

برازش مدل و بررسی تأثیر میزان محصول بر الگوی رشدی میوه سیب "رد اسپار" در شرایط اقلیمی کرج

علی ساعی^{۱*}، علیرضا طلایی^۲، ذبیح الله زمانی^۳ و استوارت تاستین^۴
۱، ۲، ۳، دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۴، پژوهشگر موسسه تحقیقاتی گیاه و غذا، نیوزیلند
(تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۲۰ - تاریخ تصویب: ۸۹/۱/۲۹)

چکیده

تحلیل مراحل رشد محصولات کشاورزی یک گام مهم در بهبود مدیریت تولید است. با داشتن تحلیل رشد برنامه‌ریزی برای روش‌های کشت، کوددهی، هرس، زمان برداشت، انبارداری و حصول عملکرد اقتصادی امکان‌پذیر می‌شود. بنابراین توسعه مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی رشد گیاهی مزایای زیادی در مدیریت تولید محصولات کشاورزی به ویژه در رشد میوه خواهد داشت. در بررسی حاضر علاوه بر مدل خطی از شش مدل رشد غیرخطی و همچنین یک مدل دو خطی LinBiExp برای مدلسازی الگوی رشد ذاتی بهینه میوه سیب 'رد اسپار' بر اساس طول، قطر و حجم میوه استفاده شد. پارامترهای این مدل‌ها با استفاده از روش مارکواردت رگرسیون غیرخطی تخمین زده شد. برای گزینش بهترین مدل از معیارهای انتخاب مدل شامل r^2 ، آزمون F، AIC و SBIC استفاده شد. بر اساس نتایج، مدل LinBiExp بهترین برازش را هم بر اساس طول و قطر میوه و هم حجم میوه نشان داد. به علاوه، بررسی تأثیر میزان محصول روی الگوی رشد حجمی میوه نشان داد که اندازه نهایی میوه با سرعت رشد مرحله خطی (c_m) رابطه مستقیم داشت و مقدار بیشتر محصول با کاهش دادن سرعت رشد در مرحله خطی منجر به تولید میوه‌های کوچک‌تر گردید.

واژه‌های کلیدی: مدل رشد سیب، مدل غیرخطی، مدل LinBiExp، معیارهای انتخاب مدل، سیگموئید.

مقدمه

میوه در اواخر فصل رشد مشاهده شود (به نقل از Lakso et al., 1995). گزارش‌ها نشان می‌دهند الگوی رشد سیب در طول ۳-۵ هفته اول بعد از گلدهی به صورت غیرخطی بوده و بعد از آن رشد با یک افزایش خطی در وزن تا موقع برداشت ادامه می‌یابد (Assaf & Bravdo, 1982). این در حالی است که Magein (1989) الگوی رشد میوه سیب را بیشتر به صورت دابل سیگموئید

سیب یکی از محصولات درختی مهم ایران و سایر کشورهای جهان است. الگوی رشد میوه سیب معمولاً در منابع علمی به صورت سیگموئید ساده ذکر شده است، به ویژه اگر اندازه‌گیری بر اساس قطر میوه صورت گرفته باشد. اگرچه هنگامی که اندازه‌گیری بر اساس وزن تر صورت می‌گیرد، نیز ممکن است کاهش در سرعت رشد

که به صورت نمایی بوده و به طور معمول ۵-۳ هفته به طول می‌انجامد و بعد از آن مرحله رشد و گسترش سلولی است که تا زمان برداشت ادامه پیدا می‌کند (Faust, 1989).

مدل نمایی- خطی به عنوان یک مدل جدید برای شبیه‌سازی رشد ذاتی (رشد در شرایط بهینه و بدون رقابت) میوه سیب رقم "جونگلند" توسط Lakso et al. (1995) به کار برده شد. نتایج نشان داد که این مدل به خوبی می‌تواند الگوی رشد میوه سیب را بر اساس وزن تر در شرایط بهینه توصیف کند. آنها همچنین دریافتند که تنک زود هنگام باعث افزایش سرعت رشد و در نهایت اندازه نهایی میوه می‌شود. سه مدل رشد توسط Orlandini et al. (1999) برای توصیف الگوی رشد میوه سیب بر اساس شاخص قطر ارزیابی گردید و گزارش شد که مدل وینتر^۳ برای شبیه‌سازی رشد میوه سیب نسبت به دو مدل گومپرتز^۴ و لجستیک^۵ بهتر بوده است.

توسعه مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی رشد و پیش‌بینی عملکرد مزایای زیادی در مدیریت محصولات به ویژه در رشد میوه خواهد داشت چرا که رشد میوه ارتباط مستقیمی با عملکرد و در نتیجه با بهره‌وری اقتصادی دارد. همانطور که اشاره شد در چندین آزمایش و در شرایط آب و هوایی مختلف مدل‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی الگوی رشد میوه سیب مورد بررسی قرار گرفته است. ولی نتایج حاصل از این آزمایشات متغیر بوده و بسته به شرایط آب و هوایی، نوع رقم و شاخص مورد اندازه‌گیری متفاوت می‌باشد. بنابراین با داشتن این اطلاعات اهداف این آزمایش عبارت بودند از:

۱. ارزیابی برآزش برخی مدل‌های غیرخطی و انتخاب بهترین مدل برای الگوی رشد ذاتی میوه سیب "رد اسپار" در شرایط آب و هوایی کرج و پیدا کردن مدلی واحد برای توصیف الگوی رشد میوه بر اساس شاخص‌های طول، قطر و حجم میوه.
۲. ارزیابی این که چگونه الگوی رشد میوه و پارامترهای مدل و در نهایت اندازه میوه به وسیله میزان محصول تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

گزارش کرد ولی زمان بندی نامنظم فاز کند اولیه یا فاز تأخیری^۱ و دامنه کوتاه آن درستی این نظریه را با شک و تردید مواجه ساخت. در منابع به اندازه‌گیری حجم و وزن (به ویژه وزن خشک) برای تعریف شاخص رشد تاکید شده است و به نظر می‌رسد برای تعیین الگوی رشد سیب نیز شاخص مناسبی باشد، اگرچه گزارش‌های کمی در مورد استفاده از وزن خشک در سیب وجود دارد (به نقل از Lakso et al., 1995).

در سالهای اخیر از روش‌های مدلسازی مختلفی برای تشریح رشد میوه سیب استفاده شده است. یک مدل شبیه‌سازی ترکیبی توسط Welte (1990) برای پیش‌بینی اندازه نهایی میوه در زمان برداشت در سیب رقم "جونگلند" ارائه شد. این مدل اثرات دما در یک محدوده دمایی مشخص، اثرات طول روز، اثرات میزان محصول و دیگر فاکتورهای تجربی را روی رشد شامل می‌شد. هر چند این مدل در نشان دادن تغییرات منحنی رشد از سالی به سال دیگر به صورت تجربی مؤثر بود اما نتوانست الگوی رشد ذاتی میوه سیب را توصیف کند.

