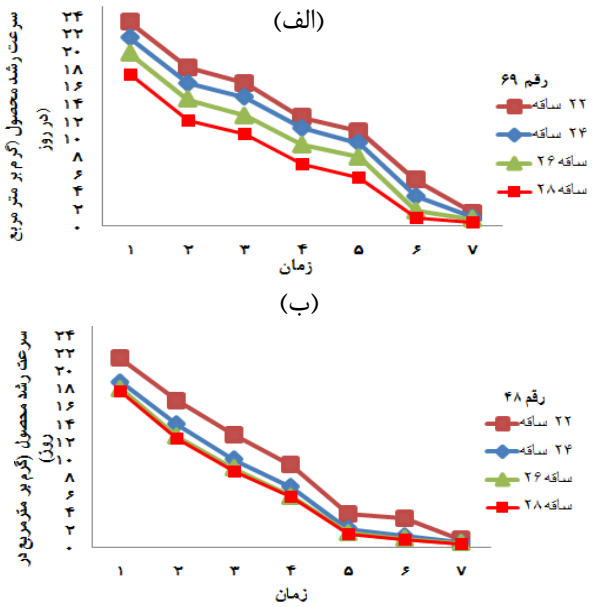
نتایج جدول‌های ۱ و ۲ نشان داد در هر دو رقم، مدل لجستیک در تمامی هفت شاخص فیزیولوژیکی و چهار تراکم ساقه بهترین عملکرد را نشان داد و با کمترین مقادیر آیکائیک و میانگین مربعات ریشه خطا و بیشترین ضریب تبیین تعدیل‌شده، به‌عنوان مدل برتر شناسایی شد. در رقم CP69-1062، بهترین برازش مربوط به شاخص سطح برگ و نسبت وزن برگ بود، در حالی‌که سرعت رشد محصول و سطح ویژه برگ ضعیف‌ترین برازش را داشتند. در رقم CP48-103 نیز نسبت وزن برگ و شاخص سطح برگ بهترین و سطح ویژه برگ و سرعت رشد محصول ضعیف‌ترین برازش را نشان دادند. در هر دو رقم، تراکم ۲۲ ساقه در متر مربع در اغلب شاخص‌ها بیشترین دقت برازش را داشت، در حالی‌که افزایش تراکم به ۲۸ ساقه موجب کاهش کیفیت برازش شد. همچنین، مدل گامپرتز پس از لجستیک در رتبه دوم قرار گرفت و مدل ریچاردز در رتبه سوم قرار گرفت.

سرعت رشد محصول

برازش مدل لجستیک برای شاخص سرعت رشد محصول در دو رقم CP48-103 و CP69-1062 نشان داد که هر دو با کمترین خطای استاندارد از این مدل پیروی می‌کنند. در هر دو رقم پارامتر a در تراکم ۲۲ ساقه به تراکم ۲۸ کاهش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

یافت (جدول‌های ۶ و ۵). افزایش تراکم موجب کاهش تدریجی سرعت رشد محصول در هر دو رقم شد و بیش‌ترین مقدار در تراکم ۲۲ ساقه در مترمربع به دست آمد. افزایش پارامتر b با تراکم، بیانگر رسیدن سریع‌تر گیاه به اوج رشد بود. پارامتر xo در رقم CP69-1062 کاهش ملایم و در CP48-103 کاهش شدیدتری نشان داد. مقدار (d≈1) در هر دو رقم، کارایی مدل لجستیک را نسبت به گامپرتز و ریچاردز تأیید نمود. تراکم ۲۲ ساقه در مترمربع به عنوان سطح بهینه برای بیش‌ترین سرعت رشد محصول تعیین شد. رقم CP69-1062 به دلیل پایداری رشد در تراکم‌های بالا کاراتر شناخته شد. این نتایج با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم، تراکم و اثر متقابل رقم × تراکم بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. این یافته بیانگر تفاوت‌های ژنتیکی ارقام و همچنین تغییرات فیزیولوژیک ناشی از افزایش تراکم است. بر اساس مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴، در رقم CP69-1062 افزایش تراکم ساقه از ۲۲ به ۲۸ ساقه در مترمربع موجب کاهش تدریجی سرعت رشد محصول گردید، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار سرعت رشد محصول در تراکم ۲۲ ساقه به دست آمد. در تراکم‌های بالا، کاهش نفوذ نور به درون سایه‌انداز، افت سرعت فتوسنتز برگ‌های پایینی می‌گردد این روند نزولی با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. حداکثر سرعت رشد محصول برای رقم CP48-103 در تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد، و برای رقم CP69-1062 نیز در تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد مشاهده شد (شکل ۲- الف و ب).



شکل ۲ : تغییرات سرعت رشد محصول نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).

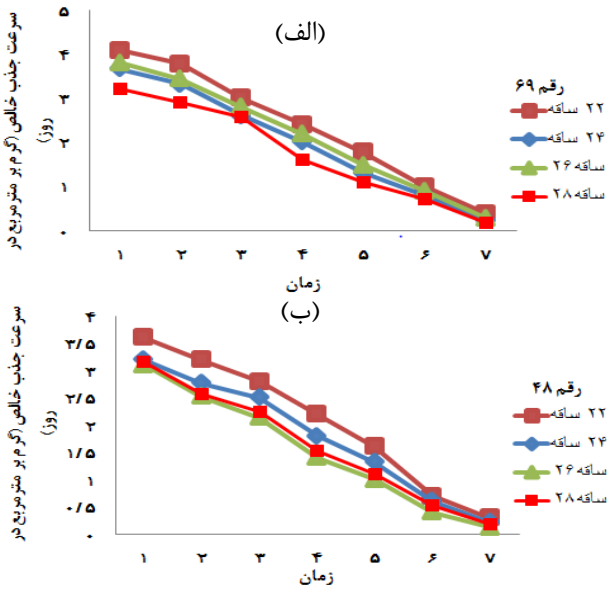
محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

سرعت جذب خالص

برازش مدل ریچاردز برای سرعت جذب خالص نشان داد که داده‌ها تطابق بهتری با این مدل نسبت به مدل‌های گامپرتز و لجستیک دارند و هر دو رقم با کمترین خطای استاندارد از مدل ریچاردز پیروی کردند. در هر دو رقم، پارامتر a در تراکم ۲۲ ساقه به در تراکم ۲۸ کاهش یافت (جدول‌های ۶ و ۵). این روند کاهشی بیانگر افت تدریجی پتانسیل جذب خالص برگ‌ها با افزایش تراکم است. پارامتر b در هر دو رقم با افزایش تراکم، افزایش نشان داد که بیانگر شروع کندتر روند جذب خالص در تراکم‌های بالا است. مقدار x_0 در رقم CP69-1062 کاهش ملایمی داشت، اما در CP48-103 افت محسوسی نشان داد و حساسیت بیشتر آن را به تراکم داشت. پارامتر d در رقم CP69-1062 در تراکم‌های متوسط اندکی بیشتر از ۱ بود که بیانگر عدم تقارن مثبت و کاهش سریع‌تر سرعت جذب خالص پس از رسیدن به حداکثر رشد است، در حالی که رقم CP48-103 مقادیر d کمتر از ۱ می‌باشد و نشان دهنده تقارن بیشتر بود. رقم CP48-103 به سبب جذب خالص پایدارتر برگ‌ها در تراکم‌های متوسط، کارایی نسبی بالاتری نسبت به CP69-1062 داشت. این نتایج با یافته‌های Silva و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم و تراکم در سطح احتمال ۰/۰۵ و اثر متقابل رقم × تراکم بر سرعت جذب خالص در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت‌های ژنتیکی ارقام و برهم‌کنش آن‌ها با تراکم ساقه، نقش مهمی در تغییرات سرعت جذب خالص داشته است. بر اساس مقایسه میانگین‌ها مطابق جدول ۴، در رقم CP69-1062 افزایش تراکم ساقه از ۲۲ به ۲۸ ساقه در مترمربع موجب کاهش تدریجی سرعت جذب خالص گردید؛ به طوری که بیش‌ترین مقدار در تراکم ۲۲ و کمترین مقدار در تراکم ۲۸ به‌دست آمد. در تراکم‌های بالاتر کاهش نفوذ نور به درون سایه انداز، باعث افت فعالیت فتوسنتزی برگ‌های پایینی و کاهش سرعت جذب خالص می‌شود. در رقم CP48-103 نیز الگوی مشابهی مشاهده گردید. بیش‌ترین مقدار سرعت جذب خالص در رقم CP48-103 با تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد و در رقم CP69-1062 با تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد ثبت نمود (شکل ۳- الف و ب).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]



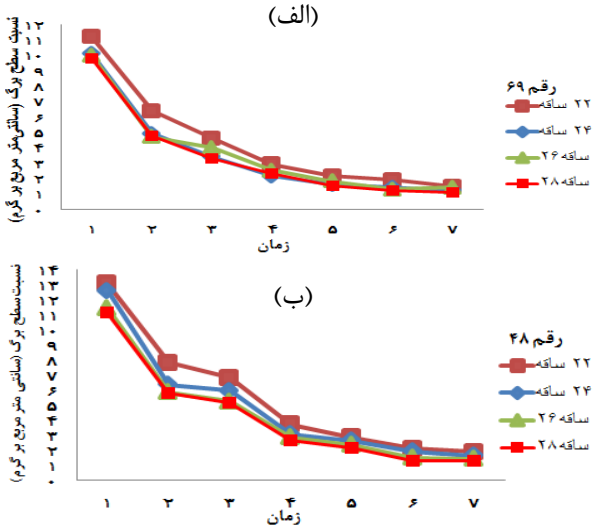
شکل ۳: تغییرات سرعت جذب خالص نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).
محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳

