



تخمین برخی پارامترهای مهم مورد استفاده در پیش بینی رشد گندم

علی راحمی کاریزکی^۱، عباس بیابانی^۲، نبی خلیلی اقدم^۳

دریافت: ۹۶/۲/۷ پذیرش: ۹۶/۵/۳۱

چکیده

به جهت اهمیت فیزیولوژیکی پارامترهای مدل‌های رگرسیون غیر خطی در الگوهای رشد سیگموئیدی در این تحقیق از هشت مدل رگرسیون غیرخطی (بتا ۱، بتا ۲، لجستیک، ریچاردز، گامپرتز، نمائی متقارن، نمائی بریده و ویبول) برای توصیف روند تغییرات ماده خشک تجمعی و از دو مدل لجستیک و بتا برای توصیف روند تغییرات سطح برگ دو رقم گندم در دو سطح کودی استفاده شد. به این منظور آزمایشی در قالب فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو سطح کودی (صفر و ۱۵۰ کیلوگرم ازت در رقم کوهدشت، صفر و ۱۲۰ کیلوگرم کود ازته در رقم دوروم) در طی دو سال زراعی (۹۳-۹۴ و ۹۴-۹۵) به صورت آزمایش مرکب در دانشگاه گنبد کاووس به اجرا درآمد. نتایج برازش داده‌های سطح برگ به مدل‌های لجستیک و بتا نشان داد که هر دو مدل به خوبی قادر به توصیف تغییرات شاخص سطح برگ بوده‌اند و هیچ کدام برتری نسبی بر دیگری ندارند. ضمن اینکه در هر رقم و هر مدل مصرف کود هر چند کم ولیکن سبب کاهش مقدار $RMSE$ و افزایش R^2 مدل شد. همچنین حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) در رقم کوهدشت در هر دو سطح کودی در هر دو مدل بالاتر از رقم دوروم بود. همچنین نتایج نشان داد که کلیه مدل‌ها به خوبی روند تغییرات ماده خشک تجمعی را در برابر روز پس از کشت در هر دو سطح کودی نشان دادند اما در این بین، مدل‌های ریچاردز، نمایی متقارن، نمائی بریده و ویبول به لحاظ مقادیر آماره‌های محاسبه شده، کمی مناسب‌تر از سایر مدل‌ها بودند، ضمن اینکه از پارامترهای بدست آمده در این مدل‌ها (حداکثر ماده خشک تجمعی، سرعت رشد نسبی در فاز خطی و نمائی، زمان ازدست رفته تا شروع فاز نمایی، شیب افزایش ماده خشک در طی زمان و زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول) می‌توان در مطالعات مربوط به مقایسه ارقام و تیمارهای مختلف، آنالیز رشد و شبیه سازی رشد و تولید گندم استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، گندم، مدل، وزن خشک

راحمی کاریزکی، ع.، ع. بیابانی و ن. خلیلی اقدم. ۱۳۹۸. تخمین برخی پارامترهای مهم مورد استفاده در پیش بینی رشد گندم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۹: ۸۶-۹۹.

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران- مسئول مکاتبات. alirahemi@yahoo.com

۲- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۳- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، گنبد کاووس، ایران

مقدمه

مدلهای رشد گیاهی در سطح وسیعی برای تحقیقات و مدیریت گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و کارایی آن‌ها بیشتر متأثر از دقت در پیش بینی سطح برگ بوده‌است (خمیس و همکاران، ۲۰۰۵)، زیرا رشد برگ دارای بیشترین نقش و اهمیت در ماده خشک تجمعی است. بنابراین استفاده از مدل‌های ریاضی بعنوان یک روش ساده در تخمین سطح برگ به صورت تابعی از پارامترهای رشد معرفی شده‌است (کارا داوود و همکاران، ۲۰۱۰، کیماز و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین به دلیل بروز خطاهای بزرگ در ضمن اندازه‌گیری برگ‌ها، به واسطه تأثیرات شکل برگ و زمان نمونه‌برداری، استفاده از روش‌های غیر تخریبی (روش‌های مبتنی بر تخمین سطح برگ با استفاده از مدل‌های ریاضی) بر روش‌های تخریبی (اندازه‌گیری مستقیم سطح برگ با دستگاه) ارجحیت دارد (تسیالاناس و ماسلاریس، ۲۰۰۸). در همین ارتباط آنالیز رشد یکی از روش‌های مفید در کمی کردن رشد و برآورد میزان تولید گیاهان زراعی بوده و بر اندازه‌گیری متوالی وزن خشک و سطح برگ گیاهان استوار است (غدیریان و همکاران، ۲۰۱۱).

بنابراین امروزه استفاده از توابع رگرسیونی (خطی و غیر خطی) در جهت تخمین پارامترهای آنالیز رشد، تشخیص تفاوت‌های ژنتیکی و اختلافات متأثر از عوامل محیطی (خاک، آب قابل دسترس، کود، مدیریت گیاه زراعی)، عمومیت بیشتری پیدا کرده‌است (مجنون هریس و کریم زاده، ۲۰۱۴). علیرغم این‌که از مدل‌های رگرسیونی خطی می‌توان در بیان تغییرات ماده خشک و سطح برگ در طی زمان سود برد اما پارامترهای این مدل‌ها عموماً فاقد مفهوم بیولوژیکی هستند، در حالی‌که اغلب پارامترهای مدل‌های رگرسیونی غیر خطی دارای مفاهیم زیست‌شناختی بوده و دارای واحد هستند (ین و همکاران، ۲۰۰۳). ضمن این‌که از مدل‌های رگرسیون غیر خطی نسبت به مدل‌های تجربی (چندجمله‌ای) (لجستیک، گومپرتز، برتالانفی-ریچاردز و بتا) در مدل‌سازی رشد و نمو، تجمع ماده خشک و عملکرد، بیشتر استفاده شده‌است (لی و ژانگ، ۲۰۰۴، پراساد و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعات آنالیز رشد در ایران اغلب از معادلات چند جمله‌ای و چند جمله‌ای‌نمایی استفاده شده‌است (سید شریفی و همکاران، ۲۰۰۸، محلوچی و افیونی، ۲۰۰۴) که دلیل اصلی عدم استفاده از دیگر توابع رگرسیونی را می‌توان در دسترسی کمتر به اطلاعات مربوط به توابع رگرسیونی غیر خطی دانست (سلطانی، ۲۰۰۶).

از جمله مدل‌های رشد رگرسیونی غیر خطی معمول می‌توان به لجستیک، گومپرتز، ریچاردز، ویبول، نمایی متقارن، نمایی بریده، نمایی خطی و بتا اشاره داشت (تایمرمانز و همکاران،