Schechter et al. (1993) منحنی رشد میوه سیب رقم "ایدارد" را با دو بخش خطی مدل کردند. این دو بخش به ترتیب نشان‌دهنده مراحل تقسیم سلولی و رشد و بزرگ شدن سلولی بودند. بخش خطی رشد سلولی به خوبی برآزش شد، ولی رشد اوایل فصل کاملاً خطی نبود. این الگوی رشد شبیه به شکل مدل شده با یک معادله رشد نمایی- خطی^۲ بود که به وسیله Goudriaan & Monteith (1990) برای تشریح الگوی رشد فصلی گیاهان زراعی مثل باقلا ارائه شد. در این گیاهان نیز یک افزایش نمایی-خطی در وزن خشک در مراحل اولیه رشد مشاهده می‌شود که در مراحل بعدی این رشد به صورت خطی دنبال می‌گردد. رشد نمایی اولیه به خاطر افزایش نمایی در جذب نور همزمان با تولید برگها می‌باشد و بعد از تکمیل شدن تاج گیاه جذب نور ثابت مانده و رشد تابعی از نور در دسترس و به صورت خطی است. به طور مشابه میوه سیب نیز در دو مرحله رشد می‌کند، یک مرحله تقسیم سلولی اولیه

3. Winter
4. Gompertz
5. Logistic

1. Lag Phase
2. Exponential

مواد و روش‌ها

ماده گیاهی و اعمال تیمارها

آزمایش روی درختان سیب رقم "رد اسپار" ۱۲ ساله با پایه M₉ انجام گردید. پس از انتخاب درختان تا حد ممکن یکسان از نظر شکل و اندازه (۸ درخت برای هر تیمار) و انجام هرس زمستانه یکسان روی آنها، دور تنه هر یک از درختان در ارتفاع ۲۰ سانتی متری از سطح زمین اندازه‌گیری شد و پس از محاسبه سطح مقطع تنه، بلوک بندی درختان آزمایشی براساس این ویژگی صورت گرفت. اندازه‌گیری طول و قطر میوه درختان آزمایشی پس از مرحله تمام گل شروع و با فواصل زمانی مشخص تا زمان برداشت میوه ادامه یافت (جدول ۳). به این ترتیب که از هر درخت چهار شاخه اصلی در جهات مختلف در طول فصل رشد انتخاب و اندازه‌گیری روی حداقل ۵۰ میوه ثابت صورت گرفت. از میانگین داده‌ها برای تجزیه آماری و برازش مدل استفاده شد. برای محاسبه حجم میوه (v) از رابطه ۱ استفاده شد که در آن d میانگین مجموع طول و قطر میوه در هر زمان اندازه‌گیری می‌باشد:

$$v = \frac{\pi d^3}{6} \quad (1)$$

عملیات تنک میوه به منظور بررسی تأثیر میزان محصول روی الگوی رشد میوه پس از ریزش خرداد انجام شد. به این صورت که با تقسیم تعداد کل میوه درخت بر سطح مقطع تنه، میزان محصول بر اساس تعداد میوه به ازای واحد سطح مقطع تنه محاسبه و در صورت نیاز تنک دستی برای تنظیم تعداد میوه روی درختان صورت گرفت. تیمارهای اعمال شده شامل ۲/۵-۲ (بار کم)، ۴/۵-۴ (بار متوسط) و ۶/۵-۶ (بار زیاد) میوه به ازای هر سانتی متر مربع سطح مقطع تنه بودند. برای تعیین الگوی رشد ذاتی از درختانی که دارای میزان محصول پایین بودند (۲/۵-۲ میوه به ازای هر سانتی متر مربع سطح مقطع تنه)، استفاده شد.

مدل‌های مورد ارزیابی

مدل‌های مورد ارزیابی در جدول یک ارائه شده‌اند. مدل LinBiExp به تازگی معرفی شده و برای تشریح رشد در علوم مختلف استفاده می‌شود (Buchwald, 2007; Buchwald & Svecizer, 2006) ولی تا به حال

از آن برای شبیه‌سازی رشد میوه استفاده نشده است. این مدل دارای پنج پارامتر نامحدود شامل دو شیب (α_1 و α_2)، یک ثابت (χ) برای تغییر در طول محور عمودی (حجم، طول یا قطر میوه)، ثابتی دیگر (τ_c) برای جابجایی در طول محور افقی (زمان) که این دو ثابت نشان‌دهنده مختصات نقطه چرخش^۱ می‌باشند، و در نهایت پارامتر η برای تنظیم شکستگی بین دو بخش خطی (نقطه چرخش) می‌باشد (Buchwald, 2007).

مدل نمایی-خطی حالت خاصی از مدل LinBiExp است که در آن شیب قسمت خطی اول صفر می‌باشد (مدل ۱): $\alpha_1=0$ ، $\alpha_2=cm$ ، $\chi=0$ ، $\tau_c=t_0$ و $\eta = c_m/r_m$. این مدل به صورتی تعریف شده است که در آن c_m نشان‌دهنده سرعت رشد حداکثر (سرعت رشد بخش خطی دوم) و $r_m = (c_m/\eta)$ بیانگر حداکثر سرعت رشد نسبی می‌باشند. این مدل توسط Goudriaan & Monteith (1990) برای رشد محصولات زراعی ارائه شده است و به خوبی توانسته رشد را در برخی محصولات از قبیل باقلا (Ishag & Dennett, 1998)، آویشن (Bonesmo, 2000) و گل داوودی (Lee et al., 2003) شبیه‌سازی کند.

پارامترهای مدل‌های غیرخطی شامل α مجانب یا همان حداکثر پتانسیل متغیر وابسته، β ثابت بیولوژیکی، K سرعتی که در آن متغیر وابسته به حداکثر پتانسیل خود نزدیک می‌شود و در نهایت δ ثابت آلومتریک می‌باشد (Khamis et al., 2005).

تخمین پارامترهای مدل‌ها که مشکل‌ترین بخش در کار با مدل‌های غیرخطی است، با استفاده از روش مارکواردت^۲ انجام گرفت (Donald, 1963). از دستور Proc NLIN در نرم‌افزار SAS و Solver در نرم‌افزار Excel برای تجزیه داده‌ها و برازش مدل‌ها استفاده شد. مدل‌ها در طی دو مرحله ارزیابی شدند. ابتدا بهترین مدل برای الگوی رشد ذاتی میوه بر اساس طول، قطر و حجم میوه انتخاب و سپس تأثیر تیمار تراکم بار درخت روی الگوی رشد بر اساس شاخص حجم مورد بررسی قرار گرفت.

1. Turning Point
2. Marquardt

معادله ریاضی مدل	نوع مدل
$v = f(t) = \eta \ln[\exp(\alpha_1 (t - \tau_c) / \eta) + \exp(\alpha_2 (t - \tau_c) / \eta)] + \chi$	(۱) دوخطی LinBiExp
$v = f(t) = \frac{C_m}{r_m} \ln[1 + \exp(r_m (t - tb))]$	(۲) نمایی خطی
$v = f(t) = \alpha (1 - \beta \exp(-kt))^{1-\delta}$	(۳) چپمن-ریچاردز
$v = f(t) = \alpha \exp(-\beta \exp(-kt))$	(۴) گومپرتز
$v = f(t) = \alpha / [1 + \beta (\exp(-kt))^{\frac{1}{\sigma}}]$	(۵) ریچاردز
$v = f(t) = \alpha / (1 + \beta \exp(-kt))$	(۶) لجستیک
$v = f(t) = \alpha t + \beta$	(۷) خطی
$v = f(t) = \alpha (1 - \exp(-kt))$	(۸) نمایی