نسبت سطح برگ

برازش مدل ریچاردز برای نسبت سطح برگ در هر دو رقم نشان داد که عملکرد آن در برازش بهتر از مدل‌های لجستیک و گامپرتز است. در هر دو رقم، پارامتر a در تراکم ۲۲ ساقه به در تراکم ۲۸ کاهش یافت که بیانگر کاهش معنی‌دار ظرفیت توسعه سطح برگ در تراکم‌های بالا است (جدول‌های ۵ و ۶). پارامتر b در هر دو رقم با افزایش تراکم اندکی افزایش یافت و نشان داد که رشد اولیه سطح برگ در تراکم‌های بالا با سرعت کمتری آغاز می‌شود. مقدار xo در رقم CP69-1062 کاهش ملایمی داشت، درحالی‌که در رقم CP48-103 کاهش بیشتری نشان داد که بیانگر وقوع زودتر نقطه اوج نسبت سطح برگ در این رقم است. پارامتر d در رقم CP69-1062 نزدیک به ۱ بود، اما در رقم CP48-103 اندکی بیش از ۱ بود که تقارن بیشتر و انعطاف‌پذیری بالاتر منحنی رشد را در رقم دوم نشان می‌دهد. مدل ریچاردز با دقت بالا توانست تغییرات نسبت سطح برگ را در واکنش به تراکم بین دو رقم توصیف کند، که این یافته‌ها با گزارش Nguyen و همکاران (۲۰۲۱) هم‌خوانی دارد. حداکثر نسبت سطح برگ برای رقم CP48-103 در تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد و برای رقم CP69-1062 نیز در تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد مشاهده شد (شکل ۴- الف و ب). نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم، تراکم و اثر متقابل رقم × تراکم بر نسبت سطح برگ در سطح ۱٪ معنی‌دار است. تفاوت‌های ژنتیکی و رقابت شدید برای منابع در تراکم‌های بالا، موجب تغییرات معنی‌دار در توسعه و انعطاف‌پذیری سطح برگ ارقام شد. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان داد با افزایش تراکم از ۲۲ به ۲۸ ساقه در متر مربع، نسبت سطح برگ در هر دو رقم کاهش یافت، اما شدت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

این کاهش در رقم CP48-103 بیشتر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که رقم CP48-103 نسبت به سایه‌اندازی حساس‌تر است، در حالی که رقم CP69-1062 در تراکم‌های بالا، حفظ سطح برگ عملکرد بهتری نشان داد. این نتایج با یافته‌های Silva و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. بیش‌ترین مقدار نسبت سطح برگ در رقم CP48-103 با تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد و در رقم CP69-1062 با تراکم ۲۲ ساقه نیز در تاریخ ۱۵ مرداد ثبت نمود (شکل ۴- الف و ب).



شکل ۴: تغییرات نسبت سطح برگ نیشکر در تراکم‌ها در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).

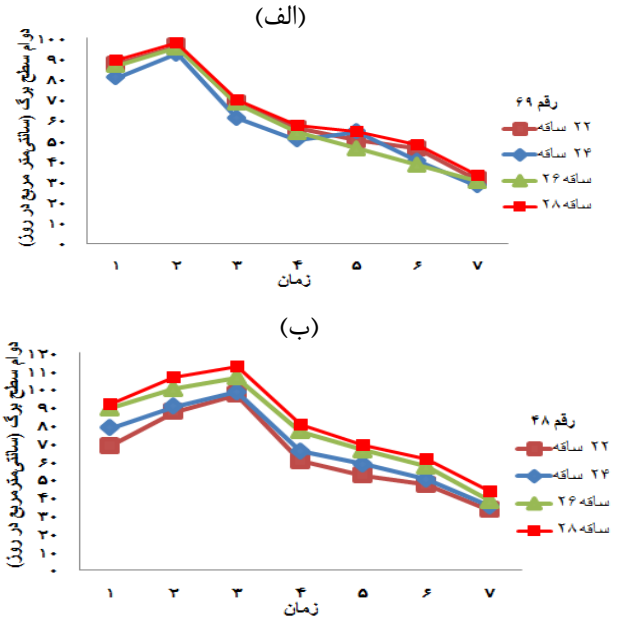
محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

دوام سطح برگ

برازش مدل‌های رشد براین شاخص برای دو رقم نشان داد که مدل ریچاردز با کمترین خطای استاندارد (SE) در هر دو ژنوتیپ داشت (جدول‌های ۵ و ۶). در هر دو رقم، با افزایش تراکم کاشت، پارامتر a ، دوام سطح برگ روند افزایشی را نشان داد، که بیانگر گسترش مؤثر سطح برگ است. پارامتر xo نشان داد که دوام سطح برگ در رقم CP69-1062 نسبت به CP48-103 کاهش بیشتری داشت که بیانگر واکنش سریع‌تر این رقم به تراکم بالا و تسریع در مراحل رشد است. بر اساس برازش مدل ریچاردز، هر دو رقم نیشکر با افزایش تراکم، روند افزایشی منظم در پارامتر b نشان دادند که بیانگر شتاب گرفتن رشد اولیه دوام سطح برگ است. پارامتر d در هر دو رقم تأییدکننده شکل منحنی رشد برگ است. مدل‌های گامپرتز (در تراکم‌های پایین) و لجستیک (در تراکم‌های متوسط) نیز تغییرات را تبیین کردند، اما مدل ریچاردز به دلیل پایداری، برترین مدل شناخته شد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم بر دوام سطح برگ غیرمعنی‌دار بود، در حالی که اثر اصلی تراکم (در سطح ۵٪) و اثر متقابل رقم × تراکم بر دوام سطح برگ معنی‌دار گزارش شد. این

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

امر نشان‌دهنده شباهت الگوی تغییر سطح برگ در دو رقم و تأثیر غالب تراکم ساقه بر تغییرات دوام سطح برگ نسبت به تفاوت ژنتیکی ارقام است (جدول ۳).



شکل ۵: تغییرات دوام سطح برگ نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).

محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

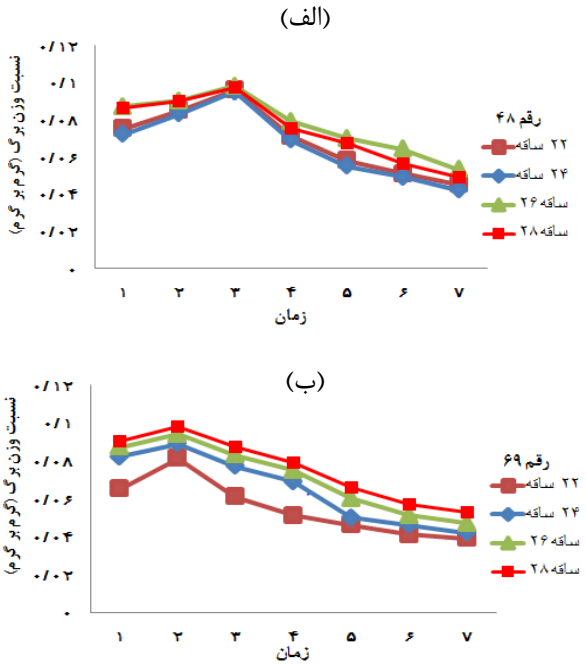
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش تراکم، دوام سطح برگ در هر دو رقم افزایش یافت، اما رقم CP48-103 واکنش پایدارتر و سازگارتری در تراکم‌های بالا نشان داد، در حالی که رقم CP69-1062 پاسخ پیچیده‌تر و نوسان بیشتری به تغییرات تراکم داشت. که این یافته‌ها با گزارش Wang و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی دارد. بیش‌ترین مقدار دوام سطح برگ در رقم CP48-103 با تراکم ۲۸ ساقه در تاریخ ۳۰ مرداد و در رقم CP69-1062 با تراکم ۲۸ ساقه در تاریخ ۱۴ شهریور ثبت نمود (شکل ۵- الف و ب).