۲۰۰۷، رویو همکاران، ۲۰۰۴، مولر و همکاران، ۲۰۰۶ ایشاک و دنت، ۱۹۹۸). به عقیده آرچونتولیس و میگز (۲۰۱۷) مدل‌های رگرسیون غیرخطی از اهمیت بیشتری نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی برخوردار هستند زیرا قادر به پیش‌بینی بهتر و دقیق‌تر بسیاری از فرآیندهای گیاهی و خاکی هستند. بررسی کارایی مدل‌های رگرسیون خطی (خطی ساده، چند جمله‌ای) و رگرسیون غیرخطی (لجستیک، ریچاردز و گومپرتز) در توصیف تغییرات شاخص سطح برگ چغندر قند نشان داد که دقت مدل‌های رگرسیون غیرخطی در پیش‌بینی سطح برگ چغندر قند بیشتر از مدل‌های رگرسیون خطی بوده‌است (کیماز و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج کاراداوود و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که در پیش‌بینی شاخص سطح برگ ذرت، مدل‌های ریچاردز، لجستیک و گومپرتز دارای ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای نسبی و مجموع مربعات خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌های غیر خطی (ویبول و MMF) هستند. مطلوبیت مدل‌های غیر خطی در پیش‌بینی سطح برگ تنباکو نیز در مطالعه اسماعیل و خمیس (۲۰۰۴) نیز گزارش شده‌است. از طرفی در ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی در آنالیز رشد دو رقم زاگرس و آریای گندم، تمامی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی (بتا، گومپرتز، لجستیک، نمایی متقارن، نمایی بریده، ویبول و ریچاردز) به خوبی روند تغییرات وزن خشک و سطح برگ را در برابر زمان توصیف کرده‌اند (قدیریان و همکاران، ۲۰۱۱). با وجود این‌که در مطالعات دیگری مقایسه بین مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای تخمین رشد سطح برگ و ماده خشک تجمعی استفاده شده‌است، در این تحقیق هدف آزمون کارایی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی برای دو رقم گندم بوده که تا کنون مطالعه‌ای روی آن‌ها صورت نگرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس (به مختصات ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار تحت شرایط دیم و عدم محدودیت عناصر غذایی (به استثنای کود ازته) و کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به اجرا درآمد. جهت آماده‌سازی زمین زراعی برای کشت و خرد کردن کلوخه‌ها ابتدا به وسیله گاواهن برگردان‌دار در آبان ماه ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ شخم و سپس دو دیسک عمود بر هم زده شد. رقم در دو سطح شامل گندم نان رقم کوه‌دشت (*Triticum aestivum* L.)، گندم دوروم رقم سیمره (*Triticum turgidum* L.)، *Triticosecale*

دیگلفونال برای گندم نسبت ۲ در هزار انجام گرفت. قبل از انجام آزمایش در هر سال زراعی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک، نمونه برداری انجام و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱-۳) که بر اساس نتایج حاصله بافت خاک لوم سیلتی بود.

wittmack L. و عامل نیتروژن در دو سطح عدم مصرف و مصرف در حد مطلوب با منشأ اوره مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی دارای ۷ خط کشت به طول ۵ متر و به فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر بود. تراکم مطلوب نیز ۳۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از کشت، ضدعفونی بذور با استفاده از سم

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی متری).

مشخصه	سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳	سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱/۱۹	۱/۲۱
اشباع اسیدپته کل	۷/۹	۷/۹۹
مواد خنثی شونده (درصد)	۹/۸	۱۱/۸
کربن آلی (درصد)	۰/۶۸	۰/۷۶
ازت کل (درصد)	۰/۱۱۷	۰/۱۱۲
فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۳/۴	۱۶/۲
پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	۳۵۶	۳۷۰
رس (درصد)	۱۵	۲۵
سیلت (درصد)	۶۴	۶۰
شن (درصد)	۲۱	۱۵

ساقه رفتن و سه هفته بعد از اولین سم پاشی استفاده شد. آفات مشاهده شده بسیار اندک بوده و از آنجا که در حد آستانه اقتصادی نبود؛ تصمیمی در جهت مبارزه با آن با توجه به جمعیت پایین آن‌ها در این آزمایش اتخاذ نشد. در طول دوره رشد از سبز شدن تا رسیدگی اندازه گیری های سطح برگ و وزن خشک کل انجام شد. در هر کرت به طور تصادفی از ابتدای فصل رشد تعداد ۱۰ بوته انتخاب و اندازه گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل (DELTA-T) و ثبت وزن خشک کل (برگ سبز، برگ زرد، ساقه و دانه) در طی هر مرحله از نمونه برداری در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. در این تحقیق برای ارزیابی مدل های مختلف رگرسیون غیر خطی در توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در طی دوره رشد گیاه از دو مدل زیر استفاده شد:

۱- مدل بتا (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$y = I_{\max} \left[\left(\frac{t_e - x}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{x - t_b}{t_m - t_b} \right)^{\frac{t_m - t_b}{t_e - t_m}} \right]^{\delta}$$

که در آن x ، روز پس از کشت، y مقدار شاخص سطح برگ، I_{\max} حداکثر شاخص سطح برگ، t_b زمان شروع رشد

تاریخ کاشت بر اساس عرف منطقه از اوایل تا اواخر آذر ماه بود. در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ کشت در تاریخ ۱۷ آذر و در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در ۱۹ آذر انجام شد. لازم به ذکر است که توصیه کودی برای ارقام مورد آزمایش، متفاوت بوده و با توجه به متوسط آمار عملکرد ده ساله ارقام و معرفی شده ایستگاه تحقیقات گنبد کاووس در نظر گرفته شد. کود مطلوب برای گندم نان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و برای گندم دوروم ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. برای تأمین کود فسفره مورد نیاز گیاه ۹۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار به صورت پایه به خاک اضافه شد. لازم به ذکر است جهت تعیین حد مطلوب کود نیتروژن برای هر تیمار، از پیش بینی مقدار کود بر اساس تخمین میانگین عملکرد استفاده شد. با توجه به آمار ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس، عملکرد گندم نان رقم کوهدشت ۲/۵ تن در هکتار و عملکرد گندم دوروم رقم سیمره ۲ تن در هکتار گزارش شده است. با احتساب ۲ درصد ازت در دانه و با محاسبات ریاضی مقدار سطح کودی مطلوب برای هر غله به دست آمد. در هر دو سال کنترل علف های هرز به صورت دستی در چندین مرحله در طول فصل رشد انجام گرفت. جهت کنترل بیماری های زنگ و سفیدک از سم تیلت به نسبت دو در هزار در طی دو مرحله بعد از

جهت توصیف روند تغییرات ماده خشک تجمعی در طی زمان نیز از مدهای رگرسیون غیر خطی زیر استفاده شد:

۳- مدل بتا ۱ (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$W = W_{\max} \left(1 + \frac{t_e - x}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{x}{t_e} \right)^{\frac{t_e}{t_e - t_m}}$$

که در آن x ، روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، t_m زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول و t_e زمان پایان دوره رشد است که در آن ماده خشک تجمعی برابر W_{\max} است.

$$W = \begin{cases} w_b & \\ w_b + (W_{\max} - w_b) \left(1 + \frac{t_e - x}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{x - t_b}{t_e - t_b} \right)^{\frac{t_m - t_b}{t_e - t_b}} & \\ W_{\max} \{ \} & \end{cases}$$

with $t_b < t_m < t_e$

زمان t_m شیب افزایش ماده خشک در حداکثر مقدار خود قرار دارد و برابر سرعت نسبی رشد محصول است.

۶- مدل ریچاردز (ریچاردز، ۱۹۵۹؛ ویلگاس و همکاران، ۲۰۰۱؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۶):

$$W = \frac{W_{\max}}{\left[1 + v e^{-k(x-t_m)} \right]^{\frac{1}{v}}}$$

که در آن x روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، k شیب افزایش ماده خشک در طی زمان و t_m زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول است (در این زمان ماده خشک تجمعی به نصف حداکثر مقدار خود رسیده است). در زمان t_m سرعت رشد نسبی محصول برابر است با مقدار $\frac{k}{1+v}$.

مدل ویبول (ویبول، ۱۹۵۱؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$W = W_{\max} \left(1 - e^{-ax^b} \right)$$

که در آن x ، روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، a و b ضرایب ثابت معادله بوده و شکل منحنی را تعیین می‌کنند.

مدل نمایی خطی متقارن (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

دانه، t_m زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، t_e زمان پایان رشد برگ که در آن شاخص سطح برگ صفر می‌باشد و δ ضریب ثابت مدل است.

۲- مدل لجستیک (عرب عامری، ۲۰۰۸ و راحمی کاریزکی، ۲۰۰۵):

$$y = \frac{ae^{-a(x-b)(c)}}{\left(1 + e^{-a(x-b)} \right)^2}$$

که در آن x ، روز پس از کشت، a ضریبی ثابت بوده و میزان چرخش منحنی را نشان می‌دهد، b زمانی که حداکثر شاخص سطح برگ اتفاق می‌افتد و c نیز یک ضریب ثابت است. مدل بتا ۲ (ین و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۶):

if $x < t_b$

if $t_b < x < t_e$

if $x > t_e$

که در آن x ، روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، W_b مقدار ماده خشک اولیه در شروع رشد، t_b زمان شروع رشد، t_m زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول و t_e زمان پایان دوره رشد است.