$$SBIC = n_{obs} \ln(SSE) + n_{par} \ln(n_{obs}) \quad (۶)$$

که df درجه آزادی، n_{par} تعداد پارامترهای به کار رفته در هر مدل و n_{obs} تعداد مشاهدات (داده‌ها) است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که میزان محصول درخت (تعداد میوه به ازای هر سانتی‌متر مربع سطح مقطع تنه) تأثیر معنی‌داری روی قطر و حجم میوه در طول فصل رشد داشت، در حالی که تأثیر آن روی طول میوه معنی‌دار نبود. بین تیمارهای بار متوسط و بار زیاد درخت اختلاف معنی‌دار از نظر قطر، طول و حجم میوه وجود نداشت (شکل ۱)، بنابراین به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مقادیر محصول روی الگوی رشد میوه و برازش مدل بر آن از تیمارهای بار کم و بار زیاد استفاده شد. با وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین تأثیر دو تیمار فوق‌الذکر این اختلاف نیز چندان بزرگ نبود که نشان‌دهنده این مطلب است که بعد از کامل شدن رشد درخت سطح مقطع تنه نمی‌تواند به طور دقیق بیانگر قدرت رشد درخت باشد و بهتر است از مقیاس‌های دیگری مثل تعداد میوه به ازای حجم تاج برای تعیین تأثیر تیمار مقادیر محصول استفاده گردد (Palmer et al., 1997; Palmer, 1992).

معیارهای انتخاب بهترین مدل

چون مدل‌های به کار برده شده در این آزمایش دارای تعداد پارامترهای متفاوتی هستند پس نمی‌توان برای انتخاب مدل فقط به ضریب همبستگی یا r^2 (رابطه ۲) اعتماد کرد که عبارت است از:

$$r^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_v} = 1 - \frac{\sum_i (v_i - v_{i, pred})^2}{\sum_i (v_i - v_{mean})^2} \quad (۲)$$

که v_i طول، قطر یا حجم میوه مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $v_{i, pred}$ طول، قطر یا حجم میوه پیش‌بینی شده از مدل در i امین اندازه‌گیری و v_{mean} میانگین این شاخص‌ها می‌باشد. ضریب همبستگی یا r^2 تابعی از واریانس کل (SS_v) و مجموع مربعات خطا (SSE) است که با افزایش تعداد پارامترهای مدل این خطا افزایش پیدا می‌کند. بنابراین برای گزینش مدل مناسب معیارهای انتخاب بیشتری لازم است، که در پژوهش حاضر از s (انحراف معیار خطا، رابطه ۳)، آزمون F (رابطه ۴) و در نهایت از معیارهای AIC^1 و $SBIC^2$ (به ترتیب رابطه ۵ و ۶) استفاده شد:

$$s = (SSE / df)^{1/2} \quad (۳)$$

$$F_{df_1 - df_2, df_2} = \frac{(SSE_1 - SSE_2) / (df_1 - df_2)}{SSE_2 / df_2} \quad (۴)$$

$$AIC = n_{obs} \ln(SSE) + 2n_{par} \quad (۵)$$

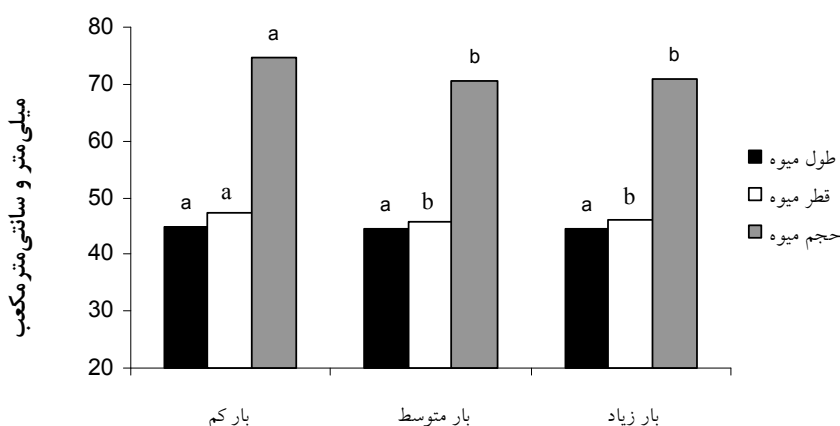
1. Akaike Information Criterion

2. Schwarz Bayesian Information Criterion

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای بار درخت سیب روی طول، قطر و حجم میوه در طول فصل رشد در رقم "رد اسپار"

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		طول میوه (mm)	قطر میوه (mm)	حجم میوه (cm ³)
بلوک	۷	۳۲/۱۵**	۴۱/۰۲*	۳۹۰/۴۴**
زمان	۶	۷۹۳۴/۰۴**	۷۵۷۰/۲۵**	۹۴۵۱۰/۵۵**
بار درخت	۲	۱/۳۱ ^{ns}	۳۱/۸۹**	۲۴۱/۲۰*
زمان × بار درخت	۱۲	۲/۷۹ ^{ns}	۳/۳ ^{ns}	۶۳/۷۳ ^{ns}
خطای آزمایش	۱۴۸	۱/۸۹	۲/۲۷	۵۹/۲۵
C.V.%	-	۳/۰۸	۳/۲۵	۱۰/۶۷

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشند.



شکل ۱- تأثیر تیمارهای بار درخت بر میانگین طول، قطر و حجم میوه سیب در طول دوره رشد میوه رقم "رد اسپار". تیمارها به ترتیب عبارتند از: ۲-۲/۵ (بار کم)، ۴-۴/۵ (بار متوسط) و ۶-۶/۵ (بار زیاد) میوه به ازای واحد سطح مقطع تنه. تفاوت بین میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه مشترک می‌باشند، معنی‌دار نیست.

رشد را نشان می‌دهد.

در مورد رشد میوه بر اساس طول، اطلاعات زیادی در منابع در دسترس نیست. نتایج نشان داد که این رشد در سیب رقم "رد اسپار" دو خطی است و بنابراین مدل LinBiExp بهتر از مدل‌های دیگر توانست الگوی رشد میوه را بر اساس طول شبیه‌سازی کند. همان طور که مشاهده می‌شود (شکل ۲) رشد میوه از نظر طولی در طی دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول از زمان تمام گل شروع و تا ۵۵ روز بعد از آن ادامه یافت که همان دوره رشد سریع می‌باشد. مرحله دوم پس از اتمام مرحله اول شروع و تا زمان برداشت ادامه پیدا کرد. در این مرحله سرعت رشد نصف سرعت مرحله اول بود. با توجه به این که رشد میوه از لحاظ طولی بر خلاف رشد قطری در طی دوره رشد میوه بدون توقف صورت می‌گیرد، بنابراین مدل‌های سیگموئیدی مثل چپمن-ریچاردز نمی‌توانند مدل مناسبی برای شبیه‌سازی الگوی رشد بر اساس طول میوه باشند.

الگوی رشد ذاتی بر اساس طول و قطر اندازه‌گیری شده

میانگین داده‌های حاصل از تیمار بار کم درخت برای مدلسازی الگوی رشد ذاتی^۱ میوه استفاده گردید که نشان‌دهنده پتانسیل رشد میوه یا همان رشد در شرایط بدون رقابت می‌باشد (Lakso et al., 1995).