نسبت وزن برگ

برازش مدل‌های غیرخطی برای نسبت وزن برگ در دو رقم نشان داد که مدل ریچاردز، به‌واسطه پارامتر شکل d>1 که درجه نامتقارن بودن منحنی را کنترل می‌کند. در حالی که مدل‌های لجستیک و گامپرتز فاقد پارامتر شکل بود. در رقم CP69-1062، پارامتر a با افزایش تراکم از ۲۲ به ۲۸ روند افزایشی نشان داد. در مقابل، در رقم CP48-103 این پارامتر با افزایش تراکم تا ۲۶ ساقه افزایش یافت، اما در تراکم ۲۸ ساقه کاهش پیدا کرد که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این رقم در تراکم‌های بالا است (جدول‌های ۵ و ۶). پارامتر b در هر دو رقم و با افزایش تراکم افزایش یافت که نشان‌دهنده شیب تندتر کاهش نسبت وزن برگ در تراکم‌های بالاتر است. پارامتر xo در هر دو رقم با

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

افزایش تراکم کاهش یافت که نشان‌دهنده وقوع زودتر نقطه عطف کاهش نسبت وزن برگ است. مقدار d>1 تأیید کرد که کاهش این شاخص در مراحل اولیه ملایم و در مراحل انتهایی شدیدتر است. بنابراین، CP48-103 به عنوان رقم برتر در تراکم‌های بالا معرفی می‌شود. این نتایج با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم بر نسبت وزن برگ غیرمعنی‌دار بود اما اثر اصلی تراکم و اثر متقابل رقم × تراکم بر نسبت وزن برگ معنی‌دار گزارش شد. تراکم ساقه به‌طور معنی‌داری بر چگونگی تخصیص بیوماس به اندام‌های برگی در شرایط رقابتی تأثیر می‌گذارد. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نسبت وزن برگ در رقم CP69-1062 از ۲۲ به ۲۸ ساقه افزایش یافت، در حالی‌که در رقم CP48-103 این شاخص با تا ۲۶ ساقه بیشترین مقدار را نشان داد. این الگو نشان می‌دهد که رقم CP48-103 در تراکم‌های بالا افزایش شدیدتری در نسبت وزن برگ دارد نتایج این پژوهش با نتایج Singels و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد. بیش‌ترین مقدار نسبت وزن برگ در رقم CP48-103 با تراکم ۲۶ ساقه در تاریخ ۱۴ شهریور و در رقم CP69-1062 با تراکم ۲۸ ساقه در تاریخ ۳۰ مرداد ثبت نمود (شکل ۶ - الف و ب).



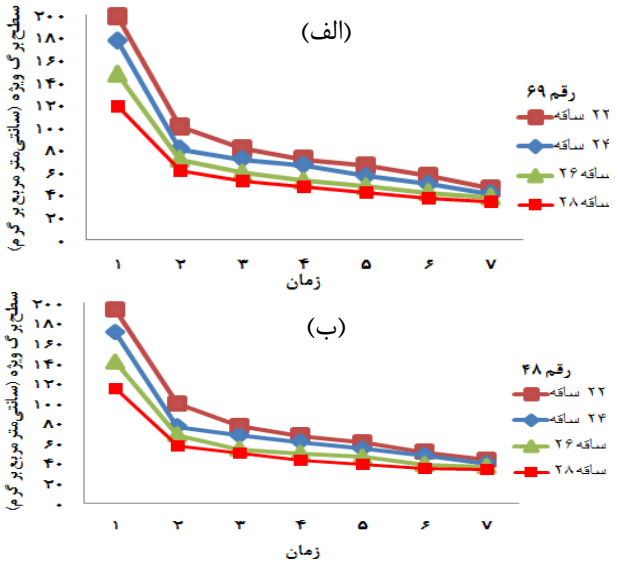
شکل ۶: تغییرات نسبت وزن برگ در دو رقم نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).
محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

سطح برگ ویژه

برازش مدل ریچاردز برای سطح برگ ویژه نشان داد که مدل با پارامتر d >1 الگوی نامتقارن رشد را به خوبی بازتاب می‌دهد. پارامتر a در رقم CP69-1062 این شاخص با افزایش تراکم از ۲۲ به ۲۸ ساقه کاهش یافت. این روند بیانگر

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

ضخیم‌تر شدن برگ‌ها است (جدول‌های ۵ و ۶). پارامتر a در رقم CP48-103، مقدار سطح برگ ویژه با افزایش تراکم از ۲۲ به ۲۸ ساقه کاهش یافت و نشان دهنده حساسیت بیشتر آن به افزایش تراکم می‌باشد. پارامتر b در دو رقم از تراکم ۲۲ ساقه به ۲۸ ساقه افزایش داشته است و حاکی از شدت بیشتر تغییرات اولیه سطح برگ ویژه در پاسخ به محدودیت نوری است. کاهش تدریجی xo در هر دو رقم دلالت بر وقوع زودتر نقطه عطف منحنی و کاهش طول دوره تغییرات مؤثر سطح برگ ویژه دارد که با گزارش‌های Li و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داد که اثر رقم، تراکم و اثر متقابل رقم × تراکم بر سطح برگ ویژه در سطح ۵٪ معنی‌دار است. این نتیجه بیانگر آن است که پاسخ سطح برگ ویژه به تغییر تراکم، صرفاً وابسته به خود تراکم نیست، بلکه به رقم نیز وابسته است. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان داد که در هر دو رقم، سطح برگ ویژه در تراکم ۲۲ به تراکم ۲۸ ساقه در متر مربع کاهش یافت. این الگو نشان می‌دهد که دو رقم در تراکم‌های پائین پایداری بیشتری در حفظ سطح برگ ویژه دارد. رقم CP69-1062 توانایی بالاتری در حفظ نسبت سطح برگ نشان داد نتایج این پژوهش با نتایج Li و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. بیش‌ترین مقدار سطح ویژه برگ در رقم CP48-103 با تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد و در رقم CP69-1062 با تراکم ۲۲ ساقه در تاریخ ۱۵ مرداد ثبت نمود (شکل ۷- الف و ب).



شکل ۷: تغییرات سطح برگ ویژه نیشکر در تراکم‌ها و در زمان های مختلف CP48-103 (الف) و CP69-1062 (ب).

محور افقی ۱ تا ۷ به ترتیب بیانگر تاریخ‌های نمونه‌برداری ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد، ۱۴ شهریور، ۲۹ شهریور، ۱۳ مهر، ۲۸ مهر و ۱۳ آبان ۱۴۰۳.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۱: آماره‌های حاصل از برازش مدل‌های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرتز و ریچاردز) در رقم نیشکرCP69-106

شاخص	تراکم	ضریب تبیین تعدیل شده			میانگین مربعات ریشه خطا			شاخص آکائیک		
		ریچاردز	گامپرتز	لجستیک	ریچاردز	گامپرتز	لجستیک	ریچاردز	گامپرتز	لجستیک
شاخص سطح برگ	۲۲	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۹۸	۰.۳۹	۰.۳۲	۰.۲۴	-۷.۸	-۹.۵	-۱۲/۴
	۲۴	۰.۹۶	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۱	۰.۳۴	۰.۲۵	-۷.۲	-۸.۹	-۱۱.۸
	۲۶	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۴	۰.۳۵	۰.۲۷	-۶.۶	-۸.۳	-۱۱.۲
	۲۸	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۶	۰.۳۷	۰.۲۸	-۶	-۷.۷	-۱۰.۶
سرعت رشد محصول	۲۲	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۲.۱۴	۱.۸۲	۱.۴۵	۶.۴	۴.۹	۳.۲
	۲۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۲.۲۶	۱.۹۲	۱.۵۳	۷	۵.۵	۳.۸
	۲۶	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۶	۲.۳۸	۲.۰۳	۱.۶	۷.۶	۶.۱	۴.۴
	۲۸	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۷	۲.۵۱	۲.۱۳	۱.۶۸	۸.۲	۶.۷	۵
سرعت جذب خالص	۲۲	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۴۵	۰.۳۷	۰.۳۱	-۵.۵	-۷.۲	-۸.۷
	۲۴	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۵	۰.۴۸	۰.۳۹	۰.۳۲	-۴.۹	-۶.۶	-۸.۱
	۲۶	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۵	۰.۴۲	۰.۳۴	-۴.۳	-۶	-۷.۵
	۲۸	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۵۳	۰.۴۴	۰.۳۶	-۳.۷	-۵.۴	-۶.۹
دوام سطح برگ	۲۲	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۸.۱۲	۷.۹۵	۵.۶۷	۱۸.۹	۱۶.۸	۱۵.۲
	۲۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۶	۸.۵۴	۷.۰۸	۵.۸۹	۱۹.۵	۱۷.۴	۱۵.۸
	۲۶	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۸.۹۵	۷.۴۳	۶.۲۹	۲۰.۱	۱۸	۱۶.۴
	۲۸	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۹.۳۷	۷.۷۸	۶.۶۱	۲۰.۷	۱۸.۶	۱۷
نسبت سطح برگ	۲۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۱.۰۱	۰.۸۴	۰.۶۸	-۲.۱	-۳.۸	-۵.۳
	۲۴	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۱.۰۶	۰.۸۹	۰.۷۲	-۱.۵	-۳.۲	-۴.۷
	۲۶	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۴	۱.۱۲	۰.۹۳	۰.۷۵	-۰.۹	-۲.۶	-۴.۱
	۲۸	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۵	۱.۱۷	۰.۹۸	۰.۷۹	-۰.۳	-۲	-۳.۵
نسبت وزن برگ	۲۲	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱	۰.۰۰۸۹	-۴۲	-۴۴.۵	-۴۵.۲
	۲۴	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۰۹۴	-۴۱.۴	-۴۳.۹	-۴۴.۶
	۲۶	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۰۱۴	۰.۰۱۱	۰.۰۰۹۹	-۴۰.۸	-۴۳.۳	-۴۴
	۲۸	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱	-۴۰.۲	-۴۲.۷	-۴۳.۴
سطحبرگ ویژه	۲۲	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۱۲.۶۷	۱۰.۴۵	۸.۴۵	۲۲.۸	۲۰.۵	۱۸.۵
	۲۴	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۱۳.۲۱	۱۰.۹۸	۸.۹۲	۲۳.۴	۲۱.۱	۱۹.۱
	۲۶	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۱۳.۷۴	۱۱.۵	۹.۳۸	۲۴	۲۱.۷	۱۹.۷
	۲۸	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۶	۱۴.۲۸	۱۲.۰۳	۹.۸۵	۲۴.۶	۲۲.۳	۲۰.۳