۴- مدل لجستیک (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$W = \frac{W_{\max}}{1 + e^{-k(x-t_m)}}$$

که در آن x روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، k شیب افزایش ماده خشک در طی زمان و t_m زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول است (در این زمان ماده خشک تجمعی به نصف حداکثر مقدار خود رسیده است). در زمان t_m شیب افزایش ماده خشک نیز در نصف حداکثر مقدار خود قرار دارد و برابر سرعت نسبی رشد محصول است.

۵- مدل گومپرتز (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$W = W_{\max} e^{-e^{-k(x-t_m)}}$$

که در آن x ، روز پس از کشت، W_{\max} حداکثر ماده خشک تجمعی، k شیب افزایش ماده خشک در طی زمان و t_m زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول است (در این زمان ماده خشک تجمعی به نصف حداکثر مقدار خود رسیده است). در

هر دو مدل ضرایب عرض از مبدا و شیب رگرسیون معنی دار نبود و مقادیر RMSE و نیز در دو مدل در حد قابل قبولی بودند. ضمن اینکه مقادیر ضریب تغییرات برای هر دو مدل نیز در دامنه مناسب قرار داشتند (جدول ۱). از آنجائی که مقادیر کمتر RMSE و R^2 بالاتر بر برتری مدل در توصیف مناسب تر از روند تغییرات صفت مورد مطالعه دلالت دارد، در این بررسی با توجه به نزدیکی مقادیر RMSE و R^2 به هم در هر دو مدل، این مورد نشان دهنده این است که هر دو مدل به خوبی قادر به توصیف تغییرات شاخص سطح برگ بوده اند و هیچکدام برتری نسبی بر دیگری ندارند. روند تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم گندم در هر دو سطح کودی به تفکیک نیز به خوبی گویای این مطلب است (شکل ۱). نکته قابل توجه این است که در هر رقم و هر مدل مصرف کود هر چند کم سبب کاهش مقدار RMSE و افزایش R^2 مدل شد. در غلب موارد نیز مصرف کود باعث کاهش ضریب تغییرات مدل نیز شد. مقادیر پارامترهای برآورد شده با استفاده از این مدل-ها نیز نشان داد که حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) در رقم کوهدشت در هر دو سطح کودی بالاتر از رقم دوروم بود.

زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ نیز در رقم کوهدشت با یک روز اختلاف در هر سطح کودی از رقم دوروم دیرتر اتفاق افتاد. نتایج همچنین نشان داد که زمان پایان رشد برگ (Te) در رقم کوهدشت در دو سطح کودی دیرتر از رقم دوروم بود و همین مورد بر طویل بودن طول دوره رشد برگ در رقم کوهدشت تأکید دارد. نکته قابل توجه در مصرف کود این بود که مصرف آن ضمن شروع زودتر رشد سطح برگ، زمان پایان رشد برگ را نیز به تاخیر انداخت (جدول ۲). در مورد مدل لجستیک نیز نتایج بر معنی دار بودن این مدل در توصیف روند تغییرات سطح برگ دلالت داشت. در مدل لجستیک همچنین زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ (b) در دو سطح کودی در هر دو رقم اختلاف زمانی یک روزه را داشت و چندان قابل توجه نبود.

کیماز و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی کارائی مدل های رگرسیون خطی (خطی ساده و چند جمله ای) و رگرسیون غیرخطی (لجستیک، ریچاردز و گومپرتز) در توصیف تغییرات سطح برگ چغندر قند نشان دادند که دقت مدل های رگرسیون غیرخطی در پیش بینی سطح برگ چغندر قند بیشتر از مدل های رگرسیون خطی بوده است. نتایج کاراداوود و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که در پیش بینی شاخص سطح برگ ذرت، مدل های ریچاردز، لجستیک و گومپرتز دارای ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای نسبی (MRE)، و مجموع مربعات خطای کمتری نسبت به سایر مدل های غیر خطی (ویبول و بتا) هستند.

$$w = \frac{c_m}{r_m} \ln \left[\frac{1 + e^{r_m(x-t_o)}}{1 + e^{r_m \left(x-t_o - \left(\frac{w_{max}}{c_m} \right) \right)}} \right]$$

که در آن x ، روز پس از کشت، w_{max} حداکثر ماده خشک تجمعی، c_m حداکثر سرعت رشد محصول در فاز خطی رشد، r_m حداکثر سرعت رشد محصول در فاز نمایی و t_o زمان از دست رفته تا شروع فاز خطی رشد است.

مدل نمایی خطی بریده (گوادریان و مونیتث، ۱۹۹۹؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$\text{if } x < t_o + \frac{w_{max}}{c_m}$$

$$\text{if } x \geq t_o + \frac{w_{max}}{c_m}$$

$$w = \begin{cases} \frac{c_m}{r_m} \ln [1 + e^{r_m(x-t_o)}] \\ w_{max} \end{cases}$$

که در آن x ، روز پس از کشت، w_{max} حداکثر ماده خشک تجمعی، c_m حداکثر سرعت رشد محصول در فاز خطی رشد، r_m حداکثر سرعت رشد محصول در فاز نمایی و t_o زمان از دست رفته تا شروع فاز خطی رشد است.

استخراج ضرایب کلیه مدل ها در محیط نرم افزار SAS (SAS, 2009) با روش مطلوب سازی تکراری با استفاده از رویه Proc nlin صورت گرفت. بهترین برآورد پارامترها و دقت بالاتر مدل ها براساس خطای معیار (SE) کمتر، جذر میانگین مربعات خطای کمتر (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) بالاتر، ضریب تغییرات کمتر و عدم معنی داری مقادیر عرض از مبدا و شیب معادله خطی برازش یافته بر مقادیر اندازه گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده تجزیه رگرسیون با عرض از مبدا و شیب معادله خطی یک و یک مشخص شد. ضرایب عرض از مبدا و شیب رگرسیون به ترتیب بیانگر مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و مقدار انحراف یا خطای خط رگرسیون از خط یک به یک است که در حالت ایده آل باید عرض از مبدا برابر صفر و شیب ۴۵ درجه برابر یا یک باشد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در دو رقم گندم (کوهدشت و دوروم) در هر دو سطح مصرف کودی در طی دو سال زراعی با استفاده از دو مدل لجستیک و بتا نشان داد که در

جدول ۱- رابطه‌ی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی تغییرات شاخص سطح برگ توسط مدل‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک و بتا در دو رقم گندم در سطوح صفر و مطلوب نیتروژن در طی دو سال زراعی (n: تعداد نمونه برداری)

CV	R ²	RMSE	b±SE	a±SE	نیتروژن	n	مدل	غلات
۱۹/۷	۰/۹۵	۰/۴۲	۱/۰۲±۰/۰۹۳	-۰/۰۸۸±۰/۲۴	صفر	۹	لجستیک	کوه‌دشت
۱۵/۵۲	۰/۹۷	۰/۴۱	۱/۰۱±۰/۰۶۵	-۰/۰۵۰۸±۰/۲۲	۱۵۰ کیلوگرم	۹		
۱۹/۲۱	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۹۸±۰/۰۸۷	۰/۱۳۰±۰/۲۲	صفر	۹	بتا	
۱۶/۹۷	۰/۹۵	۰/۴۰	۱/۲۷±۰/۱۰۹	-۱/۰۵±۰/۳۶	۱۲۰ کیلوگرم	۹		
۱۵/۵۵	۰/۹۲	۰/۴۵	۱/۰۳±۰/۱۱	-۰/۱۰۱±۰/۲۷	صفر	۹	لجستیک	دوروم
۱۸/۲۱	۰/۹۵	۰/۳۸	۱/۰۶±۰/۰۹۵	-۰/۱۸۱±۰/۲۴	۱۵۰ کیلوگرم	۹		
۲۲/۲۹	۰/۹۳	۰/۴۳	۰/۹۷±۰/۱۰۱	۰/۰۸۰±۰/۲۳	صفر	۹	بتا	
۱۳/۲۹	۰/۹۷	۰/۲۷	۰/۹۹±۰/۰۶۴	۰/۰۸۳±۰/۱۶	۱۲۰ کیلوگرم	۹		

RMSE، جذر میانگین مربعات خطا؛ R²، ضریب تبیین؛ CV، ضریب تغییرات و ضرایب رگرسیون (a و b).