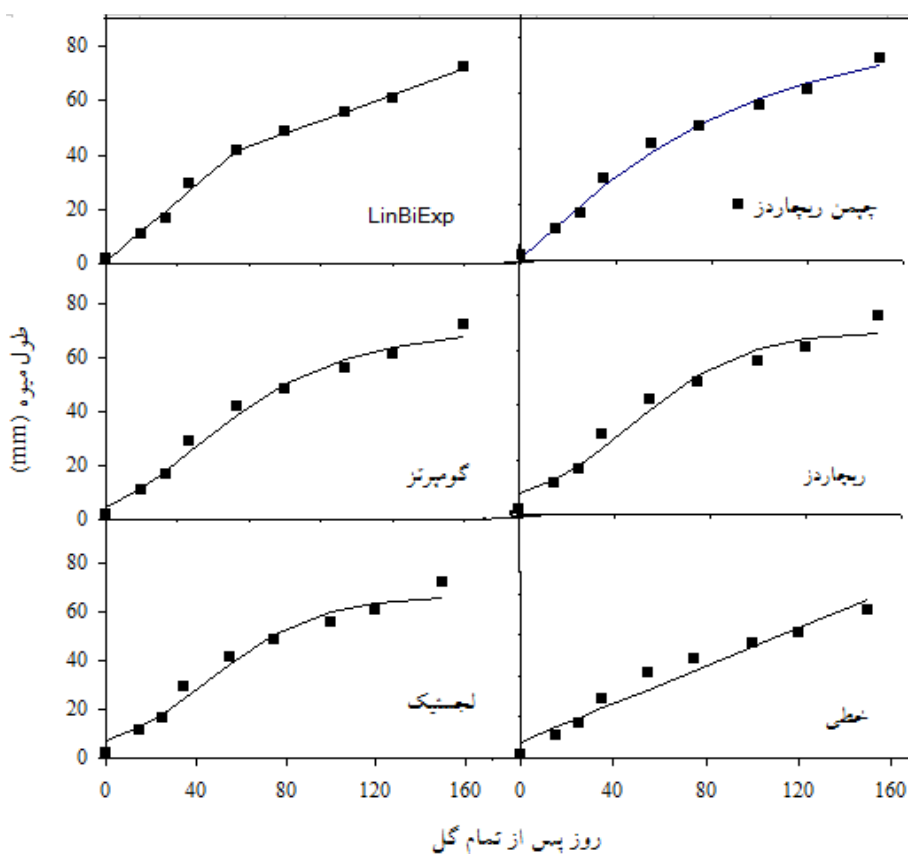
با توجه به داده‌های واقعی و برآورد شده و معیارهای انتخاب مدل (جدول ۳)، مدل LinBiExp و چپمن-ریچاردز^۲ به طور معنی‌داری بهتر از مدل‌های دیگر بودند. مدل LinBiExp دارای خطای باقیمانده، AIC و SBIC کمتری نسبت به مدل چپمن-ریچاردز بود و آزمون F نشان داد که دارای اختلاف معنی‌دار از نظر خوبی برازش در سطح ۱٪ می‌باشند. شکل ۲ مدل‌های برازش شده روی داده‌های حاصل از طول میوه در فصل

1. Inherent or potential growth pattern
2. Chapman-Richards

جدول ۳- داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده) و پیش بینی شده طول میوه سیب رقم "رد اسپار" با استفاده از مدل‌ها در طی دوره رشد و معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده

نمایی	داده‌های تخمین زده شده						طول میوه* (mm) (داده واقعی)	روز پس از تمام گل
	خطی	لجستیک	ریچاردز	گومبرتز	چپمن-ریچاردز	دو خطی (LinBiExp)		
۱۸/۱۳	۷/۹۵	۷/۴۳	۷/۴۳	۴/۸۳	۰/۸۶	۰/۵۹	۱/۸	۰
۲۱/۰۲	۱۴/۸۹	۱۲/۹	۱۲/۹۰	۱۱/۹۳	۱۲/۱۴	۱۱/۸۷	۱۱/۱۶	۱۵
۲۳/۲۱	۱۹/۵۲	۱۷/۹۹	۱۷/۹۹	۱۸/۲۷	۱۹/۶۶	۱۹/۳۸	۱۶/۵۷	۲۵
۲۵/۶۱	۲۴/۱۶	۲۴/۱۹	۲۴/۱۹	۲۵/۲۵	۲۶/۶۴	۲۶/۹۰	۲۹/۱۸	۳۵
۳۱/۲۱	۳۳/۴۲	۳۸/۳۳	۳۸/۳۳	۳۸/۹۶	۳۸/۷۵	۴۱/۶۸	۴۱/۷۴	۵۵
۳۸/۰۳	۴۲/۶۸	۵۰/۸۴	۵۰/۸۴	۵۰/۰۴	۴۸/۴۸	۴۷/۹۸	۴۸/۳۷	۷۵
۴۸/۶۸	۵۴/۲۶	۶۰/۳۱	۶۰/۳۱	۵۹/۳۲	۵۵/۸۴	۵۵/۸۳	۵۵/۸۳	۱۰۰
۵۹/۳۲	۶۳/۵۳	۶۳/۸۴	۶۳/۸۴	۶۳/۸۱	۶۳/۵۱	۶۲/۱۱	۶۰/۹۷	۱۲۰
۷۹/۷۸	۷۷/۴۲	۶۵/۸۸	۶۵/۸۸	۶۷/۴۸	۶۹/۷۶	۷۱/۵۳	۷۲/۲۲	۱۵۰
۷۴۹/۲۵	۲۲۳/۱۶	۱۴۷/۷۸	۱۴۷/۷۸	۸۱/۲۷	۴۳/۲۷	۱۶/۹۶	-	SSE
۰/۸۲۴	۰/۹۶۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸۳	۰/۹۹۱	۰/۹۹۶	-	r ²
۵۷/۱۳	۴۸/۴۲	۵۰/۹۶	۵۲/۹۶	۴۵/۵۸	۴۱/۹۱	۳۵/۴۸	-	AIC
۵۷/۲۹	۴۸/۵۸	۵۱/۵۵	۵۳/۷۵	۴۶/۱۷	۴۲/۷	۳۶/۴۶	-	SBIC
۱۱/۳	۶/۵۵	۴/۹۶	۵/۴۳	۴/۶۸	۲/۹۴	۲/۰۶	-	s

* مدل نمایی-خطی به علت دارا بودن شکل و پارامترهای خاص قابل برازش روی داده‌های حاصل از طول میوه نبود.



شکل ۲- مدل‌های برازش شده بر الگوی رشد میوه سیب رقم "رد اسپار" بر اساس طول میوه در طی فصل رشد (روز بعد از تمام گل)

اساس قطر شبیه‌سازی کند که دلیل آن را می‌توان فواصل زمانی داده‌برداری ذکر کرد. به دلیل کوتاه بودن طول دوره اول رشد و داده‌برداری در فواصل زمانی طولانی، این مرحله از رشد به طور واضح مشخص نیست و این مرحله همراه با مرحله دوم به صورت خطی درمی‌آید. مرحله اول رشد در حالت سیگموئیدی که به مدت ۲۰-۱۵ روز به طول انجامید با یک رشد سریع تا روز صدم پس از گلدهی ادامه یافت. پس از این زمان رشد قطری بسیار کند یا متوقف شد و رشد طولی مسئول افزایش وزن و حجم میوه تا زمان برداشت (۱۵۵ روز بعد از تمام گل) بود. تغییرات نسبت طول به قطر میوه در طول فصل رشد (شکل ۴) نشان‌دهنده این است که در اوایل دوره رشد میوه، رشد طولی سریع‌تر از رشد قطری انجام شده و از حدود ۴۰ روز از تمام گل به بعد، رشد قطری با سرعت بیشتری نسبت به رشد طولی تا ۱۲۰ روز بعد از گلدهی انجام شد. از این زمان به بعد رشد طولی بیشتر مسئول افزایش وزن و حجم میوه تا زمان برداشت بود. مدل نمایی-خطی که حالت خاصی از مدل دو خطی LinBiExp می‌باشد روی داده‌های قطر برازش نشد. به دلیل این که در این مدل شیب قسمت خطی اول صفر می‌باشد، قابل برازش نیست.