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۲: آماره‌های حاصل از برازش مدل‌های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرتز و ریچاردز) در رقم نیشکر CP48-103

شاخص	تراکم	ضریب تبین تعدیل شده			میانگین مربعات ریشه خطا			شاخص آکائیک		
		لجستیک	گامپرتز	ریچاردز	لجستیک	گامپرتز	ریچاردز	لجستیک	گامپرتز	ریچاردز
شاخص سطح برگ	۲۲	۰.۹۶	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۱	۰.۳۳	۰.۲۶	-۷.۵	-۹.۲	-۱۱.۵
	۲۴	۰.۹۶	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۳	۰.۳۵	۰.۲۷	-۶.۹	-۸.۶	-۱۰.۹
	۲۶	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۰.۴۵	۰.۳۷	۰.۲۹	-۶.۳	-۸	-۱۰.۳
	۲۸	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۶	۰.۴۷	۰.۳۸	۰.۳	-۵.۷	-۷.۴	-۹.۷
سرعت رشد محصول	۲۲	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۷	۲.۲	۱.۸۷	۱.۴۹	۶.۷	۵.۲	۳.۵
	۲۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۶	۲.۳۲	۱.۹۷	۱.۵۷	۷.۳	۵.۸	۴.۱
	۲۶	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۲.۴۴	۲.۰۸	۱.۶۵	۷.۹	۶.۴	۴.۷
	۲۸	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۲.۵۶	۲.۱۸	۱.۷۲	۸.۵	۷	۵.۳
سرعت جذب خالص	۲۲	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۸.۳۴	۷.۰۸	۵.۸۹	۱۹.۲	-۶.۹	-۸.۴
	۲۴	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۶	۸.۷۶	۷.۴۳	۶.۲۱	۱۹.۸	-۶.۳	-۷.۸
	۲۶	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۶	۹.۱۷	۷.۷۸	۶.۵۲	۲۰.۴	-۵.۷	-۷.۲
	۲۸	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۶	۹.۵۹	۸.۱۴	۶.۸۴	۲۱	-۵.۱	-۶.۶
دوام سطح برگ	۲۲	۰.۹۵	۰.۹۶	۰.۹۵	۱.۰۴	۰.۸۷	۰.۷	-۱.۸	۱۷.۱	۱۵.۵
	۲۴	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۵	۱.۱	۰.۹۱	۰.۷۴	-۱.۲	۱۷.۷	۱۶.۱
	۲۶	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۴	۱.۱۵	۰.۹۶	۰.۷۷	-۰.۶	۱۸.۳	۱۶.۷
	۲۸	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۴	۱.۲	۱.۰۱	۰.۸۱	-۰.۱	۱۸.۹	۱۷.۳
نسبت سطح برگ	۲۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۱.۰۴	۰.۸۷	۰.۷	۰.۷	-۳.۵	-۵
	۲۴	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۱.۱	۰.۹۱	۰.۷۴	۰.۷۴	-۲.۹	-۴.۴
	۲۶	۰.۹۳	۰.۹۳	۰.۹۴	۱.۱۵	۰.۹۶	۰.۷۷	۰.۷۷	-۲.۳	-۳.۸
	۲۸	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۱.۲	۱.۰۱	۰.۸۱	۰.۸۱	-۱.۷	-۳.۲
نسبت وزن برگ	۲۲	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۰۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱	-۴۲	-۴۴	-۴۴.۹
	۲۴	۰.۹۲	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۰۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱	-۴۱	-۴۴	-۴۴.۳
	۲۶	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۰۱	۰.۰۱۲	۰.۰۱	-۴۱	-۴۳	-۴۳.۷
	۲۸	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۰۲	۰.۰۱۲	۰.۰۱	-۴۰	-۴۲	-۴۳.۱
سطحبرگ ویژه	۲۲	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۱۴.۳	۱۰.۷۶	۹.۳۸	۲۳.۱	۲۰.۸	۱۸.۸
	۲۴	۰.۹۴	۰.۹۵	۰.۹۶	۱۳	۱۱.۲۹	۹.۸۵	۲۳.۷	۲۱.۴	۱۹.۴
	۲۶	۰.۹۴	۰.۹۴	۰.۹۶	۱۳.۵	۱۱.۸۱	۸.۶۷	۲۴.۳	۲۲	۲۰
	۲۸	۰.۹۳	۰.۹۴	۰.۹۵	۱۴.۱	۱۲.۳۴	۹.۱۵	۲۴.۹	۲۲.۶	۲۰.۶

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۳: تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیک رشد تحت تأثیر رقم، تراکم ساقه و اثر متقابل آن‌ها درارقام تجاری نیشکر

منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	سرعت جذب خالص	دوام سطح برگ	نسبت سطح برگ	نسبت وزن برگ	سطح ویژه برگ
تکرار	۲	۹۵/۱۲	۲۴۶/۹۵	۸۶/۴۱	۷۸۵/۱	۱۷۴/۲۶	۴/۳	۱۲۴۷/۱۶
رقم	۱	۷۱۵/۲۳*	۲۶۱۳/۳**	۶۴۰/۸۵*	۷۳۸۹/۱۸ns	۱۲۶۵/۷۷**	۳۲/۴ns	۱۱۴۲۲/۲۳*
خطای عامل اصلی	۲	۱۷۸/۳	۱۸۲/۷	۱۴۲/۷	۷۳۶/۲۳	۳۲۰/۱۴	۵/۴۱	۱۲۸۰/۱۷
تراکم	۳	۳۴۳/۶۱**	۸۷۶/۴**	۲۹۷/۶۱*	۲۸۸۷/۱۱*	۷۰۶/۱۹**	۱۸/۷۶**	۳۲۵۶/۲۸*
رقم ×تراکم	۳	۲۵۲/۲**	۵۱۰/۶**	۲۱۰/۶۶**	۱۸۹۰/۵۲*	۴۸۶/۲۳**	۱۱/۸۷**	۳۱۱۴/۵۲*
خطای عامل فرعی	۱۲	۱۷/۳	۲۲/۳	۱۴/۰۸	۹۰/۰۵	۴۰/۲۵	۰/۶	۱۴۲/۱۵
ضریب تغییرات (۰/۰۱)		۰/۷۹	۰/۵۲	۱/۷۵	۰/۲۶	۱/۲۷	۱/۶۶	۰/۹۱

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در زمان و تراکم ساقه برای شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در ارقام تجاری نیشکر

رقم	تراکم ساقه	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول (گرم بر متر مربع در روز)	سرعت جذب خالص (گرم بر متر مربع در روز)	دوام سطح برگ (سانتی‌متر مربع در روز)	نسبت سطح برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)	سطح برگ ویژه (سانتی‌متر مربع بر گرم)	نسبت وزن برگ (گرم بر گرم)
CP69-1062	۲۲	۴/۷۹^{c}	۱۵/۸۱^{a}	۳/..^{a}	۶۶/۱۷^{b}	۶/۹۳^{a}	۹۷/۸۵^{a}	۰/۰۶۲^{c}
	۲۴	۴/۶^{c}	۱۴/۰۲^{b}	۲/۲۶^{bc}	۵۹/۲۶^{c}	۵/۰۲^{b}	۸۴/۲۹^{ab}	۰/۰۶۴^{b}
	۲۶	۵/۷۶^{b}	۱۱/۶^{c}	۲/۸۱^{ab}	۶۶/۰۳^{b}	۴/۲۴^{c}	۷۶/۱۸^{b}	۰/۰۶۶^{a}
	۲۸	۶/۸۹^{a}	۹/۲۵^{c}	۱/۹۵^{c}	۷۶/۱۶^{a}	۴/۰۲^{c}	۶۲/۶۳^{c}	۰/۰۶۸^{a}
CP48-103	۲۲	۳/۹۲^{c}	۱۳/۶۷^{a}	۲/۱۶^{a}	۵۴/۴۵^{c}	۷/۴۴^{a}	۹۳/۸۵^{a}	۰/۰۶۰^{c}
	۲۴	۳/۷۶^{c}	۹/۴۷^{b}	۱/۴۶^{b}	۵۷/۰۵^{c}	۵/۱۱^{bc}	۷۸/۵۶^{ab}	۰/۰۵۸^{c}
	۲۶	۶/۵۵^{a}	۵/۹۵^{c}	۰/۸۹^{bc}	۶۱/۶۸^{b}	۳/۸۱^{c}	۶۴/۸۲^{b}	۰/۰۷۸^{a}
	۲۸	۵/۵۵^{b}	۵/۷۵^{c}	۱/۱^{c}	۹۷/۹۲^{a}	۲/۱۸^{c}	۵۴/۲۴^{c}	۰/۰۷۰^{b}

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۵: پارامترهای حاصل از برازش مدل های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرترز و ریچاردز) بر رقم تجاری CP69-1062 نیشکر

