

ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیر خطی در آنالیز رشد میوه گردو ایرانی

عیسی کراملو^{1*} - مهدی شریفانی² - حسین صبوری³

تاریخ دریافت: 1392/05/27

تاریخ پذیرش: 1394/03/24

چکیده

مدل‌های ریاضی رشد و نمو گیاهان از ابزارهای بسیار مهم در مطالعه و بررسی سیستم‌های کشاورزی بوده و از آن‌ها می‌توان در تصمیم‌گیری و یا طراحی روش‌های مدیریتی، استفاده کرد. این مدل‌ها می‌توانند در بررسی تیمارهای مختلف و زمان تاثیر آن‌ها بر روی رشد میوه، پیش‌بینی تاریخ برداشت و روش‌های مدیریتی مرتبط با نمو میوه استفاده شود. مدل‌های رگرسیونی زیادی برای توصیف الگوهای رشد سیگموئیدی وجود دارد. هدف از این مطالعه، بررسی مدل‌های رگرسیون غیر خطی رشد میوه بر پایه وزن، طول و عرض میوه و انتخاب بهترین مدل الگوی رشد ذاتی میوه گردو ایرانی بود. از دو مدل دابل سیگموئید و تک مولکولی - لجستیک برای بررسی مدل رشد میوه بر پایه وزن میوه و از چهار مدل ریچارد، گومپرتز، لجستیک و نمایی برای بررسی الگوی رشد بر پایه طول و عرض میوه استفاده شد. برای انتخاب بهترین مدل از چهار معیار کمترین معیار اطلاعات آکائیک، معیار اطلاعات بین شوارتز، جذر میانگین مربعات خطا و بیشترین ضریب تبیین استفاده شد. بر اساس معیارهای انتخاب بهترین مدل، مدل دابل سیگموئید، برای شبیه‌سازی بر اساس وزن میوه و مدل ریچارد، در شبیه‌سازی بر حسب طول و عرض میوه بهترین مدل شناسایی شدند. این مدل‌ها به‌طور موثری می‌توانند در بهبود مدیریت باغ، از جمله آبیاری، کوددهی و عملیات باغداری استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: دابل سیگموئید، رشد سیگموئیدی، مدل‌سازی رشد، معیارهای انتخاب مدل، وزن کل میوه

مقدمه

دنیا و ایران بعنوان درخت چند منظوره، کشت شده است. گزارش‌ها نشان می‌دهد پوست سبز میوه و دانه گردو، دارای منحنی رشد سیگموئید ساده می‌باشند (8، 9 و 12). نتایج مطالعه لی و همکاران (12) فرایندهای نمو میوه گردو را به چهار مرحله تقسیم کرد:

- 1- دوره رشد آهسته (حدود 30 روز بعد از گلدهی): در این دوره نمو کلی میوه پایین اما سرعت رشد نسبی⁴ (RGR) حداکثر می‌باشد. این مرحله با دوره گلدهی همپوشانی و با مراحل خواب جنین تا مرحله رشد کروی را شامل می‌شود.
- 2- رشد سریع (30 تا 60 روز بعد از گلدهی): در این دوره افزایش مطلق وزن و حجم به حداکثر می‌رسد. از این پس حجم میوه افزایش نمی‌یابد. لپه‌ها، ریشه‌چه، جنین و پوسته اندام جنین در این مرحله تشکیل می‌شود.

- 3- تجمع چربی (60 تا 100 روز بعد از گلدهی): در این دوره مقدار قند، پروتئین و بویژه محتوی چربی از 5 درصد در روز 60، به بیش از 50 درصد در 100 روز بعد از گلدهی می‌رسد.

- 4- بلوغ میوه (100 تا 140 روز بعد از گلدهی): در این دوره

توسعه مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی رشد و پیش‌بینی عملکرد و راه‌های دستیابی به کیفیت مناسب محصول، 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. در نتیجه با آگاهی از روند و الگوی تغییرات فصلی رشد و نمو میوه در جهت بهبود مدیریت باغ، از جمله آبیاری، کوددهی و عملیات باغداری می‌توان برنامه ریزی لازم را انجام داد. در نتیجه مدیریت صحیح باغات؛ از طریق آنالیز و مدل‌سازی رشد میوه، بهبود می‌یابد (1، 4 و 13).