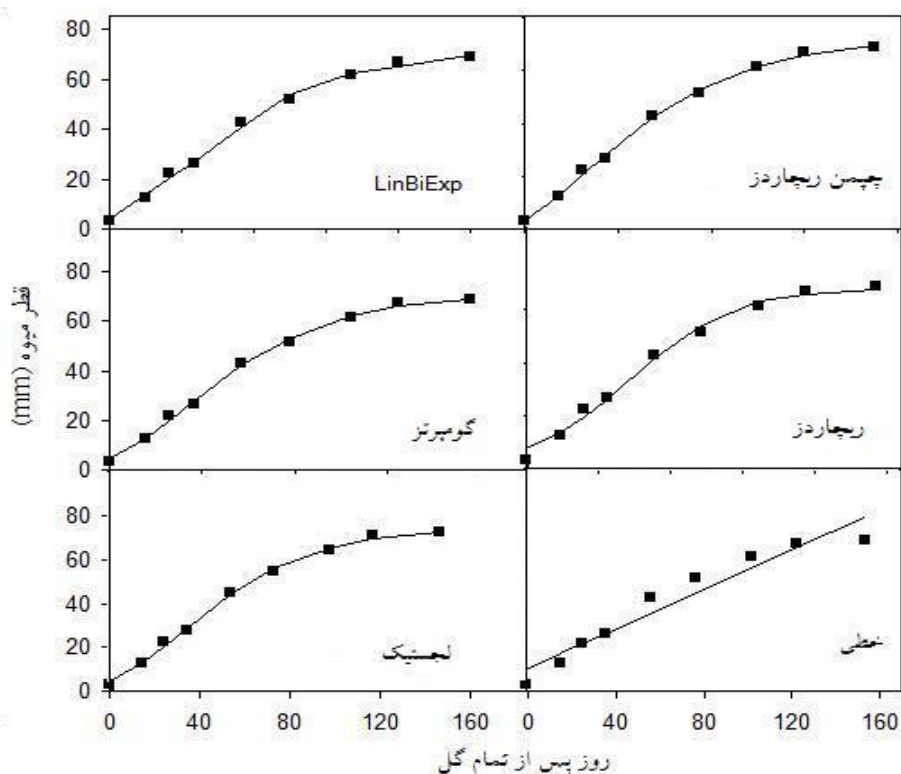
در جدول ۴ داده‌های واقعی و برآورد شده الگوی رشد بر اساس قطر میوه در شرایط بار کم و معیارهای انتخاب بهترین مدل ارائه شده است. برخی از مدل‌های استفاده شده توانستند الگوی رشد میوه را به خوبی شبیه‌سازی کنند ولی با توجه به معیارهای انتخاب، مدل چپمن-ریچاردز بهترین برازش را داشت. به طوریکه این مدل کمترین مقدار خطا، AIC و SBIC را به خود اختصاص داد. مدل گومپرتز و مدل دوخطی LinBiExp در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و به خوبی مدل چپمن-ریچاردز توانستند الگوی رشد را شبیه‌سازی کنند. آزمون F نشان داد که از نظر خوبی برازش بین مدل‌های چپمن-ریچاردز، گومپرتز و مدل دوخطی LinBiExp اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ($P > 0.05$). ولی در گزارش Orlandini et al. (1999) مدل وینتر برای شبیه‌سازی رشد میوه سیب رقم "گلدن دلشس" نسبت به دو مدل گومپرتز و لجستیک بهتر بود.

شکل ۳ به صورت گرافیکی برازش مدل ذکر شده را روی داده‌های قطر میوه نشان می‌دهد. مدل‌های چپمن-ریچاردز و گومپرتز سه مرحله‌ای و به صورت سیگموئیدی است، ولی مدل LinBiExp به صورت دوخطی بوده و سیگموئیدی کامل نیست. ولی این مدل توانست به خوبی دو مدل سیگموئیدی دیگر رشد را بر

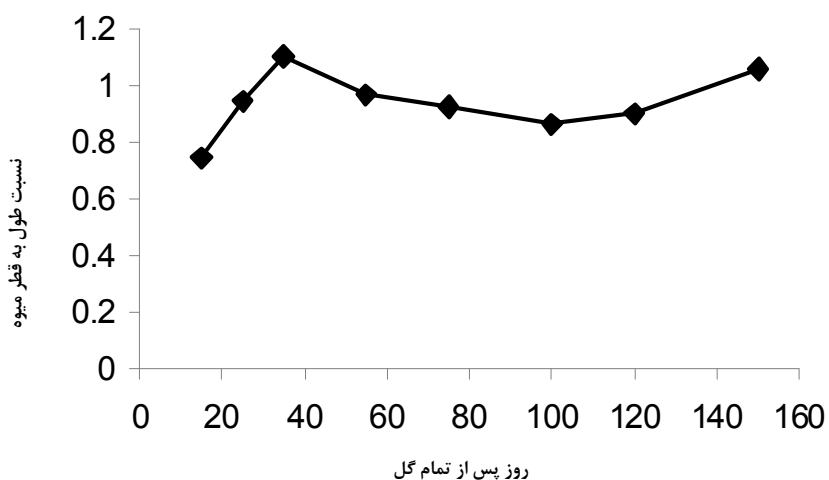
جدول ۴- داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده) و داده‌های پیش‌بینی شده قطر میوه سیب رقم "رد اسپار" با استفاده از مدل‌ها در طی دوره رشد و معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده

روز پس از تمام گل	قطر میوه* (mm)	دو خطی (LinBiExp)	چپمن-ریچاردز	گومپرتز	ریچاردز	لجستیک	خطی	نمایی
۰	۳	۳/۶۵	۳/۳۴	۴/۸۳	۷/۴۷	۷/۴۷	۹/۰۸	۲۰/۲۷
۱۵	۱۲/۶۱	۱۲/۶۶	۱۲/۶۶	۱۲/۷۱	۱۳/۴۴	۱۳/۴۴	۱۶/۱۵	۲۳/۲۷
۲۵	۲۲/۰۵	۲۰/۳۳	۲۰/۳۹	۱۹/۷۸	۱۹/۱	۱۹/۱	۲۰/۸۶	۲۵/۵۱
۳۵	۲۶/۳۶	۲۷	۲۸/۲۰	۲۷/۴۸	۲۶	۲۶	۲۵/۵۸	۲۷/۹۶
۵۵	۴۲/۹۱	۴۰/۳۴	۴۲/۱۰	۴۲/۰۵	۴۱/۴۱	۴۱/۴۱	۳۵/۰۱	۳۳/۶۰
۷۵	۵۱/۷۳	۵۳/۶۸	۵۲/۶۰	۵۳/۱۸	۵۴/۱۸	۵۴/۱۹	۴۴/۴۴	۴۰/۳۷
۱۰۰	۶۱/۳۳	۶۲/۵۰	۶۱/۳۳	۶۱/۸۹	۶۲/۹۷	۶۲/۹۷	۵۶/۲۲	۵۰/۸۰
۱۲۰	۶۷/۲۱	۶۵/۲۴	۶۵/۷۰	۶۵/۸۲	۶۵/۹۳	۶۵/۹۵	۶۵/۶۵	۶۱/۰۴
۱۵۰	۶۸/۵۷	۶۹/۳۶	۶۹/۵۳	۶۸/۸۴	۶۷/۵۲	۶۷/۵۳	۷۹/۷۹	۸۰/۴۱
SSE	-	۲۱/۱۳	۱۰/۸۴	۱۴/۸۹	۴۳/۱۵	۴۳/۱۵	۳۱۸/۹۲	۹۳۱/۱۸
r ²	-	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۳۳	۰/۸۱۲
AIC	-	۳۷/۴۶	۲۹/۴۵	۳۰/۳۱	۴۱/۸۸	۳۹/۸۸	۵۵/۸۸	۶۵/۵۳
SBIC	-	۳۸/۴۴	۳۰/۲۴	۳۰/۹۰	۴۲/۶۷	۴۰/۴۸	۵۶/۲۸	۶۵/۹۲
s	-	۲/۲۹	۱/۴۷	۱/۵۷	۲/۹۳	۲/۶۸	۶/۷۴	۱۱/۵۳