شاخص	تراکم	لجستیک				کامپرتز				ریچاردز			
		xo ± SE	b± SE	a±SE		xo ± SE	b± SE	a±SE		d ±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE
شاخص سطح برگ	۲۲	۲±۴۰.۸/۲	۱/۰.۱۸±۹۲	۴/۰.۲۲±۷۳		۲±۳۹.۶	۲/۰.۱۹±۳۴	۴/۰.۲۱±۶۵		۰.۰۸±۰.۸۸	۲.۱±۴۵.۳	۱/۰.۱۵±۸۷	۰.۱۹±۴.۸۹
	۲۴	۲.۳±۴۲.۳	۱/۰.۱۹±۹۸	۵/۰.۲۴±۰۴		۲±۴۰.۱/۱	۲/۰.۲۰±۴۲	۴/۰.۲۲±۹۶		۰.۰۹±۰.۹۱	۲±۴۳.۸	۱/۰.۱۴±۹۲	۴/۰.۲۱±۹۵
	۲۶	۲±۴۳/۴	۲/۰.۲۰±۱۱	۵/۰.۲۶±۵۱		۲.۲±۴۲.۸	۲/۰.۲۱±۵۶	۵/۰.۲۴±۴۳		۰.۰۹±۰.۹۲	۱±۴۲.۵/۹	۲/۰.۱۶±۰۵	۴/۰.۲۰±۹۳
	۲۸	۲.۵±۴۴.۷	۲/۰.۲۱±۱۸	۵/۰.۲۸±۹۵		۲.۳±۴۳.۵	۲/۰.۲۲±۶۵	۵/۰.۲۶±۸۷		۰.۰۹±۰.۹۴	۱±۴۱.۲/۸	۲/۰.۱۷±۱۲	۵/۰.۲۴±۸۸
سرعت رشد محصول	۲۲	۲.۹±۴۴.۲	۲/۰.۲۲±۳۱	۱.۱۲±۱۹.۳۲		۲±۴۲.۸/۶	۲/۰.۲۴±۸۳	۱۸/۱.۰۵±۷۹		۰.۰۹±۰.۹۱	۲±۴۴.۷/۴	۱/۰.۱۶±۹۵	۱۸/۰.۸۹±۹۵
	۲۴	۲.۸±۴۲.۸	۲/۰.۲۰±۱۲	۱۷/۱.۰۲±۱۲		۲±۴۱.۵/۵	۲/۰.۲۲±۶۰	۱۶/۰.۹۶±۶۴		۰.۰۸±۰.۸۷	۲±۴۳.۳/۳	۲/۰.۱۷±۰۵	۱۶/۰.۸۱±۷۸
	۲۶	۲.۷±۴۱.۴	۲/۰.۲۱±۲۳	۱۵/۰.۹۵±۵۶		۲.۴±۴۰.۲	۲/۰.۲۳±۷۳	۱۵/۰.۸۹±۱۲		۰.۰۹±۰.۹۴	۲±۴۱.۹/۲	۲/۰.۱۸±۱۶	۱۵/۰.۷۵±۲۳
	۲۸	۲±۴۰.۱/۶	۲/۰.۱۹±۰۲	۱۴/۰.۸۹±۴۵		۲±۳۸.۹/۳	۲/۰.۲۱±۴۸	۱۴/۰.۸۴±۰۲		۰.۰۹±۰.۹۰	۲±۴۰.۶/۱	۲/۰.۱۹±۲۴	۱۴/۰.۷۰±۱۲
سرعت جذب خالص	۲۲	۲±۴۱.۳/۸	۲/۰.۲۴±۵۱	۳/۰.۲۶±۸۵		۲±۳۹.۹/۵	۲/۰.۲۳±۶۷	۳/۰.۲۴±۴۲		۰.۰۱۰±۰.۹۸	۲±۴۱.۸/۳	۲/۰.۱۷±۱۲	۳/۰.۲۱±۴۵
	۲۴	۲±۳۹.۹/۷	۲/۰.۲۲±۳۰	۳/۰.۲۳±۰۹		۲±۳۸.۶/۴	۲/۰.۲۴±۸۰	۰.۲۱±۳		۰.۰۹±۰.۹۴	۲±۴۰.۴/۲	۲/۰.۱۸±۲۳	۳/۰.۱۹±۰۲
	۲۶	۲±۳۸.۶/۶	۲/۰.۲۳±۴۲	۲/۰.۲۱±۸۵		۲.۳±۳۷.۴	۲/۰.۲۵±۹۴	۲/۰.۱۹±۷۷		۱/۰.۱۰±۰۱	۲±۳۹/۱	۲/۰.۱۹±۳۵	۲/۰.۱۷±۷۸
	۲۸	۲±۳۷.۴/۵	۲/۰.۲۱±۱۹	۲/۰.۲۰±۶۸		۲±۳۶.۲/۲	۳/۰.۲۶±۰۵	۲/۰.۱۸±۶۰		۰.۰۹±۰.۹۷	۲±۳۷.۹	۲/۰.۲۰±۴۴	۲/۰.۱۶±۶۱
دوام سطح برگ	۲۲	۲±۴۲.۵/۷	۱/۰.۱۶±۷۲	۳±۶۵.۹/۶		۲±۴۱.۲/۴	۲/۰.۱۸±۱۵	۳±۶۴.۲/۳		۰.۰۸±۰.۸۶	۲±۴۷.۲/۵	۱/۰.۱۳±۶۵	۲±۶۴.۲/۸
	۲۴	۲±۴۳.۳/۸	۱/۰.۱۷±۸۰	۳±۷۱.۱/۹		۲±۴۳.۹/۶	۲/۰.۱۹±۲۵	۳±۶۹.۶/۶		۰.۰۸±۰.۸۷	۲±۴۵.۸/۴	۱/۰.۱۴±۷۳	۳±۶۹.۸
	۲۶	۲±۴۴.۸/۹	۱/۰.۱۸±۸۹	۴±۸۲.۵/۱		۲±۴۲.۵/۵	۲/۰.۲۰±۳۶	۴±۷۷.۶/۱		۰.۰۹±۰.۹۱	۲±۴۴.۳/۳	۱/۰.۱۵±۸۲	۳±۷۸.۵/۴
	۲۸	۳±۴۶.۷	۱/۰.۱۹±۹۶	۴±۹۱.۲/۶		۲±۴۵.۲/۶	۲/۰.۲۱±۴۵	۴±۸۸.۷/۵		۰.۰۹±۰.۹۴	۲±۴۳/۲	۱/۰.۱۶±۸۹	۳±۸۹.۵/۸
نسبت سطح برگ	۲۲	۲±۳۵.۱/۴	۲/۰.۲۶±۸۵	۹/۰.۵۳±۱۲		۲±۳۳.۸/۲	۳/۰.۲۹±۳۴	۸/۰.۴۹±۸۷		۱/۰.۱۳±۲۴	۲±۳۵.۶	۲/۰.۲۲±۷۸	۸/۰.۴۲±۹۵
	۲۴	۲±۳۳.۷/۳	۲/۰.۲۷±۹۶	۷/۰.۴۸±۸۵		۲±۳۲.۵/۱	۳/۰.۳۰±۴۷	۷/۰.۴۴±۶۳		۱/۰.۱۲±۲۲	۱±۳۴.۲/۹	۲/۰.۲۳±۸۹	۷/۰.۳۸±۶۸
	۲۶	۲±۳۲.۴/۲	۳/۰.۲۸±۰۹	۶/۰.۴۳±۹۰		۲±۳۱.۳	۳/۰.۳۱±۶۲	۶/۰.۴۰±۷۱		۱/۰.۱۱±۲۱	۱±۳۲.۷/۷	۳/۰.۲۴±۰۲	۶/۰.۳۴±۷۳
	۲۸	۲±۳۱.۲/۱	۳/۰.۳۹±۱۹	۶/۰.۳۹±۲۹		۱±۳۰.۱/۹	۳/۰.۳۲±۷۳	۶/۰.۶±۱۱		۱/۰.۱۰±۱۸	۱±۳۱.۷/۷	۳/۰.۲۶±۱۲	۶/۰.۳۱±۱۲

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

ادامه جدول ۵: پارامترهای حاصل از برازش مدل های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرترز و ریچاردز) بر رقم تجاری CP69-1062 نیشکر

شاخص	تراکم	لجستیک				کامپرتز				ریچاردز			
		xo ± SE	b± SE	a±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE	d ±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE
نسبت وزن برگ	۲۲	۲±۳۱.۹/۱	۳/۰.۳۳±۵۲	۰/۰.۰۰۵±۰۷۸	۱±۳۰.۷/۹	۴/۰.۳۶±۱۱	۰/۰.۰۰۴±۰۷۶	۱/۰.۱۳±۳۴	۱±۳۲.۴/۸	۳/۰.۲۸±۴۵	۰/۰.۰۰۴±۰۷۶
	۲۴	۲±۳۰.۶	۳/۰.۳۴±۶۵	۰/۰.۰۰۵±۰۸۳	۱±۲۹.۵/۸	۴/۰.۳۷±۲۶	۰/۰.۰۰۴±۰۸۰	۱/۰.۱۳±۳۰	۱±۳۱.۱/۷	۳/۰.۲۹±۵۸	۰/۰.۰۰۴±۰۸۱
	۲۶	۱±۲۹.۴/۹	۳/۰.۳۵±۷۹	۰/۰.۰۰۶±۰۸۹	۱±۲۸.۴/۷	۴/۰.۳۸±۴۲	۰/۰.۰۰۵±۰۸۶	۱/۰.۱۳±۳۷	۱±۲۹.۹/۶	۳/۰.۳۰±۷۲	۰/۰.۰۰۴±۰۸۷
	۲۸	۱±۲۸.۳/۸	۳/۰.۳۶±۹۰	۰/۰.۰۰۶±۰۹۷	۱±۲۷.۳/۶	۴/۰.۳۹±۵۵	۰/۰.۰۰۵±۰۹۴	۱/۰.۱۳±۳۸	۱±۲۸.۸/۵	۳/۰.۳۱±۸۳	۰/۰.۰۰۵±۰۹۵
سطح برگ ویژه	۲۲	۲±۳۸.۲/۸	۲/۰.۲۲±۴۱	۶±۱۲۶.۸/۵	۲±۳۶.۸/۵	۲/۰.۲۴±۸۷	۶±۱۲۳.۵/۱	۱/۰.۱۱±۱۲	۲±۳۸.۷/۳	۲/۰.۱۸±۳۴	۵±۱۲۴.۵/۲
	۲۴	۲±۳۶.۷/۷	۲/۰.۲۳±۵۲	۵±۱۱۰.۵/۹	۲±۳۵.۴/۴	۲/۰.۲۵±۹۹	۵±۱۰۷.۸/۵	۱/۰.۱۰±۰۸	۲.۲±۳۷.۲	۲/۰.۱۹±۴۵	۴±۱۰۸.۳/۸
	۲۶	۲±۳۵.۳/۶	۲/۰.۲۴±۶۵	۵±۹۷.۹/۴	۲±۳۴.۱/۳	۳/۰.۲۶±۱۴	۵±۹۵.۶	۱/۰.۱۱±۱۵	۲±۳۵.۸/۱	۲/۰.۲۰±۵۸	۴±۹۵.۷/۳
	۲۸	۲±۳۴/۵	۲/۰.۲۵±۷۴	۵±۸۹.۶	۲±۳۲.۹/۲	۳/۰.۲۷±۲۵	۴±۸۷.۵/۶	۱/۰.۱۰±۱۱	۲±۳۴.۵	۲/۰.۲۱±۶۷	۳±۸۷.۴/۹