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.)، از نظر اقتصادی یکی از خشک میوه‌های بسیار مهم است که از گذشته‌های دور در سرتاسر

1 - دانشجوی دکتری کشاورزی هسته‌ای، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

2- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* - نویسنده مسئول: (Email: iskaramatlou@gmail.com)

3- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه گنبد

قطر تنه حدود 60 سانتی‌متر تا یک متر به صورت تک تنه و انفرادی و در شرایط کشت فاصله دار می‌باشند. نمونه‌برداری با پایان شکستن گل ماده که کلاله به طور کامل باز، خشک و به رنگ تیره بود (تمام گل) آغاز و نمونه‌ها به صورت تصادفی از چهار طرف درخت در ارتفاع یکسان انتخاب و در پاکت مخصوص به هر گونه با یادداشت تاریخ نمونه‌برداری قرار گرفت. به این ترتیب که از هر ژنوتیپ 20 نمونه در هر مرحله جمع‌آوری و اندازه‌گیری‌ها در هر ژنوتیپ با استفاده از راهنمای اتحادیه بین‌المللی حفاظت از ارقام جدید گیاهان¹⁰ بر روی نمونه‌ها انجام شد. اندازه‌گیری وزن میوه با ترازوی دیجیتال (گرم)، طول (میلی‌متر) و عرض (میلی‌متر) میوه با کولیس دیجیتال در فواصل زمانی مشخص (14 روز) تا زمان برداشت (10 مرحله) ادامه داشت. برای اندازه‌گیری عرض میوه در مراحل اولیه برای تشخیص جهت شیار میوه¹¹ با پوست سبز، میوه از بخش نزدیک به میانی برش و سپس اندازه‌گیری با کولیس انجام شد، و در نهایت از داده‌های یکسان در هر ژنوتیپ برای ارزیابی پارامترهای مختلف مدل‌ها و نیز برای ارزیابی بهترین مدل استفاده شد.

در این مطالعه به منظور ارزیابی مدل‌های مختلف رگرسیونی غیر خطی از داده‌های 3 ژنوتیپ شامل G₃، G₅ و G₈ استفاده شد. نتایج سایر ژنوتیپ‌ها نیز موجود است که اینجا به دلیل محدودیت حجم مقاله ذکر نمی‌شود. به طور کلی روش رگرسیونی آنالیز رشد شامل مراحل زیر است: 1- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها (وزن، طول و عرض میوه نسبت به زمان). 2- برازش یک یا چند معادله امیدبخش به داده‌ها و ارزیابی آن‌ها و انتخاب معادله برتر و 3- توضیح و تفسیر نتایج حاصله از تجزیه رگرسیون (20).

برای توصیف روند تغییرات رشد میوه بر اساس وزن میوه در طی فصل رشد، از دو مدل زیر استفاده شد:
1- مدل دابل سیگموئید (22):

$$Y = \frac{\beta_0}{1 + \exp[-(\beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^2 + \beta_4 x^3)]} \quad (1)$$

با علامت اختصاری D-SIG که در آن Y وزن مورد انتظار میوه در زمان X (روز پس از تمام گل)، β_0 حداکثر مقدار وزن میوه، و β_1 ، β_2 ، β_3 ، β_4 ثابت تجربی معادله می‌باشند که شکل منحنی را تعیین می‌کنند.

2- مدل تک مولکولی - لجستیک (5):

$$Y = y_1 + y_2 = (\beta_1(1 - \exp(-\beta_2 x))) + \left(\frac{\beta_3}{1 + \exp(-\beta_4(x - \beta_5))}\right) \quad (2)$$

پوست شروع به تغییر رنگ، چروکیدگی و ترک برداشتن می‌کند. وزن میوه، قند و پروتئین میوه کاهش و میزان چربی افزایش می‌یابد. راموس (15) یک دوره رشد کند در رشد کل میوه (8 هفته بعد از گلدهی) را همزمان با توسعه لپه‌ها و سخت شدن پوست سخت، همچنین رشد مغز گردو و وزن خشک آن به مدت 3 تا 4 هفته را گزارش کرده است. معادلات زیادی برای توصیف الگوهای رشد سیگموئیدی پیشنهاد شده است. جهت تشخیص تفاوت‌های ژنوتیپی یا تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی روی فرایندهای رشد، مدل‌های رگرسیونی که توصیف مناسبی از رشد گیاه ارائه کنند لازم است. از مدل‌های رگرسیونی مختلفی (خطی و غیرخطی) می‌توان برای برآورد تغییرات سطح برگ و رشد میوه نسبت به زمان استفاده کرد. مدل‌های رشد رگرسیون غیرخطی که به طور گسترده استفاده شده‌اند، تابع دابل سیگموئید¹، دو خطی² LinBiExp، تک مولکولی³، لجستیک⁴، گومپرتز⁵، ریچاردز⁶، ویبول⁷، نمایی⁸ و بتا⁹ می‌باشند (2، 6، 7، 10، 10، 11 و 16). این مدل‌ها بر تیمارهای مختلف در آزمایش برآزش می‌شوند، پارامترهای آن‌ها بدست می‌آید و به کمک برآورد پارامترها می‌توان تیمارها را مقایسه کرد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی رشد میوه گردو و انتخاب بهترین مدل الگوی رشد ذاتی میوه گردو ایرانی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال 1390 در شهرستان مینودشت (استان گلستان) واقع در 38 کیلومتری جنوب شرقی آن انجام شده است. ارتفاع منطقه 1060 متر از سطح دریا و در عرض جغرافیایی 37 درجه و 4 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 55 درجه و 32 دقیقه شرقی قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالیانه در منطقه 690 میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش با توجه به هدف تحقیق برای کاهش اثرات شرایط محیطی بر رشد و نمو گردو، تعداد 14 ژنوتیپ بذری گردو (به ترتیب G₁ تا G₁₄ شماره‌گذاری شدند) در ارتفاع یکسان از سطح دریا و نوع خاک بر اساس سلامت و قدرت رشد درختان بصورت تصادفی جهت مطالعه خصوصیات میوه و بررسی مدل‌های رشد انتخاب گردید. سن ژنوتیپ‌های انتخاب شده 30 تا 50 سال و ارتفاع 10 تا 15 متر و با