جدول ۲- ضرایب رگرسیون برای مدل‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک و بتا در توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در دو رقم گندم در سطوح صفر و مطلوب نیتروژن در طی دو سال زراعی (n: تعداد نمونه برداری)

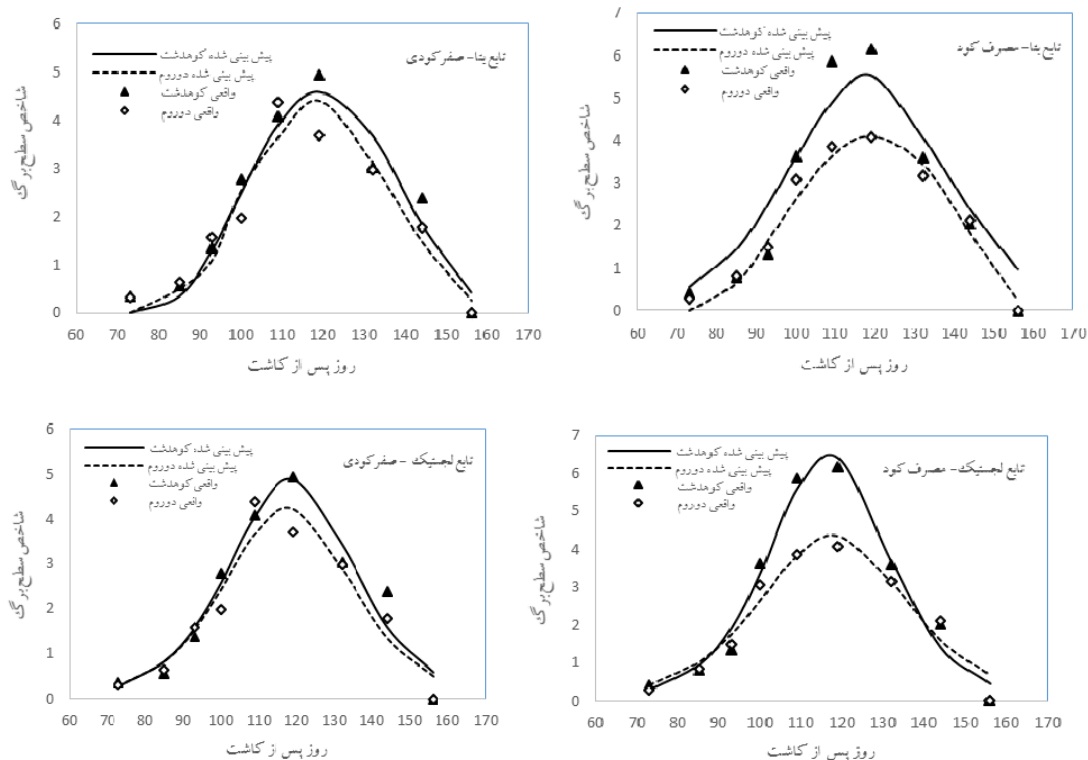
Pmodel	Delta±SE	T _e ±SE	T _m ±SE	T _b ±SE	LAImax±SE	نیتروژن	n	غلات	مدل
۰/۰۰۱	۳/۸۷±۷/۷۶	۱۷۴/۰±۴۹/۸۸	۱۱۹/۵±۲/۹۲	۷۳±۳۳/۵۶	۴/۵۹±۰/۴۶	صفر	۹	کوه‌دشت	بتا
۰/۰۰۱	۲/۹۳±۴/۳۹	۱۷۶/۰±۲۵/۴۰	۱۱۸/۶±۷/۰۰	۷۳±۲۲/۸۰	۵/۵۲±۰/۹۵	۱۵۰ کیلوگرم	۹		
۰/۰۰۲	۳/۰۵±۵/۴۷	۱۶۷/۶±۳۷/۷۹	۱۱۷/۸±۳/۳۶	۷۳±۳۱/۴۷	۴/۰۴±۰/۴۴	صفر	۹	دوروم	
۰/۰۰۰۴	۱/۹۷±۱/۵۳	۱۶۱/۱±۱۰/۹۷	۱۱۶/۵±۲/۳۱	۷۳±۱۷/۷۹	۴/۱۰±۰/۲۹	۱۲۰ کیلوگرم	۹		
		Pmodel	c±SE	b±SE	a±SE				
		۰/۰۰۱	۲۱۳/۴±۱۵/۵۸	۱۱۸/۵±۱/۳۹	۰/۰۹±۰/۰۰۸	صفر	۹	کوه‌دشت	لجستیک
		۰/۰۰۱	۲۵۲/۱±۱۳/۹۳	۱۱۶/۷±۰/۹۵	۰/۱۰۳±۰/۰۰۶	۱۵۰ کیلوگرم	۹		
		۰/۰۰۱	۱۸۹/۱±۱۶/۸۳	۱۱۷/۶±۱/۷۳	۰/۰۸۹±۰/۰۰۹	صفر	۹	دوروم	
		۰/۰۰۱	۲۰۹/۱±۱۵/۱۸	۱۱۷/۸±۱/۵۰	۰/۰۸۳±۰/۰۰۷	۱۲۰ کیلوگرم	۹		

شیب رگرسیون خط رگرسیون با عرض از مبدا و شیب خط یک به یک و اریب دار بودن آن است (غدیریان و همکاران، ۱۳۹۰). لذا در انتخاب معنی‌دار بودن یا نبودن شیب رگرسیون و عرض از مبدا خط رگرسیون در گزینش دارای اهمیت است و باید مدل‌هایی را انتخاب کرد که ضرایب a و b آن‌ها معنی‌دار نباشد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار ضریب تغییرات و ریشه میانگین مربعات خطا در تمام مدل‌ها در سطح قابل قبولی قرار داشت و میزان R² نیز در اکثر مدل‌ها بالاتر از ۹۷ درصد بود و همین مورد نشان‌دهنده برازش مناسب تمام مدل‌ها بر داده‌های تجمع ماده خشک در دو رقم در دو سطح کودی است. در بین تمامی مدل‌ها، مدل‌های ریچاردز، نمایی متقارن، نمایی بریده و ویبول به لحاظ

روند تغییرات تجمع ماده خشک در دو رقم گندم در دو سطح کودی به تفکیک با استفاده از هشت مدل رگرسیون غیرخطی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌است. پراکنش مناسب داده‌های مشاهده شده در کنار منحنی داده‌ها پیش‌بینی شده با مدل‌ها نشان‌دهنده برازش مناسب این مدل‌ها بر داده‌ها می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳). معنی‌دار نبودن مقادیر عرض از مبدا و شیب خط رگرسیون برازش یافته بر داده‌های مشاهده شده در مقابل داده‌های شبیه‌سازی نشان داد که مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط یک به یک در هیچ یک از مدل‌ها معنی‌دار نشد. زیرا معنی‌دار شدن عرض از مبدا و شیب رگرسیون به معنی عدم مطابقت عرض از مبدا و

مصرف کود نبود و با این حال مصرف کود سبب کاهش این شیب در رقم دوروم شد و نهایتاً همین مورد زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول (t_m) در این رقم را نسبت به تیمار عدم مصرف کود تا ۱۰ روز افزایش داد. در مدل نمائی مقارن نیز در هر دو رقم مصرف کود حداکثر ماده خشک تجمعی (W_{max}) را افزایش داد و در کل در مدل نمائی مقارن مقدار ماده خشک تجمعی بیشتر از مدل ریچاردز برآورد شده بود و مقدار آن در هر دو حالت مصرف کودی در رقم دوروم بیشتر از رقم کوهدشت بود.