* مدل نمایی-خطی به علت دارا بودن شکل و پارامترهای خاص قابل برازش روی داده‌های حاصل از قطر میوه نبود.



شکل ۳- مدل‌های برازش شده بر الگوی رشد میوه سیب رقم "رد اسپار" بر اساس قطر میوه در طی فصل رشد (روز پس از تمام گل)



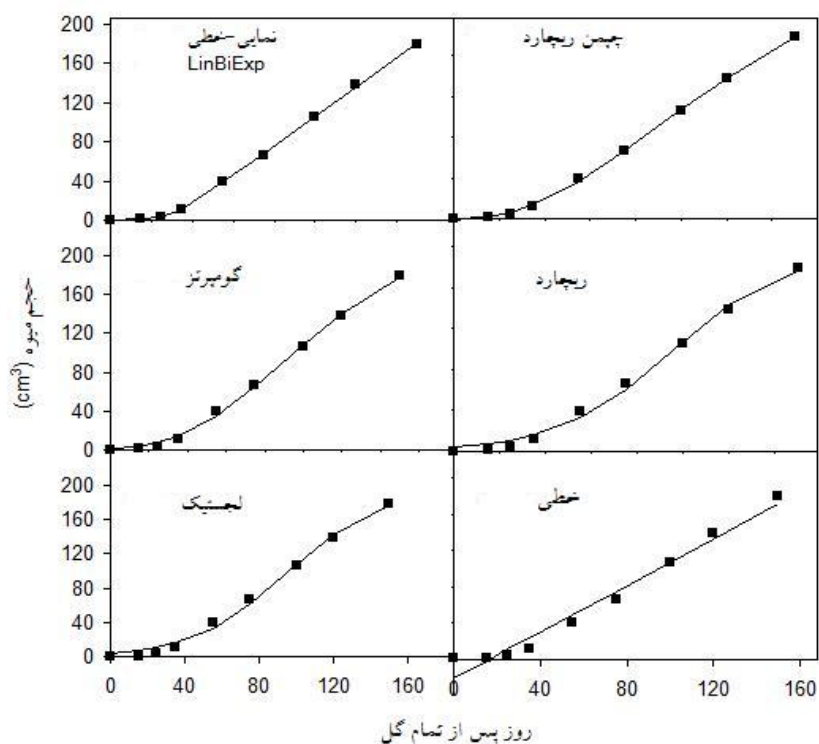
شکل ۴- تغییرات میانگین نسبت طول به قطر میوه سیب رقم "رد اسپار" در دوره رشد میوه

شیب بخش خطی اول در مدل نمایی-خطی بیانگر عدم رشد میوه در طول این دوره (تا ۳۰ روز بعد از گلدهی) می‌باشد که مصادف با دوره تقسیم سلولی است؛ ولی در مدل دو خطی LinBiExp شیب بخش خطی اول صفر نبوده یا به عبارت دیگر همزمان با تقسیم سلولی، رشد میوه با سرعت کمتر در این دوره صورت می‌گیرد که با منابع مختلف مطابق است (Faust, 1989). شکل ۵ به صورت گرافیکی مدل‌های برازش شده

الگوی رشد میوه بر اساس حجم میوه و بررسی تأثیر تیمارهای مورد آزمایش جدول ۵ داده‌های واقعی و برآورد شده الگوی رشد میوه بر اساس حجم و معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده را نشان می‌دهد. بر این اساس، مدل دوخطی LinBiExp به همراه مدل نمایی-خطی با داشتن کمترین خطای باقیمانده (SSE) بهتر از مدل‌های دیگر الگوی رشد میوه را شبیه‌سازی کردند. صفر بودن

جدول ۵- داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده) و پیش‌بینی شده حجم میوه سیب رقم "رد اسپار" با استفاده از مدل‌ها در طی دوره رشد و معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده

روز پس از تمام گل	حجم میوه پیش‌بینی شده						دو خطی (LinBiExp)	حجم میوه (داده‌های واقعی) (cm ³)	تمام گل
	خطی	لجستیک	ریچاردز	گومپرتز	چپمن-ریچاردز	نمایی-خطی			
۰	۱۵/۷۴	-۲۱/۵۶	۴/۱۸	۴/۱۸	۰/۸۳	۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰
۱۵	۲۰/۳۴	-۲/۳	۷/۵۱	۷/۵۱	۳/۵	۱/۵۶	۰/۸۷	۰/۸۸	۱۵
۲۵	۲۳/۹۵	۱۰/۵۵	۱۱/۰۲	۱۱/۰۲	۷/۴۱	۵/۸۳	۳/۷۴	۳/۷۵	۲۵
۳۵	۲۸/۳۲	۲۳/۴۱	۱۶/۰۴	۱۶/۰۴	۱۳/۷۴	۱۳/۲۵	۱۱/۶۳	۱۱/۶۳	۳۵
۵۵	۳۹/۶۳	۴۹/۱۱	۳۲/۵۷	۳۲/۵۷	۳۴/۶۸	۳۶/۲۳	۳۸/۵۹	۳۸/۵۹	۵۵
۷۵	۵۵/۴۴	۷۴/۸۲	۶۰/۳۹	۶۰/۳۹	۶۴/۸۸	۶۶/۲۴	۶۸/۳۸	۳۴/۶۸	۶۶/۰۰۳
۱۰۰	۸۴/۳۶	۱۰۶/۹۵	۱۰۷/۴۹	۱۰۷/۴۹	۱۰۷/۶۵	۱۰۶/۸۳	۱۰۵/۶۸	۱۰۵/۶۹	۱۰۵/۶۸
۱۲۰	۱۱۸/۰۲	۱۳۲/۶۶	۱۴۳/۰۴	۱۴۳/۰۴	۱۳۹/۶۳	۱۳۸/۰۱	۱۳۵/۵۷	۱۳۵/۵۷	۱۳۸/۰۵
۱۵۰	۱۹۵/۳۱	۱۷۱/۲۲	۱۷۶/۰۳	۱۷۶/۰۳	۱۷۷/۷۶	۱۷۸/۹۳	۱۸۰/۳۹	۱۸۰/۴	۱۷۹/۱۶
	۲۵۴/۱/۱۵	۹۲۴/۹۹	۲۵۶/۷	۲۵۶/۷۰	۶۲/۰۴	۲۲/۳۴	۱۴/۸۱	۱۴/۸۱	-
	۰/۹۳۹	۰/۹۸۷	۰/۹۹۳	۰/۹۹۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	SSE
	۷۹/۱۴	۶۵/۴۷	۵۵/۹۳	۵۷/۹۳	۴۳/۱۵	۳۵/۹۶	۳۰/۲۶	۳۴/۲۶	r ²
	۸۰/۱۱۳	۶۵/۸۶	۵۸/۷۲	۵۸/۷۲	۴۳/۷۴	۳۶/۷۵	۳۰/۸۵	۳۵/۲۵	AIC
	۲۳/۲۹	۱۱/۴۹	۶/۵۴	۷/۱۶	۳/۲۱	۲/۱۱	۱/۵۷	۱/۹۲	SBIC
									s