- 1 - Double-Sigmoid Function
- 3- Linearized Biexponential (Linbiexp)
- 3- Monomolecular
- 4- Logistic
- 5- Gompertz
- 6- Richards
- 7- Weibull
- 8- Exponential
- 9- Beta

10- UPOV

11- Fruit suture

2- معیار اطلاعات بین شوارتز (BIC):³ مدلی که کمترین BIC را دارد بهترین مدل است. معیار BIC شاخص سخت‌گیرانه‌تری نسبت به AIC دارد (17).

جدول 1- مدل‌های ریاضی غیر خطی مورد استفاده در ارزیابی الگوی رشد میوه گردو بر اساس طول و عرض میوه.

Table 1- Nonlinear mathematical models considered in this study based on fruit length and width.

نوع مدل Model	علامت اختصاری Symbol	معادله ریاضی Math equation
لجستیک Logistic	LOG	$Y = \frac{\alpha}{1 + \beta \exp(-kx)}$
گومپرتز Gompertz	GMP	$Y = a \exp(-\beta \exp(-kx))$
ریچارد Richard	RCD	$Y = \frac{a}{[1 + \beta \exp(-kx)]^{(1/\sigma)}}$
نمایی Exponential	EXP	$Y = a(1 - \exp(-kx))$

$$BIC = n_{obs} \ln(SSE) + n_{par} \ln(n_{obs}) \quad (6)$$

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

3- کمترین جذر میانگین مربعات خطا⁴ (RMSE):

$$RMSE = \left[\frac{\sum (O_i - S_i)^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad (7)$$

که در آن O_i مقدار مشاهده یا اندازه‌گیری شده، S_i مقدار شبیه‌سازی شده با مدل و n تعداد جفت مقادیر مورد استفاده در محاسبه RMSE هستند.

4- بیشترین ضریب تبیین (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_{tot}} \quad (8)$$

که در آن SSE و SS_{tot} به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند (21).

برای تخمین پارامتر و برازش مدل وزن، طول و عرض میوه از رویه PROC NLIN در نرم‌افزار SAS و دستور Solver در نرم‌افزار Excel استفاده شد (3، 19 و 17).

با علامت اختصاری MON-LOG که در آن Y وزن مورد انتظار میوه در زمان X (روز پس از تمام گل)، y_1 مدل تک مولکولی رشد در مرحله اول رشد و y_2 مدل لجستیک رشد در مرحله دوم رشد میوه، و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ و β_5 پارامترهای معادله می‌باشند:

β_1 : رشد تجمعی، بویژه در مرحله اول رشد. میوه‌های با β_1 بالا شرایط رشد بهتری در این مرحله دارند. رشد تجمعی مقدار رشد در واحد زمان بعلاوه مقدار رشد در زمان قبل می‌باشد.

β_2 : سرعت رشد نسبی (RGR) در شروع تحقیق. میوه‌های با β_2 بالا سریعتر به حداکثر رشد تجمعی می‌رسند. سرعت رشد نسبی عبارت از سرعت افزایش وزن کل میوه، که با افزایش اندازه میوه، سرعت رشد مطلق آن کاهش پیدا می‌کند و واحد آن گرم بر گرم وزن خشک در روز می‌باشد.

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1) \quad (3)$$

W_1 و W_2 وزن میوه در دو بازه زمانی T_1 و T_2 می‌باشد.

β_3 : مشابه β_1 برای مرحله دوم رشد می‌باشد.

β_4 : سرعت رشد نسبی در مرحله دوم رشد. میوه‌های با β_4 بالا سریعتر به حداکثر سرعت رشد تجمعی (β_3) در مرحله دوم رشد می‌رسند.