مقادیر آماره‌های محاسبه شده، کمی مناسب‌تر از سایر مدل‌ها بودند، ضمن اینکه پارامترهای بدست آمده در این مدل‌ها جهت استفاده در مطالعات شبیه‌سازی، مقایسه ارقام و تیمارهای مختلف دارای اهمیت فراوانی هستند (جدول ۳). در مدل ریچاردز، بالاترین ماده خشک تجمعی (W_{max}) در هر دو تیمار مصرف و عدم مصرف کود در رقم کوهدشت بیشتر از رقم دوروم بود اما سطح افزایش ماده خشک تجمعی در اثر مصرف کود در رقم دوروم به مراتب بیشتر از رقم کوهدشت بود. همچنین شیب افزایش ماده خشک در طی زمان (k) در رقم کوهدشت متأثر از



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم گندم (کوهدشت و دوروم) با استفاده از مدل‌های بتا ولجستیک در دو سطح کودی به تفکیک

ویبول نیز فقط پارامتر حداکثر ماده خشک تجمعی در مطالعات مقایسه‌ای بین تیمارها دارای اهمیت است و مقدار آن مشابه برآورد سایر مدل‌ها در رقم کوهدشت بیشتر از گندم دوروم بود. ضمن اینکه مصرف کود باعث افزایش ماده خشک تجمعی در هر دو رقم شد با این تفاوت که پاسخ رقم دوروم از لحاظ میزان افزایش در ماده خشک تجمعی به مصرف کود بیشتر از رقم کوهدشت بود.

ین و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای بر روی نخود فرنگی و گندم بیان داشتند که مدل‌های نمائی بریده و مدل بتا ۱ نسبت به سایر مدل‌ها برازش مناسب‌تری از ماده‌ی خشک تجمعی داشتند.

بررسی پارامترهای مدل نمائی بریده نیز نشان داد که رقم کوهدشت در هر دو تیمار کودی دارای سرعت رشد نسبی بالاتری در فاز خطی (C_m) از رقم دوروم بود و برعکس سرعت رشد نسبی در فاز نمائی (T_m) در رقم دوروم بیشتر از رقم کوهدشت بود و همین تأخیر در رسیدن حداکثر سرعت رشد نسبی در فاز خطی در رقم دوروم سبب افزایش زمان از دست رفته تا شروع فاز نمائی (t_0) شد. با این وجود مصرف کود در هر دو رقم موجب کاهش این دوره زمانی شد. حداکثر ماده خشک تجمعی (W_{max}) برآورد شده در این مدل برای رقم کوهدشت در هر دو سطح کودی نیز بیشتر از رقم دوروم بود (جدول ۴). در مدل

غدیریان و همکاران (۱۳۹۰) نیز در آنالیز رشد ماده خشک تجمعی روند تغییرات ماده خشک تجمعی در طی زمان بودند و اما مدل در گندم نشان دادند که همه مدل‌ها دارای برازش قابل قبولی از نمایی بریده اندکی برتر از سایر مدل‌ها بود.

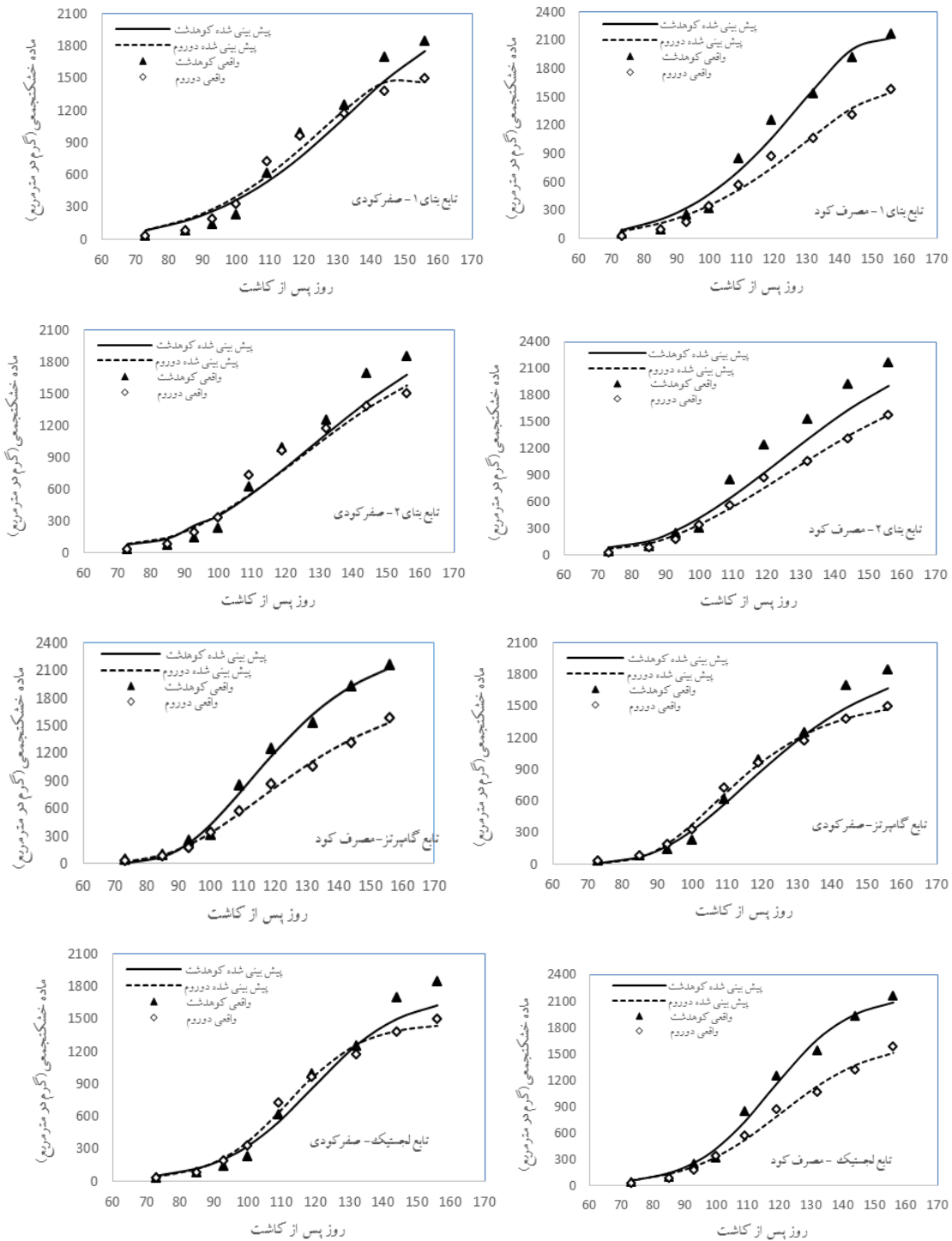
جدول ۳- رابطه‌ی خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی تغییرات شاخص سطح برگ توسط مدل‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک و بتا در دو رقم گندم در سطوح صفر و مطلوب نیتروژن در طی دو سال زراعی (n تعداد نمونه برداری)