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

جدول ۶: پارامترهای حاصل از برازش مدل های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرترز و ریچاردز) بر رقم تجاری CP48-103 نیشکر

شاخص	تراکم	لجستیک			کامپرتز			ریچاردز		
		xo ± SE	b± SE	a±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE	d ±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE
شاخص سطح برگ	۲۲	۲±۴۴.۳/۴	۱/۰.۱۷±۸۳	۴/۰.۲۰±۲۷	۲.۱±۴۰	۲/۰.۱۸±۲۵	۴/۰.۲۰±۴۳	۰.۰۹±۰.۹۰	۲±۴۶.۸/۲	۱/۰.۱۴±۷۸	۴/۰.۱۶±۴۸
	۲۴	۲۴۵.۷/۵	۱/۰.۱۸±۹	۴/۰.۲۳±۷۸	۲±۴۳.۵/۳	۲/۰.۱۹±۳۴	۴/۰.۲۳±۷۰	۰.۰۸±۰.۸۷	۲±۴۵.۲/۱	۱/۰.۱۵±۸۵	۴/۰.۱۸±۷۲
	۲۶	۲±۴۶.۲/۶	۲/۰.۲۰±۰۹	۵/۰.۲۵±۰۴	۲±۴۵.۱/۵	۲/۰.۲۱±۵۶	۴/۰.۲۴±۹۶	۰.۰۹±۰.۹۱	۲±۴۷.۷/۳	۲/۰.۱۷±۰۳	۴/۰.۲۱±۹۸
	۲۸	۲±۴۲.۸/۲	۲/۰.۱۹±۰۱	۴/۰.۲۴±۸۶	۲±۴۴.۸/۴	۲/۰.۲۰±۴۶	۴/۰.۲۲±۶۰	۰.۰۸±۰.۸۶	۱±۴۲.۳/۹	۱/۰.۱۶±۹۷	۴/۰.۲۰±۸۴
سرعت رشد محصول	۲۲	۳±۴۵.۵	۲/۰.۲۱±۲۵	۱۷/۱.۰۷±۹۳	۲±۴۴.۲/۷	۲/۰.۲۰±۴۰	۱±۱۷.۴۳	۰.۰۹±۰.۹۲	۲.۵±۴۶	۱/۰.۱۵±۸۸	۱۷/۰.۸۵±۵۶
	۲۴	۲±۴۴.۱/۹	۲/۰.۱۹±۰۶	۱۶/۰.۹۸±۰۱	۲±۴۲.۸/۶	۲/۰.۲۱±۵۳	۱۵/۰.۹۲±۵۶	۰.۰۸±۰.۸۵	۲±۴۶.۶/۴	۱/۰.۱۶±۹۹	۱۵/۰.۷۸±۶۷
	۲۶	۲±۴۲.۷/۸	۲/۰.۲۰±۱۷	۱۴/۰.۹۱±۶۷	۲±۴۱.۵/۵	۲/۰.۲۲±۶۶	۱۴/۰.۸۶±۲۵	۰.۰۹±۰.۹۰	۲±۴۳.۲/۳	۲/۰.۱۷±۱۰	۱۴/۰.۷۲±۳۸
	۲۸	۲±۴۱.۴/۷	۱/۰.۱۸±۹۵	۱۳/۰.۸۵±۷۸	۲±۴۰.۲/۴	۲/۰.۲۳±۷۶	۱۳/۰.۸۱±۳۸	۰.۰۸±۰.۸۸	۲±۴۱.۹/۲	۲/۰.۱۸±۱۸	۱۳/۰.۶۷±۴۵
سرعت جذب خالص	۲۲	۲±۴۲.۶/۹	۲/۰.۲۰±۱۲	۳/۰.۲۴±۲۵	۲±۴۱.۲/۶	۲/۰.۲۲±۵۹	۳/۰.۲۲±۱۶	۰.۰۹±۰.۹۶	۲±۴۳.۱/۴	۲/۰.۱۶±۰۵	۳/۰.۲۰±۱۸
	۲۴	۲±۴۱.۲/۸	۲/۰.۲۱±۲۴	۲/۰.۲۲±۹۱	۲±۳۹.۹/۵	۲/۰.۲۳±۷۳	۲/۰.۲۰±۸۳	۰.۰۹±۰.۹۲	۲±۴۱.۷/۳	۲/۰.۱۷±۱۷	۲/۰.۱۸±۸۴
	۲۶	۲±۳۹.۹/۷	۲/۰.۲۲±۳۶	۲/۰.۲۰±۷۰	۲±۳۸.۷/۴	۲/۰.۲۴±۸۷	۲/۰.۱۸±۶۲	۰±۰.۹۹/۰۱۰	۲±۴۰.۴/۲	۲/۰.۱۸±۲۹	۲/۰.۱۶±۶۳
	۲۸	۲±۳۸.۷/۶	۲/۰.۲۳±۴۵	۲/۰.۱۹±۵۵	۲±۳۷.۵/۳	۲/۰.۲۵±۹۸	۲/۰.۱۷±۴۷	۰.۰۹±۰.۹۵	۲±۳۹.۲/۱	۲/۰.۱۹±۳۸	۰.۱۵±۲.۴۸
دوام سطح برگ	۲۲	۲±۴۳.۸/۸	۱/۰.۱۵±۶۵	۳±۶۲.۲/۴	۲±۴۲.۶/۶	۲/۰.۱۷±۰۷	۳±۶۱.۱/۱	۰.۰۸±۰.۸۲	۲±۴۴.۵/۳	۱/۰.۱۲±۵۸	۲±۶۱.۲/۶
	۲۴	۲±۴۴.۵/۹	۱/۰.۱۶±۷۴	۳±۶۷.۸/۷	۲±۴۳.۸/۶	۲/۰.۱۸±۱۸	۳.۴±۶۶	۰۰.۸±۰.۸۴	۲.۵±۴۷	۱/۰.۱۳±۶۷	۲±۶۶.۴/۹
	۲۶	۳±۴۶.۱	۱/۰.۱۷±۸۳	۴±۷۵.۵/۱	۲±۴۵.۲/۷	۲/۰.۱۹±۲۹	۳±۷۳.۴/۸	۰.۰۸±۰.۸۶	۲±۴۵.۶/۴	۱/۰.۱۴±۷۶	۳±۷۳.۸/۲
	۲۸	۳±۴۸/۱	۱/۰.۱۸±۹۱	۴±۸۵.۴/۵	۲±۴۶.۶/۸	۲/۰.۲۰±۳۹	۴±۸۳.۱/۲	۰.۰۹±۰.۸۸	۲±۴۸.۵/۶	۱/۰.۱۵۴±۸۴	۳±۸۳.۷/۶
نسبت سطح برگ	۲۲	۲±۳۶.۳/۵	۲/۰.۲۵±۷۸	۸/۰.۵۰±۶۲	۲.۳±۳۵	۳/۰.۲۸±۲۶	۸/۰.۴۷±۳۸	۱/۰.۱۲±۲۳	۲±۳۶.۸/۱	۲/۰.۲۱±۷۱	۸/۰.۴۰±۴۵
	۲۴	۲±۳۴.۹/۴	۲/۰.۲۶±۹۰	۷/۰.۴۹±۴۹	۲±۳۳.۷/۲	۳/۰.۲۹±۴۰	۷/۰.۴۳±۲۸	۱/۰.۱۲±۲۲	۲±۳۵.۴	۲/۰.۲۲±۸۳	۷/۰.۳۶±۲۳
	۲۶	۲±۳۳.۶/۳	۳/۰.۲۷±۰۳	۶/۰.۴۱±۶۴	۲±۳۲.۴/۱	۳/۰.۳۰±۵۵	۶/۰.۳۸±۴۵	۱/۰.۱۱±۱۶	۱±۳۴.۱/۹	۲/۰.۲۳±۹۶	۶/۰.۳۳±۴۷
	۲۸	۲±۳۲.۴/۲	۳/۰.۲۸±۱۳	۶/۰.۳۸±۰۶	۲±۳۱.۲۲	۳/۰.۳۱±۶۷	۵/۰.۳۵±۸۹	۱/۰.۱۱±۱۹	۱±۳۲.۹/۸	۳/۰.۲۴±۰۶	۵/۰.۳۰±۸۹