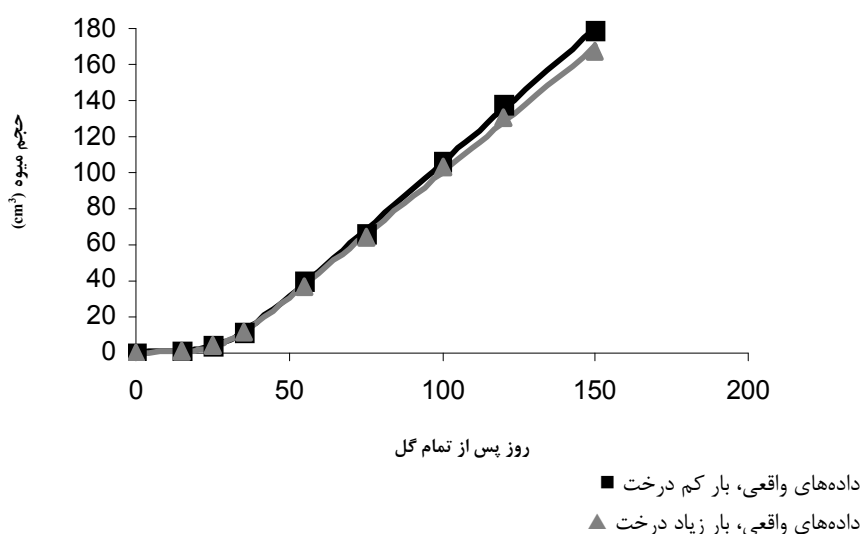
شکل ۵- مدل‌های برازش شده بر الگوی رشد میوه سیب رقم "رد اسپار" بر اساس حجم میوه در طول فصل رشد (روز پس از تمام گل)

بودن و عدم توانایی این مدل برای شبیه‌سازی رشد حجمی میوه در مراحل پایانی باشد. زمانی که وزن یا حجم به عنوان شاخص اندازه‌گیری استفاده می‌شود ممکن است مرحله سوم رشد مشاهده نشود و همچنین در رشد ذاتی در زمان نزدیک به برداشت محصول به

روی حجم را نشان می‌دهد. مدل چپمن-ریچاردز نیز به خوبی روی داده‌ها برازش شد به طوری که از نظر برازش با دو مدل قبلی اختلاف معنی‌دار نداشت ($P > 0.05$). ولی این مدل دارای خطای باقیمانده بیشتری در مقایسه با دو مدل قبلی بود که می‌تواند به دلیل سیگموئیدی

شکل ۶ به صورت گرافیکی و جدول ۶ پارامترهای تخمین زده شده مدل دو خطی را که روی داده‌های حجم میوه حاصل از دو تیمار بار کم و بار زیاد برآزش شده نشان می‌دهند. به منظور مقایسه پاسخ تیمارها از آزمون کاهش مجموع مربعات استفاده شد. بایستی دو نسخه از مدل روی داده‌ها برآزش شود، که شامل مدل کامل با تعداد پارامترهای بیشتر و مدل کاهش یافته با پارامترهای کمتر نسبت به مدل کامل، که با محدود کردن پارامترهای مدل کامل می‌توان به این مدل رسید. این محدودیت‌ها بر اساس نوع پارامتر مورد مقایسه اعمال می‌شد. سپس با استفاده از آزمون F اختلاف بین پاسخ تیمارها و در مرحله بعد اختلاف بین پارامترها با مقایسه مدل کامل در برابر مدل محدود شده برای هر پارامتر مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین پاسخ تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($p=0/03$)، به عبارتی دیگر دو تیمار در برخی پارامترها مشترک و در برخی دیگر اختلاف داشتند. مقایسه هر یک از پارامترها نشان داد که تیمارها در پارامترهای α_1 ، τ_c ، χ و η دارای اختلاف معنی‌داری نبودند ($p>0/05$) ولی سرعت رشد حداکثر (c_m) به طور معنی‌داری متفاوت بود که متناسب با اندازه نهایی میوه بود ($p=0/05$). برخی آزمایشات در ارتباط با تنک میوه ارتباط بین

علت کم بودن رقابت بین میوه‌ها هنوز رشد به صورت خطی بوده و به حالت ثابت در نمی‌آید (Lakso et al., 1995). این دو دلیل باعث شد که مدل چپمن-ریچاردز نتواند به خوبی دو مدل قبلی رشد میوه را بر اساس حجم شبیه‌سازی کند. همچنین پلات خطای باقیمانده نشان داد که در این مدل پراکنش خطا در طول زمان به صورت تصادفی نیست و دارای روند خاصی می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این مدل نمی‌تواند تحت این شرایط مناسب مدل مناسبی برای برآزش الگوی رشد ذاتی میوه در این رقم باشد. به ترتیب بعد از مدل‌های نمایی-خطی، دوخطی LinBiExp و چپمن-ریچاردز، مدل گومپرتز با خطای باقیمانده $74/2$ در رتبه بعدی قرار داشت و آزمون F نشان داد که دارای اختلاف معنی‌داری با مدل دوخطی LinBiExp است ($P<0/05$). در نهایت بر اساس این اطلاعات و این که مدل دوخطی LinBiExp دارای پارامترهای معنی‌داری از نظر فیزیولوژیکی نسبت به مدل‌های دیگر بود، به عنوان مدل برتر انتخاب شد و در مرحله بعد برای بررسی تأثیر تیمار مقدار محصول بر پارامترهای این مدل مورد استفاده قرار گرفت. این مدل دارای معادله‌ای جدید شامل مجموع دو معادله نمایی است، که حاصل آن معادله‌ای با کارکرد دو خطی است.



شکل ۶- مدل LinBiExp برآزش شده روی الگوی رشد میوه سیب رقم "رد اسپار" بر اساس حجم میوه در طول فصل رشد تحت تأثیر تیمارهای میزان محصول درخت. تیمارها شامل بار کم و بار زیاد درخت هستند که به ترتیب معادل $2/5$ و $6/5$ میوه به ازای سانتی متر مربع سطح مقطع تنه می‌باشند.