مدل	غلالت	n	نیتروژن	a±SE	b±SE	RMSE	R ²	CV
بتا ۱	کوهدشت	۹	صفر	-۴۹/۴۱±۹۱/۲۴	۱/۰۴±۰/۰۹۹	۱۶۸/۲۴	۰/۹۴	۲۳/۸۰
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	-۴۸/۹۳±۶۵/۳۸	۱/۰۳±۰/۰۵۵	۱۲۰/۰۷	۰/۹۸	۱۲/۸۷
	دوروم	۹	صفر	-۴۷/۲۳±۵۵/۰۶	۱/۰۴±۰/۰۶۲	۹۵/۴۸	۰/۹۷	۱۳/۵۴
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	-۳۲/۴۲±۳۹/۲۸	۱/۰۳±۰/۰۴۶	۷۱/۰۵	۰/۹۸	۱۰/۶۵
بتا ۲	کوهدشت	۹	صفر	-۴۶/۷۷±۸۱/۵۸	۱/۰۷±۰/۰۹	۱۵۱/۳۰	۰/۹۵	۲۱/۴۱
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	-۶۲/۷۵±۵۹/۱۴	۱/۲۱±۰/۰۵	۱۰۷/۸۰	۰/۹۸	۱۱/۵۶
	دوروم	۹	صفر	-۱۷/۶۲±۵۸/۳۱	۱/۰۴±۰/۰۷۵	۱۰۳/۶۳	۰/۹۷	۱۴/۷۰
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	-۳۴/۵۶±۲۹/۰۷	۱/۰۳±۰/۰۳۷	۵۲/۵۹	۰/۹۹	۷/۸۸
گامپرتز	کوهدشت	۹	صفر	-۳/۵۹±۷۶/۶۰	۱/۰۰۲±۰/۰۸	۱۴۳/۵۹	۰/۹۵	۲۰/۳۱
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۷/۸۰±۳۸/۲۲	۰/۹۹±۰/۰۳	۷۳/۰۷	۰/۹۹	۷/۸۳
	دوروم	۹	صفر	۶/۵۶±۲۲/۶۳	۰/۹۹±۰/۰۲	۴۱/۴۳	۰/۹۹	۵/۸۷
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	-۳/۸۳±۲۲/۳۹	۱/۰۰۳±۰/۰۲	۴۱/۷۰	۰/۹۹	۶/۴۲۵۱
لجستیک	کوهدشت	۹	صفر	-۳۱/۴۸±۸۴/۶۹	۱/۰۲±۰/۰۹	۱۵۸/۸۱	۰/۹۴	۲۲/۴۷
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	-۲۵/۲۶±۴۹/۸۴	۱/۰۱±۰/۰۴	۹۳/۱۵	۰/۹۸	۹/۹۹
	دوروم	۹	صفر	-۱۷/۸۴±۳۲/۴۳	۱/۰۱±۰/۰۴	۵۸/۰۲	۰/۹۹	۸/۲۲
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	-۲۳/۰۸±۳۳/۵۹	۱/۰۱±۰/۰۳	۶۱/۳۵	۰/۹۹	۹/۲۰
ریچاردز	کوهدشت	۹	صفر	۱۰/۸۰±۲۲/۰۱	۱/۰۱±۰/۰۲	۴۲/۹۲	۰/۹۹	۵/۵۷
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۱۵/۰۵±۳۷/۲۷	۰/۹۹±۰/۰۳	۷۱/۵۹	۰/۹۹	۶/۶۷
	دوروم	۹	صفر	۱۱/۴۷±۲۱/۸۳	۰/۹۸±۰/۰۲	۴۰/۱۶	۰/۹۹	۵/۶۹
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	۵/۵۸±۱۹/۸۷	۱/۰۷±۰/۰۲	۳۷/۳۴	۰/۹۹	۵/۶۰
نمایی	کوهدشت	۹	صفر	-۸/۹۱±۳۱/۶۷	۱/۰۰±۰/۰۳	۵۷/۱۱	۰/۹۹	۸/۱۰
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۵/۰۸±۲۰/۵۸	۰/۹۹±۰/۰۲	۳۸/۶۵	۰/۹۹	۵/۹۷
	دوروم	۹	صفر	۱۳/۶۵±۲۷/۸۵	۰/۹۸±۰/۰۲	۵۵/۶۰	۰/۹۹	۷/۲۵
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	۴/۱۰±۴۳/۳۴	۰/۹۹±۰/۰۳	۸۲/۶۰	۰/۹۹	۸/۸۵
نمایی بریده	کوهدشت	۹	صفر	۱۳/۱۳±۲۷/۶۷	۰/۹۹±۰/۰۲	۵۵/۲۴	۰/۹۹	۷/۲۴
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۱۱/۷۴±۴۵/۰۵	۰/۹۹±۰/۰۳	۸۶/۲۷	۰/۹۹	۹/۲۶
	دوروم	۹	صفر	۸/۴۷±۳۶/۱۱	۰/۹۹±۰/۰۴	۶۶/۰۸	۰/۹۹	۹/۳۷
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	۵/۸۵±۲۰/۶۸	۰/۹۹±۰/۰۲	۳۸/۸۷	۰/۹۹	۵/۸۲
ویبول	کوهدشت	۹	صفر	-۲۲/۹۶±۳۹/۹۵	۱/۰۲±۰/۰۳	۷۷/۴۹	۰/۹۹	۱۰/۱۶
	کوهدشت	۹	۱۵۰ کیلوگرم	-۳۲/۹۷±۵۴/۵۷	۱/۰۲±۰/۰۴	۱۰۱/۴۳	۰/۹۸	۱۰/۸۷
	دوروم	۹	صفر	-۲۶/۴۹±۳۹/۴۶	۱/۰۲±۰/۰۴	۶۹/۹۶	۰/۹۹	۹/۹۲
	دوروم	۹	۱۲۰ کیلوگرم	-۲۵/۰۶۵۸±۳۴/۰۶	۱/۰۲±۰/۰۴	۶۲/۰۷	۰/۹۹	۹/۳۰

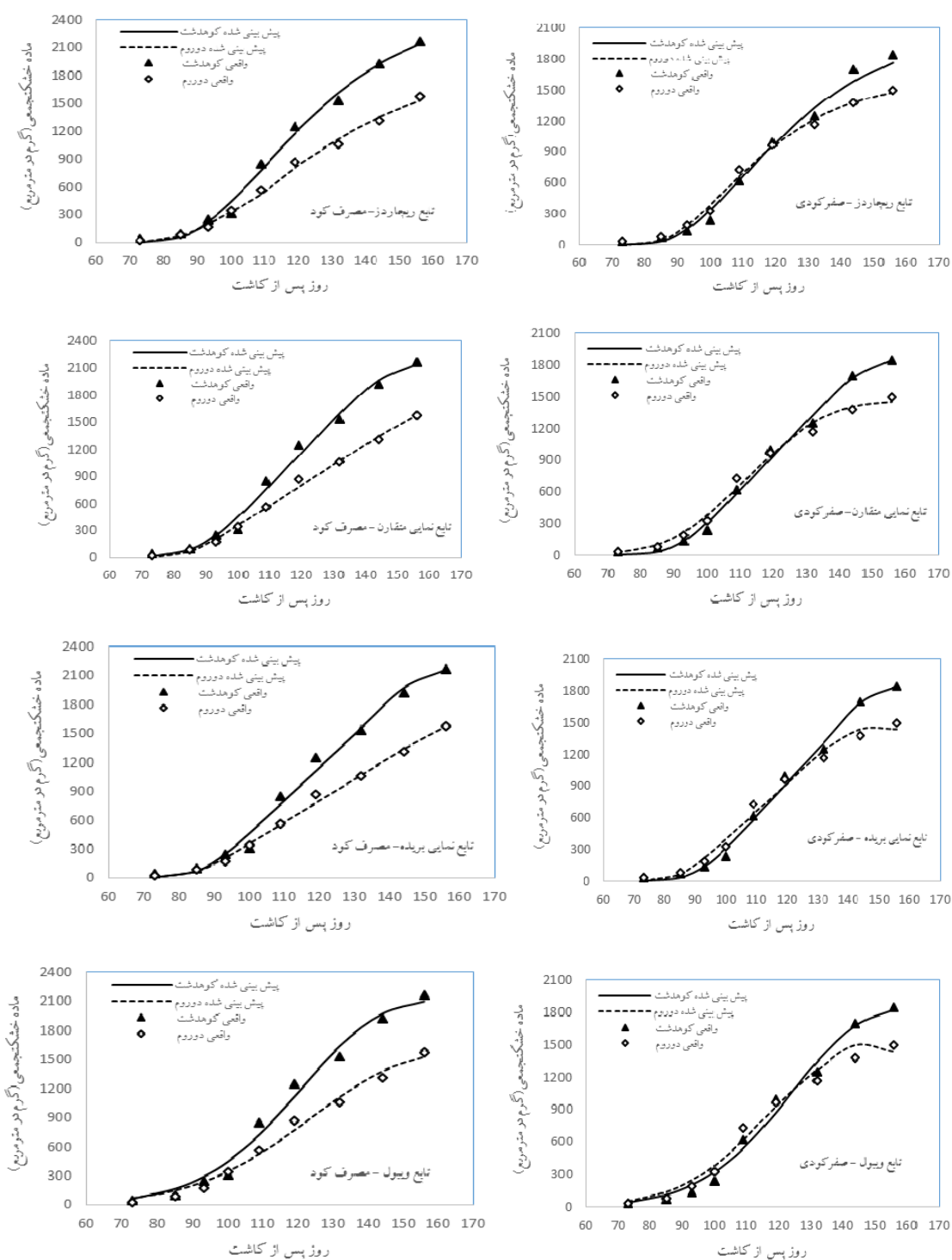
RMSE. جذر میانگین مربعات خطا؛ R². ضریب تبیین؛ CV. ضریب تغییرات و ضرایب رگرسیون (a و b)