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

ادامه جدول ۶: پارامترهای حاصل از برازش مدل های سیگموئیدی (لجستیک، گامپرترز و ریچاردز) بر رقم تجاری CP48-103 نیشکر

شاخص	تراکم	لجستیک				کامپرتز				ریچاردز			
		xo ± SE	b± SE	a±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE	d ±SE	xo ± SE	b± SE	a±SE
نسبت وزن برگ	۲۲	۲±۳۳.۱/۲	۳/۰.۳۲±۴۵	۰/۰.۰۰۵±۰۸۰	۲±۳۱.۹	۴/۰.۳۵±۰۳	۰/۰.۰۰۴±۰۷۸	۱/۰.۱۲±۲۶	۱±۳۳.۶/۹	۳/۰.۲۷±۳۸	۰.۰۰۴±۰.۰۷۸
	۲۴	۲±۳۱.۸/۱	۳/۰.۳۳±۵۹	۰/۰.۰۰۵±۰۸۲	۱±۳۰.۷/۹	۴/۰۶±۱۹	۰.۰۰۵±۰.۰۸۳	۱/۰.۱۲±۲۷	۱±۳۲.۳/۸	۳/۰.۲۸±۵۲	۰.۰۰۵±۰.۰۸۴
	۲۶	۲±۳۰.۶	۳/۰.۳۴±۷۳	۰/۰.۰۰۶±۰۹۳	۱±۲۹.۶/۸	۴/۰.۳۷±۳۶	۰.۰۰۵±۰.۰۹۰	۱/۰.۱۳±۳۴	۱±۳۱.۱/۷	۳/۰.۲۹±۶۶	۰.۰۰۶±۰.۰۹۱
	۲۸	۱±۲۹.۵/۹	۳/۰.۳۵±۸۴	۰/۰.۰۰۴±۰۷۵	۱±۲۸.۵/۷	۴/۰.۳۸±۴۹	۰.۰۰۴±۰.۰۷۳	۱/۰.۱۳±۳۵	۱.۶±۳۰	۳/۰.۳۰±۷۷	۰.۰۰۴±۰.۰۷۳
سطح برگ ویژه	۲۲	۲±۳۹/۹	۲/۰.۲۱±۳۵	۶±۱۲۰.۹/۲	۲±۳۷.۷/۶	۲/۰.۲۳±۷۹	۵±۱۱۸.۲/۸	۰.۱۰±۱۰۹	۲±۳۹.۵/۴	۲/۰.۱۷±۲۸	۱۱۸/۰.۵±۶
	۲۴	۲±۳۷.۵/۸	۲/۰.۲۲±۴۵	۵±۱۰۵.۴/۷	۲±۳۶.۳/۵	۲/۰.۲۴±۹۲	۵±۱۰۳.۱/۳	۱/۰.۱۰±۰۵	۲.۳±۳۸	۲/۰.۱۸±۳۸	۴±۱۰۳.۲/۶
	۲۶	۲±۳۶.۱/۷	۲/۰.۲۳±۵۸	۵±۹۳.۵/۱	۲±۳۹.۹/۴	۳/۰.۲۵±۰۷	۴±۹۱.۴/۸	۱/۰.۱۱±۱۲	۲±۳۶.۶/۲	۲/۰.۱۹±۵۱	۴±۹۱.۳/۱
	۲۸	۲±۳۴.۸/۶	۲/۰.۲۴±۶۸	۴±۸۵.۹/۷	۴±۸۵.۹/۷	۲±۳۳.۷/۳	۳/۰.۲۶±۱۸	۱/۰.۱۰±۰۸	۲±۳۵.۳/۱	۲/۰.۲۰±۶۱	۳±۸۳.۸/۷

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تراکم ساقه نقش تعیین‌کننده و معناداری در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد دو رقم تجاری نیشکر تحت شرایط اقلیمی استان خوزستان ایفا می‌کند. در رقم CP69-1062، تراکم ۲۸ ساقه در متر مربع بالاترین مقادیر شاخص‌های شاخص سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ را به همراه داشت، در حالی که در رقم CP48-103، حداکثر شاخص سطح برگ و نسبت وزن برگ در تراکم ۲۶ ساقه و دوام سطح برگ در تراکم ۲۸ ساقه مشاهده شد. با این حال شاخص های سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، نسبت سطح برگ و سطح برگ ویژه در هر دو رقم در تراکم ۲۲ ساقه به بیش‌ترین مقدار خود رسیدند. که بیانگر کارایی فتوسنتزی و تبدیل بیومس بهتر در این تراکم است. شاخص دوام سطح برگ در هر دو رقم در تراکم ۲۸ ساقه بیش‌ترین مقدار را داشت. مقایسه دو رقم نشان داد که هر دو رقم در تراکم‌های پایین (۲۲ ساقه) پایداری فیزیولوژیکی بیشتری نشان دادند و با افزایش تراکم، CP69-1062 کاهش تدریجی‌تر شاخص‌ها را تجربه کرد، در حالی که CP48-103 حساسیت بیشتری به افزایش تراکم داشت و در تراکم‌های بالاتر از ۲۶ ساقه افت شدید شاخص‌های فیزیولوژیکی (به جز شاخص سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ مشاهده شد. این تفاوت‌ها بیانگر اختلاف ژنتیکی ارقام در پاسخ به تراکم و نیاز به مدیریت خاص تراکم برای هر رقم است. مدل‌سازی رشد با استفاده از مدل‌های سیگموئیدی نقش کلیدی در تفسیر این الگوها ایفا کرد. بر اساس ارزیابی کلی مدل‌ها، مدل لجستیک به دلیل ساختار متقارن و تعداد پارامتر کمتر، در تمامی هفت شاخص فیزیولوژیکی و چهار تراکم ساقه بهترین برازش را نشان داد. مدل ریچاردز با داشتن پارامتر شکل انعطاف‌پذیر (d) برای شاخص‌های سرعت جذب خالص، نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ و دوام سطح برگ که الگوی نامتقارن و پیچیده‌تری دارند، دقت بالاتری ارائه داد و توانست تغییرات تدریجی در مراحل اولیه و کاهش شدید در مراحل انتهایی رشد را بهتر مدل‌سازی کند. مدل لجستیک نیز برای شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سطح برگ ویژه به دلیل الگوی متقارن‌تر رشد، کارایی بالایی نشان داد. پارامترهای مدل‌ها کاهش x_0 در تراکم‌های بالا، افزایش b و کاهش a اثرهای تراکم بر زمان‌بندی و شدت رشد را کمی‌سازی کردند و نشان دادند که CP69-1062 در تراکم‌های بالا تغییرات تدریجی‌تر و CP48-103 تغییرات شدیدتری را تجربه می‌کند. بر اساس نتایج، برای رقم CP69-1062 تراکم ۲۴-۲۲ ساقه در متر مربع با تأکید بر تراکم ۲۲ برای حداکثر کارایی فتوسنتزی توصیه می‌شود، هر چند تراکم ۲۸ ساقه می‌تواند برای افزایش شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ در شرایط خاص مانند نیاز به پوشش سریع مزرعه استفاده شود. برای رقم CP48-103 تراکم ۲۶-۲۲ ساقه با مدیریت مناسب آبیاری و تغذیه مناسب است، اما استفاده از تراکم ۲۸ ساقه به دلیل حساسیت بالای این رقم به رقابت نوری توصیه نمی‌شود. یافته‌ها نشان داد که در رقم CP69-1062، بالاترین مقادیر شاخص سطح برگ ، نسبت وزن برگ و دوام سطح

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

برگ در تراکم ۲۸ ساقه و در تاریخ ۳۰ مرداد حاصل شد که بیانگر هماهنگی مطلوب رشد اندام‌های رویشی در این رقم است. در رقم CP48-103 نیز بیش‌ترین شاخص سطح برگ در تراکم ۲۶ ساقه و در ۱۴ شهریور ثبت شد، در حالی‌که بیش‌ترین دوام سطح برگ در ۳۰ مرداد و بیش‌ترین نسبت وزن برگ در همان تراکم در ۱۴ شهریور مشاهده گردید. همچنین شاخص‌های سرعت رشد محصول ، سرعت جذب خالص، نسبت سطح برگ و سطح برگ ویژه در هر دو رقم، به ویژه در رقم CP48-103 در تراکم ۲۲ ساقه، در تاریخ ۱۵ مرداد به بیش‌ترین مقدار رسیدند. این الگوها نشان می‌دهد که کارایی رشد، سرعت انباشت ماده خشک و گسترش سطح برگ در هر دو رقم در میانه فصل رشد (نیمه مرداد) به اوج خود می‌رسد. در مجموع، نتایج حاکی از آن است که تنظیم تراکم ساقه و توجه به مراحل میانی رشد می‌تواند در بهبود عملکرد رشد رویشی و افزایش بازده نهایی ارقام نیشکر مؤثر باشد.