جدول ۶- پارامترهای تخمین زده شده مدل LinBiExp برازش شده بر رشد و اندازه نهایی میوه سیب رقم "رد اسپار" تحت تأثیر تیمارهای تراکم میوه در درخت

بار درخت (تعدادی میوه به ازای واحد سطح مقطع تنه)	پارامتر	مقدار برآورد شده	اشتباه استاندارد	p > t
۲-۲/۵ (بار کم)	α_1 (cm ³ day ⁻¹)	۰/۰۰۸	۰/۳۱	۰/۹۷
	α_2 (cm ³ day ⁻¹)	۱/۴۹	۰/۰۳	<۰/۰۰۰۱
	χ (cm ³)	۰/۱۷	۸/۴	۰/۹۸
	t_b (day)	۲۹/۳۷	۵/۳۷	۰/۰۰۰۴
	η	۹/۰۹	۸/۱۱	۰/۲۹
	حجم نهایی میوه (cm ³)	-	۱۷۹/۸۶	-
۶-۶/۵ (بار زیاد)	α_1 (cm ³ day ⁻¹)	۰/۰۲۷	۰/۲۷	۰/۹۲
	α_2 (cm ³ day ⁻¹)	۱/۳۹	۰/۰۳	<۰/۰۰۰۱
	χ (cm ³)	۰/۷۶	۷/۲۱	۰/۹۱
	t_c (day)	۲۸/۶۹	۴/۹۳	۰/۰۰۰۲
	η	۷/۰۸	۷/۲۳	۰/۳۵
	حجم نهایی میوه (cm ³)	-	۱۶۷/۲۸	-

سلولی می‌باشد که تأثیر آن روی تعداد سلول‌ها کمتر بوده است. از این رو اختلاف نهایی بیشتر می‌تواند به علت رقابت برای مواد غذایی باشد. بنابراین به منظور بدست آوردن حداکثر تأثیر تنک روی اندازه نهایی میوه این عملیات باید هر چه زودتر قبل از اتمام دوره تقسیم سلولی صورت گیرد تا باعث افزایش تعداد سلول‌ها و در نتیجه منجر به اندازه بزرگتر میوه شود. با توجه به پارامتر T_c بهترین دوره زمانی تنک برای این رقم تا حدود ۶-۵ هفته بعد از تمام گل می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

مدل LinBiExp توانست بهتر از مدل‌های دیگر الگوی رشد میوه سیب رقم "رد اسپار" را براساس هر سه شاخص اندازه‌گیری شده طول، قطر و حجم در شرایط آب و هوایی کرج شبیه‌سازی کند. به این ترتیب این مدل می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای پیش بینی اندازه میوه در زمان برداشت، بررسی تأثیر تیمارهای مختلف و تعیین زمان تأثیر این تیمارها روی رشد در شرایط بدون رقابت میوه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در صورت تغییر مدل در شرایط رشد واقعی (رشد در شرایط وجود رقابت) با مقایسه این مدل‌ها می‌توان منابع اعمال‌کننده محدودیت را تعیین کرد.

اندازه نهایی میوه و تعداد سلول‌های بخش کورتکس میوه سیب را تایید کرده اند (Goffinet et al., 1995). از آنجا که در اوایل فصل تقسیم سلولی علت اصلی رشد میوه است و پس از آن بزرگ شدن سلولی مهمترین دلیل بزرگ شدن میوه می‌باشد، بنابراین سرعت رشد در بخش خطی (c_m) می‌تواند بیانگر اختلاف در تعداد سلول‌ها باشد تا اختلاف در رشد آنها. سلول‌ها در این مرحله صرفنظر از اندازه نهایی میوه با سرعت ثابت تا زمان برداشت رشد می‌کنند، به عبارت دیگر میزان تقاضای کربن برای رشد میوه پس از اتمام تقسیم سلولی تا زمان برداشت نزدیک به یک مقدار ثابت خواهد بود (Lakso et al., 1995).

نتایج نشان داد بین تیمارها تفاوت در سرعت رشد حجم میوه در مرحله خطی (α_2) با اندازه نهایی آن دارای رابطه مستقیم است و اثر افزایش سرعت رشد در مرحله خطی را می‌توان روی اندازه نهایی میوه دید، که به علت دوره طولانی‌تر رشد خطی نسبت به دوره اولیه رشد نمایی (دوره تقسیم سلولی) می‌باشد. در این آزمایش تنک درختان بعد از ریزش دوم صورت گرفت و احتمالاً یکی از دلایل عدم مشاهده اختلاف زیاد در اندازه نهایی میوه بین تیمارها، انجام تنک در مراحل پایانی تقسیم

REFERENCES

1. Assaf, R. & Beavdo, B. (1982). Apple fruit growth as a measure of irrigation control. *Hortscience*, 17, 59-61.
2. Bonesmo, H. (2000). Modelling spring growth of timothy and meadow fescue by an expolinear growth equation, *Acta Agriculture Scandinavia, Section B – Soil & Plant Science*, 49, 216.
3. Buchwald, P. (2007). A general bilinear model to describe growth or decline time profile. *Mathematical Biosciences*, 205, 108-136.
4. Buchwald, P. & Sveiczer, A. (2006). The time-profile of cell growth in fission yeast: model selection criteria favoring bilinear models over exponential ones. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 3, 16.
5. Donald, M. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11, 431-441
6. Faust, M. (1989). *Physiology of temperate zone fruit trees*. Wiley (New York).
7. Goffinet, M., Robinson, T. L. & Lakso, A. N. (1995). A comparison of 'Empire' apple fruit size and anatomy in unthinned and hand-thinned trees. *Journal of Horticultural Science*, 70, 375-387.
8. Goudriaan, J. & Monteith, J. L. (1990). A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany*, 66, 695-701.
9. Ishag, K. H. M. & Dennett, M. D. (1998). Use of the expolinear growth model to analyse the growth of faba beans, peas and lentils at three densities: Fitting the model. *Annals of Botany*, 82, 497-505.
10. Khamis, A., Ismail, Z., Haron, K. & Mohammed, A. T. (2005). Nonlinear growth models for modeling oil palm yield growth. *Journal of Mathematics and Statistics*, 1, 225-233.
11. Lakso, A. N., Corelli Grappadelli, L., Barnard, J. & Goffinet, M. C. (1995). An expolinear model of the growth pattern of the apple fruit. *Journal of Horticultural Science*, 70, 389-394.
12. Lee, J. H., Goudriaan, J. & Challa, H. (2003). Using the expolinear growth equation for modelling crop growth in year-round cut chrysanthemum. *Annals of Botany*, 92, 697-708.
13. Magein, H. (1989). Growth and abscission dynamics of 'Cox's Orange Pippin' and 'Golden Delicious' apple fruits. *Journal of Horticultural Science*, 64, 265-273.
14. Orlandini, S., Moriondo, M., Cappellini, P. & Ferrari, P. (1999). Analysis and modelling of apple fruit growth. *Acta Horticulturae*, 499, 137-146.
15. Palmer J. W., Giuliani, R. & Adams, H. M. (1997). Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of 'Braeburn'/M. 26 apple trees. *Tree Physiology*, 17, 741-747.
16. Palmer, J. W. (1988). Annual dry matter production and partitioning over the first 5 years of bed system of 'Crispin'-M.27 apple trees at four spacing. *Journal of Applied Ecology*, 25, 569-578.
17. Palmer, J. W. (1992). Effects of varying crop load on photosynthesis, dry matter production and partitioning of 'Crispin'/M.27 apple trees. *Tree Physiology*, 11, 19-33.
18. Schechter, I., Proctor, J. T. A. & Elfving, D. C. (1993). Characterization of seasonal fruit growth of 'Idard' apple. *Scientia Horticulturae*, 54, 549-556.
19. Welte, H. F. (1990). Forecasting harvest fruit size during the season. *Acta Horticulturae*, 276, 275-282.