جدول ۴- ضرایب رگرسیون برای مدل‌های رگرسیون غیرخطی در توصیف روند تغییرات ماده‌ی خشک تجمعی در دو رقم گندم در سطوح صفر و مطلوب نیتروژن در طی دو سال زراعی (n: تعداد نمونه‌برداری)

غلالت	مدل	n	نیتروژن	wmax±SE	te±SE	tm±SE	Pmodel
بنا ۱	کوهدشت	۹	صفر	۱۸۳۰/۴±۵۱۹/۳	۱۶۴/۸±۲۵/۱۲	۱۳۵/۱±۱۳/۵۸	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۲۱۴۳/۸۰±۱۰۱/۹	۱۵۳/۱±۴/۲۱	۱۲۸/۷±۲/۳۲	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۵۰۸/۵±۷۵/۳۱	۱۵۰/۴±۳/۶۶	۱۲۵/۱±۲/۳۷	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۵۰ کیلوگرم	۱۵۵۰/۱±۹۳/۴۶	۱۵۷/۴±۶/۴۲	۱۳۰/۲±۳/۱۰	۰/۰۰۰۱
Pmodel							
te±SE							
tb±SE							
tm±SE							
Wmax±SE							
Wbase±SE							
بنا ۲	کوهدشت	۹	صفر	۳۱/۸۸±۲۳۱/۶	۱۸۱۴/۵±۵۸۷/۸	۱۲۹/۵±۱۸/۴	۰/۰۱۵
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۴۱/۴۳±۲۶۸/۹	۲۱۱۷/۷±۶۳۸/۹	۱۲۸/۹±۱۸/۵	۰/۰۱
		۹	صفر	۳۰/۱۹±۲۶۱/۶	۱۵۰۹/۵±۶۱۹/۶	۱۲۸/۴±۵۷/۵	۰/۰۳
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۳۰/۳۳±۱۷۳/۱	۱۵۳۲/۹±۵۰۶/۰	۱۲۸/۸±۱۶/۸	۰/۰۰۷
Pmodel							
tm±SE							
k±SE							
Wmax±SE							
گامپرتز	کوهدشت	۹	صفر	۲۰۰۸/۲±۴۶۵/۴	۰/۰۴۰±۰/۰۱۵	۱۱۴/۸±۷/۷۲	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۲۴۳۵/۹±۱۸۳/۵	۰/۰۴۵±۰/۰۰۶	۱۱۲/۱±۲/۳۸	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۵۷۰/۹±۶۶/۴۶	۰/۰۵۴±۰/۰۰۵	۱۰۶/۴±۱/۲۸	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۱۹۴۳/۹±۱۶۷/۸	۰/۰۳۵±۰/۰۰۴	۱۱۵/۶±۳/۱۳	۰/۰۰۰۱
Pmodel							
tm±SE							
k±SE							
Wmax±SE							
لجستیک	کوهدشت	۹	صفر	۱۷۱۷/۶±۲۴۷/۶	۰/۰۷۶±۰/۰۲۳	۱۱۹/۰±۶/۲۱	۰/۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۲۱۷۵/۹±۱۲۸/۹	۰/۰۸۱±۰/۰۱۱	۱۱۷/۴±۲/۵۳	۰/۰۰۱
		۹	صفر	۱۴۵۹/۷±۵۹/۶۱	۰/۰۹۱±۰/۰۱۱	۱۱۲/۰±۱/۷۴	۰/۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۱۶۴۲/۷±۹۱۱/۸	۰/۰۶۸±۰/۰۰۹	۱۲۰/۲±۳/۲۵	۰/۰۰۱
Pmodel							
v±SE							
tm±SE							
k±SE							
Wmax±SE							
ریچاردز	کوهدشت	۹	صفر	۲۱۰۰/۴±۳۰۳/۵	۰/۰۳۸±۰/۰۱۷	۱۱۰/۴±۹/۸۰	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۲۵۵۸/۷±۴۶۳/۳	۰/۰۳۸±۰/۰۲۱	۱۱۰/۴±۶/۰۲	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۶۱۲/۳±۱۳۵/۱	۰/۰۴۷±۰/۰۱۶	۱۰۴/۷±۴/۵۱	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۲۴۵۳/۷±۲۵۱/۸	۰/۰۱۸±۰/۰۳۰	۱۱۴/۷±۱۵/۰۸	۰/۰۰۰۱
Pmodel							
to±SE							
rm±SE							
cm±SE							
Wmax±SE							
نمایی	کوهدشت	۹	صفر	۱۴۶۰/۱±۷۱/۴۷	۲۳/۹۶±۱/۷۲	۰/۱۳±۰/۱۰	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۱۶۷۰/۷±۱۸۳/۸	۲۲/۴۹±۱/۴۴	۰/۲۳±۰/۱۹	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۸۷۱/۹±۹۶/۱۷	۳۲/۳۶±۳/۹۲	۰/۲۲±۰/۱۹	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۲۱۸۰/۱±۱۴۶/۹	۳۷/۰۸±۷/۵۰	۰/۱۷±۰/۱۵	۰/۰۰۰۱
Pmodel							
to±SE							
rm±SE							
cm±SE							
Wmax±SE							
نمایی	کوهدشت	۹	صفر	۱۸۴۳/۱±۶۶/۴۱	۳۱/۶۸±۲/۲۹	۰/۲۳±۰/۱۷	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۲۱۵۹/۰±۱۰۲/۶	۳۴/۳۴±۳/۰۵	۰/۲۴±۰/۲۸	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۴۳۲/۳±۵۵/۵۰	۲۶/۲۱±۳/۰۱	۰/۲۹±۰/۴۶	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۱۵۷۶/۸±۴۲/۲۵	۲۲/۳۴±۱/۲۶	۰/۲۵±۰/۲۲	۰/۰۰۰۱
Pmodel							
b±SE							
a±SE							
Wmax±SE							
ویبول	کوهدشت	۹	صفر	۱۸۱۲/۶±۳۹۱/۸	$۸/۱۸ \times 10^{-13} \pm ۶/۰۶ \times 10^{-12}$	$۵/۷۱ \pm ۱/۸۹$	۰/۰۰۰۱
	دوروم	۹	۱۵۰ کیلوگرم	۱۸۵۲/۷±۱۰۶/۸	$۲/۶۸ \times 10^{-1۵} \pm ۱/۰۰ \times 10^{-1۴}$	$۶/۹۲ \pm ۰/۷۹$	۰/۰۰۰۱
		۹	صفر	۱۴۳۲/۲±۶۳/۸۶	$۲/۹۶ \times 10^{-1۵} \pm ۱/۲۳ \times 10^{-1۴}$	$۷/۰۰ \pm ۰/۸۸$	۰/۰۰۰۱
		۹	۱۲۰ کیلوگرم	۱۶۰۰/۱±۱۲۴/۰	$۷/۳ \times 10^{-1۳} \pm ۲/۲ \times 10^{-1۲}$	$۵/۷۵ \pm ۰/۶۷$	۰/۰۰۰۱



شکل ۲- روند تغییرات تجمع ماده خشک دو رقم گندم (کوهداشت و دوروم) با استفاده از مدل های رگرسیونی مختلف در دو سطح کودی به تفکیک



شکل ۳- روند تغییرات تجمع ماده خشک دو رقم گندم (کوهدشت و دوروم) با استفاده از مدل های رگرسیونی مختلف در دوسطح کودی به تفکیک

نتیجه گیری

ضمن اینکه در هر رقم و هر مدل مصرف کود سبب کاهش مقدار RMSE و افزایش R^2 مدل شد. همچنین حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) در رقم کوهدشت در هر دو سطح کودی در هر دو مدل بالاتر از رقم دوروم بود. همچنین نتایج نشان داد که کلیه

نتایج برازش داده‌های سطح برگ به مدل‌های لجستیک و بتا نشان داد که هر دو مدل به خوبی قادر به توصیف تغییرات شاخص سطح برگ بوده‌اند و هیچ کدام برتری نسبی بر دیگری ندارند.