منابع

چعب، ع.، فتحی، غ.، سیادت، ع.، و عنافجه، ز. (۱۳۹۰). تأثیر تداخل جمعیت طبیعی علف‌های هرز بر شاخص‌های رشد ذرت *(Zea mays)* در تراکم‌های مختلف گیاهی. مجله تحقیقات زراعی ایران، ۷(۲)، ۳۹۱–۴۰۰.

Ahmad, T., Fiaz, N., Khaliq, T., Mudassir, M. A., Shafique, M., Sarwar, M. A., & Raza, H. A. (2022). Evaluating the effect of sugarcane planting methods on growth and radiation use efficiency of its different varieties. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 10, 131-138.

Archontoulis, S. V., & Miguez, F. E. (2015*).* *Nonlinear regression models and applications in agricultural research. Agronomy Journal,* 107(2), 786-798. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0506

Bush, A., Elamin, A. M., Ali, A. B., & Hong, L. (2016). Effect of different operating pressures on the hydraulic performance of drip irrigation system in Khartoum State conditions. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 6, 64–68.

Chien, H. F., Lin, C. C., & Wang, J. W. (2016). Dynamics of sugarcane growth and its relationship with climate factors. *Sugar Tech*, 18(3), 255-262. https://doi.org/10.1007/s12355-015-0400-1

Da Silva, V. S. G., Oliveira, M. W. D., Oliveira, T. B. A., Mantovanelli, B. C., Da Silva, A. C., Soares, A. N. R., & Clemente, P. R. A. (2017). Leaf area of sugarcane varieties and their correlation with biomass productivity in three cycles. *African Journal of Agricultural Research*, 12(7), 459-466.

Ferreira Junior, R. A., Souza, Z. M., Bottom, A., Tavares, R. L. M., Rossetto, R., & Oliveira, M. S. (2014). Plant density and its influence on nutritional status and technological quality of sugarcane. *Revista Ceres*, 61(4), 483-491. https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040007

Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical*

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

Transactions of the Royal Society of London, 115, 513-583. https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026

Inman-Bamber, N. G. (1994). Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. *Field Crops Research,* 36(1), 41-51. https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90051-5

Li, H., Zhang, X., Chen, Y., & Wu, L. (2022). Application of the Richards growth model to describe canopy expansion and physiological trait dynamics in sugarcane under different planting densities. *Field Crops Research*, 285, 108-122. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108122

Li, Y., Zhao, H., & Wang, X. (2023). Comparative evaluation of logistic, Gompertz, and Richards models for leaf area index simulation in sugarcane. *Agricultural and Forest Meteorology,* 333, 109423. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109423

Milligan, S. B., Gravois, K. A., Bischoff, K. P., & Martin, F. A. (1990). Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits. *Crop Science*, 30(4), 927-931. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000040034x

Moniruzzaman, M., Rokonuzzaman, M., Rahman, M. M., & Hasan, M. A. (2020). Growth and yield responses of sugarcane varieties to different planting techniques under farmers' field condition. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(4), 251-259. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2019.01.003.

Nguyen, H. T., Vo, L. T., Bui, X. H., Le, T. T., & Do, T. H. (2021). Modeling crop growth dynamics using the Richards function: Effects of plant density and genetic variation in sugarcane. *Agricultural Systems*, 190, 103116. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103116

Paine, C. E. T., Marthews, T. R., Vogt, D. R., Purves, D., Rees, M., Hector, A., & Turnbull, L. A. (2012). How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 245-256. https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00155.x

Poorter, H., & Garnier, E. (2007). Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In F. I. Pugnaire & F. Valladares (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2nd ed., pp. 67-100). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420007626.ch4

Rao, P., Natarajan, S., & Kumar, R. (2021). Evaluation of non linear growth models for modeling LAI and biomass accumulation in sugarcane under varying densities. *Field Crops Research*, 269, 108175. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108175

Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10(2), 290-301. https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290

Shah, S. S. H., Habib, U., Saeed, F., Javed, A., & Ahmad, M. (2022). Effect of planting density on leaf area index, radiation interception and yield of sugarcane *(Saccharum officinarum* L.) under subtropical conditions. *Agricultural Research*, 21(3), 145-154. https://doi.org/10.1007/s40003-021-00592-x

Silva, M. A., Campos, C. N. S., & Oliveira, R. A. (2020). Growth analysis of sugarcane under different planting densities and nitrogen levels. *Scientia Agricola*, 77(5), e20190057. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0057

Silva, M. A., Santos, C. M., Vitorino, H. S., & Rhein, A. F. L. (2014). Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, 30(1), 173-181.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

Silva, T., Lima, M., & Carvalho, F. (2020). Yield and quality parameters in sugarcane varieties under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 153, 112569. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112569

Silva, T. G. F., Moura, M. S. B., Zolnier, S., Soares, J. M., Vieira, V. J. S., & Gomes Junior, W. F. (2020). Water requirements and crop coefficients of sugarcane under semi-arid conditions in Brazil. *Agricultural Water Management*, 241, 106357. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357

Singels, A., Donaldson, R. A., & Smit, M. A. (2005). Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crops Research*, 92(2-3), 291-303. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.022

Singels, A., Smit, M. A., van den Berg, M., & Bezuidenhout, C. N. (2014). Modelling and analysis of physiological responses of sugarcane to plant density and light competition under field conditions. *Field Crops Research*, 167, 38-48. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.002

Singh, P., Kumar, R., Tiwari, S., Singh, S., & Singh, R. K. (2023). Sugarcane breeding and genomics: recent advances and future perspectives. *Sugar Tech*, 25(1), 15-29. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01189-1

Singh, P., Kumar, S., & Lal, R. (2021). Influence of plant population and row spacing on canopy development, LAI dynamics, and productivity of sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivars. *Field Crops Research*, 274, 108331. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108331

Singh, R. K., Sharma, K., & Patel, V. B. (2023). Modelling growth and yield prediction in sugarcane using non-linear regression approaches. *Sugar Tech*, 25(1), 1-14. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01130-9

van der Werf, W., Gaudio, N., Stigter, J. D., Werger, M. J. A., & Evers, J. B. (2023). Functional interpretation of analytical derivatives and integrals of sigmoid growth functions for crop physiological indices. *Annals of Botany*, 132(4), 451-466. https://doi.org/10.1093/aob/mcad012

Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique*, 10, 113-121.

Wang, X., Ye, T., Ata-Ul-Karim, S. T., Zhu, Y., Liu, L., Cao, W., & Tang, L. (2017). Development of a critical nitrogen dilution curve based on leaf area duration in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1517.

Zhang, Y., Li, P., Xu, G., & Wang, S. (2012). Modeling leaf area and leaf weight ratio dynamics of crop growth using the Richards function under varying planting densities. *Field Crops Research*, 136, 55-63. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.004

Zhang, Y., Li, Z., Li, J., & Chen, G. (2022). Modeling crop growth and biomass accumulation of sugarcane using logistic and Richards functions under different planting densities. *Field Crops Research*, 283, 108562. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108562

Zhao, D., Li, Y., & Yang, S. (2022). Growth response of sugarcane to varying nitrogen levels under subtropical conditions. *Sugar Tech*, 24(5), 1185-1196. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01102-1

Zhao, D., Li, Y., & Yang, S. (2022). Modeling canopy development and biomass accumulation in sugarcane using nonlinear growth functions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314, 108801. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108801

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]

Evaluation of Physiological Growth Indices of Two Commercial Sugarcane Cultivars under Different Plant Densities Using Sigmoid Models

A. Azizi[1], H. Roshanfekr[2*], P. Hassibi[3], H. Noroozi[4]

1, 2 & 3) Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
4) Agronomy Research Group, Sugarcane Development Research and Training Institute of Khuzestan, Ahvaz, Iran.

***Corresponding author: h.roshanfekr@scu.ac.ir**

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2025.08.25 **Accepted date: 2025.11.25**

Abstract

Stem density is one of the most important management factors in sugarcane cultivation, directly affecting the physiological growth indices. This study was carried out with the aim of evaluating the effect of four stem density levels (22, 24, 26, and 28 stems per square meter) on seven physiological growth indices, including leaf area index, crop growth rate, net assimilation rate, leaf area duration, leaf area ratio, leaf weight ratio, and specific leaf area, in two commercial cultivars, CP69-1062 and CP48-103. The experiment was conducted as split plots in a randomized complete block design with three replications at the Amir Kabir Sugarcane Agro-Industry Farm in Ahvaz (southern Khuzestan Province).The results showed that the density of 22 stems provided the best conditions for crop growth rate, net assimilation rate, leaf area ratio, and specific leaf area, while the density of 28 stems resulted in the highest values of leaf area index, leaf weight ratio, and leaf area duration. Comparison of the cultivars indicated that CP69-1062 had greater stability, whereas CP48-103 showed greater sensitivity to increasing density. At densities above 26 stems, a severe decrease in physiological indices (except for leaf area index, leaf weight ratio, and leaf area duration) was observed. Growth modeling using three sigmoidal models (logistic, Gompertz, and Richards) showed that the logistic model had the best overall fit for evaluating the seven indices, whereas Richards model, due to having a flexible shape parameter (d), provided higher accuracy for net assimilation rate, leaf area ratio, leaf weight ratio, and leaf area duration, which have asymmetric patterns. The parameters of the models (x_0, a, b, d) quantified the patterns of variation in physiological indices under different stem densities. Based on logistic and Richards models, a density of 22–24 stems for CP69-1062 and 22–26 stems for CP48-103 is recommended.

Key words: Logistic model, Richards, intraspecific competition and nonlinear regression.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-24]