مدل‌ها بخوبی روند تغییرات ماده خشک تجمعی را در برابر روز پس از کشت در هر دو سطح کودی نشان دادند اما در این بین، مدل‌های ریچاردز، نمایی متقارن نمایی بریده و ویبول به لحاظ مقادیر آماره‌های محاسبه شده، کمی مناسب‌تر از سایر مدل‌ها بودند، ضمن اینکه از پارامترهای بدست آمده در این مدل‌ها (حداکثر ماده خشک تجمعی، سرعت رشد نسبی در فاز خطی و نمایی، زمان ازدست رفته تا شروع فاز نمایی، شیب افزایش ماده خشک در طی زمان و زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول) می‌توان در مطالعات مربوط به مقایسه ارقام و تیمارهای مختلف، آنالیز رشد و شبیه سازی رشد و تولید گندم استفاده نمود.

منابع

- Arabameri, R. 2008. Predicting kernel number and biomass retranslocation in wheat (*Triticum aestivum* L.). Thesis of M.Sc, Gorgan Uni. Agric Sci. NaturResour. 89 p. (In Persian).
- Ghadirian, R., Soltani, A., Zeinali, E. and Kalate-Arabi, M. 2011. The evaluation of non-linear regression models to use in wheat growth analysis. *Electronic Journal of Crop Plant Production*. 4(3):55-77. (In Persian).
- Guadrian, J. and Monteith, J.L. 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Ann. Bot.* 66: 695-701.
- Ishag, K.H.M. and Dennett, M.D. 1998. Use of the expolinear growth model to analyse the growth of faba bean, peas and lentils at three densities: fitting the model. *Ann. Bot.* 82: 497-505.
- Karadavut, U., Palta, C., Kokten, K. and Bakoglu, A. 2010. Comparative study on some non-linear growth models for describing leaf growth of maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2):227-230.
- Khamis, A. and Z. Ismail, 2004. Comparative study on non-linear growth model to tobacco leaf growth data. *J. Agron.*, 3: 147-153.
- Khamis, A., I. Zuhaimy, H. Khalid and T.M. Ahmad, 2005. Non-linear growth models for modeling oil Palm yield growth. *J. Math. Stat.*, 1:225-233.
- Kiyaz, S., Karadavut, U. and Ertek A. 2016. Leaf area estimation of the sugar beet at different irrigation regimes. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Resources*. 3(1):8-16.
- Lei, Y.C. and S.Y. Zhang, 2004. Features and Partial Derivatives of Bertalanffy-Richards Growth Model in Forestry. *Non-linear Analysis: Model. Cont.*, 9: 65-73.
- Mahlooji, M. and Afiuni, D. 2004. Study of growth analysis and grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L.) gnotypes. *Pajouhesh Sazandegi J.* 63: 37-42.
- Muller, J., Behrens, T. and Diepenbrock, W. 2006. Use of a new sigmoid growth equation to estimate organ area indices from canopy area index in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 96: 279-295.
- Prasad, T.V.R., K. Krishnamurthy and C. Kailasam, 2008. Functional crop and cob growth models of maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194: 208-212.
- Rahemi-karizaki, A. 2005. Predicting interception and use of solar radiation in chickpea. Thesis of M.Sc. Thesis of M.Sc. Gorgan Uni. Agric Sci. Natur Resour. 89 p. (In Persian).
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth functions for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10: 290-300.
- Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R. and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *Europ. J. Agron.* 20: 419-430.
- SAS Institute, 2009 — SAS Institute. The SAS System for Windows. Release 9.02. 1999. SAS Institute, Cary, NC (Ref Type: Computer Program).
- Seidsharifi, R., Farzaneh, S. and Saednia, V. 2008. The effects of ZnSo₄ on growth analysis, yield and the amount of protein and zinc in different wheat cultivars. *Biol J. Iran.* 21: 676-691.
- Soltani, A. 2006. Re-consideration of Application of Statistical Methods in Agricultural Researches. Mashhad Jihad-e-Daneshgahi Press, 74 pp. (In Persian).
- Timmermans, B. G.H., Vos, J., van Nieuwburg, J., Stomph, T.J. and van der Putten, P.E.L. 2007. Germination rates of *Solanum sisymbriifolium*: temperature response models, effects of temperature fluctuations and soil water potential. *Seed Sci Res.* 17: 221-231.
- Tsialtas, J.T. and Maslaris, N. 2008. Leaf area prediction model for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Photosynthetica*, 46: 291-293.
- Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R. and Royo, C. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat growth under Mediterranean condition. *Ann. Bot.* 88: 617-627.

-
- Weibull, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *J. Appl Mechanics*. 18: 293-297.
- Yin, X., Gouadrian, J., Latinga, E.A., Vos, J. and Spiertz, J.H. 2003. A flexible sigmoid growth function of determinate growth. *Ann. Bot.* 91: 361-371.

Estimation of some applied important parameters in prediction of wheat growth

A. Rahemi Karizaki¹, A. Biabani², N. Khaliliaqdam³

Received: 2017-4-27 Accepted: 2017-8-22

Abstract

For physiological importance of parameters of nonlinear regression in sigmoidal growth patterns, eight nonlinear regression models (Beta 1, Beta 2, Logistic, Richards, Gompertz, Symmetrical expolinear, Truncated expolinear, Weibull) used for describing of changing trend of accumulated dry matter and two models as: Logistic and Beta for qualification of changing trend of LAI in two cultivar of wheat in two level of N-fertilizer. Thus, an factorial experiment in RCB design with four replications performed which treatment were two level of N-fertilizer and two cultivar of wheat (0, 150 kg/h (cv. Kohdasht) + 0, 120 kg/h (cv. Durum)) during the seasons of 2013/2014 and 2014/2015 in the research field of Gonbad Kavous University, then analyzed in combination method. Results of plotting of LAI data in logistic and beta models showed that both of models described changing trend of LAI and in either cultivar or model, applying of fertilizer decreased RMSE and upgraded R^2 slowly. LAI_{max} of cv.kohdasht was more than it in cv.durum in each fertilizer level and models. Also, results revealed that all models could describe changing trend of accumulated dry matter in either fertilizer level, but Richards, symmetrical-expolinear, Truncated-expolinear, Weibull models were some better than others. Further estimated value of parameters in these models (maximum accumulated dry matter, RGR in linear phase, RGR in expolinear phase, missed time to beginning of expolinear phase, slope of dry matter and time of CGR_{max}) are very practical in simulation studies, cultivars comparings, growth analyses and simulation of growth and production of wheat.

Keywords: Leaf area, model, dry matter, wheat

1- Assistant Professor, Department of plant production, Gonbad University, Gonbad Kavous, Iran

2- Associated Professor, Department of plant production, Gonbad University, Gonbad Kavous, Iran

3- Assistant professor Department of Agriculture, Payame Noor University, Gonbad Kavous, Iran