β_5 : حداکثر سرعت رشد مطلق¹ (AGR) در مرحله دوم رشد. سرعت رشد مطلق (گرم در روز) افزایش وزن کل میوه در یک بازه زمانی خاص می‌باشد:

$$AGR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

W_1 و W_2 وزن میوه در دو بازه زمانی T_1 و T_2 می‌باشد.

معادله ریاضی سایر مدل‌های مورد استفاده برای ارزیابی الگوی رشد میوه بر پایه طول و عرض میوه همراه با علامت اختصاری آن در جدول 1 گنجانده شده است. پارامترهای مدل‌های غیر خطی شامل α حداکثر پتانسیل متغیر وابسته، β ثابت بیولوژیکی، k سرعتی که در آن متغیر وابسته به حداکثر پتانسیل خود نزدیک می‌شود و در نهایت σ ثابت آلومتریک می‌باشد (16). در جدول (1)، X متغیر مستقل و Y متغیر وابسته می‌باشد.

برای انتخاب بهترین مدل از چهار معیار زیر استفاده شد:

1- معیار اطلاعات آکائیک (AIC)²: مدلی که کمترین مقدار

AIC را دارد بهترین مدل است (3).

$$AIC = n_{obs} \ln(SSE) + 2n_{par} \quad (5)$$

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

3- Bayesian Information Criterion
4- Root Mean Square of Error

1- Absolute Growth Rate
2- Akaike Information Criterion

نتایج و بحث

مدل رشد بر اساس وزن کل میوه اندازه‌گیری شده

با توجه به داده‌های واقعی و برآورد شده الگوی رشد بر اساس وزن میوه در ژنوتیپ‌های منتخب و معیارهای انتخاب بهترین مدل تابع دابل سیگموئید و مدل تک مولکولی - لجستیک به خوبی روند تغییرات وزن میوه در برابر زمان (روز پس از تمام گل) را شبیه‌سازی می‌نماید. جدول (2) تخمین پارامترهای معادله‌های برازش شده وزن میوه گردو در 3 ژنوتیپ انتخاب شده را نشان می‌دهد. با این وجود بطور کلی با توجه به معیارهای انتخاب، مدل دابل سیگموئید دارای معیار AIC، BIC و RSME کمتر و R^2 بیشتری نسبت به مدل لجستیک - تک مولکولی در بیشتر ژنوتیپ‌ها بود (جدول 3).

شکل 1 مدل‌های برازش شده روی داده‌های حاصل از وزن میوه در فصل رشد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، رشد میوه از نظر وزن کل میوه در دو مرحله صورت می‌گیرد. در اوایل مرحله یک، دوره رشد کند 30 روزه وجود دارد و سپس با یک رشد سریع تا 60 روز پس از تمام گل ادامه می‌یابد و در انتهای دوره، رشد مجدداً کم می‌شود و میوه وارد مرحله دوم رشد خود می‌شود. پس از یک دوره کوتاه رشد در اوایل مرحله دوم رشد (روز 70 تا 85 پس از تمام گل)، رشد میوه مجدداً افزایش یافته و سپس در انتهای دوره با رسیدن میوه و شکاف برداشتن پوست سبز دوباره رشد کاهش می‌یابد (130 روز پس از مرحله تمام گل). در طی مرحله اول رشد، در نتیجه تشکیل سلول‌ها و بافت‌های جدید و بزرگ شدن آن‌ها، وزن و اندازه میوه افزایش می‌یابد. طی مرحله دوم، میوه شکل گرفته و از لحاظ ترکیبات شیمیایی غنی می‌شود. این تغییرات شامل لگنی شدن سلول‌های پوست چوبی و تغییرات مهم در ترکیبات مغز گردو می‌باشد (15 و 18).

موافق با نتایج این تحقیق، پنی و پالیتو (14) با بررسی وزن تازه میوه از زمان گلدهی تا برداشت میوه در سه رقم اشلی¹، هارتلی² و فرانکو³ نشان دادند ارقام اشلی و هارتلی دارای الگوی رشد دابل سیگموئید با مشخصه رشد کند 3 هفته‌ای، 7 هفته بعد از گلدهی می‌باشند. میزان رشد کلی طول و عرض میوه در این زمان، از وزن تازه میوه تبعیت می‌کرد. با این وجود رقم فرانکو الگوی رشد سیگموئید نشان داد که مخالف با رقم اشلی و هارتلی و ژنوتیپ‌های بررسی شده در مطالعه حاضر به استثناء ژنوتیپ G10 (منفی شدن پارامتر β بعلا نامحسوس شدن تغییرات وزن میوه پس از مرحله رشد سریع) می‌باشد. آنها هم‌چنین نشان دادند الگوی رشد مغز گردو دابل سیگموئید می‌باشد.

مدل رشد بر اساس طول میوه اندازه‌گیری شده

مدل‌های استفاده شده توانستند الگوی رشد میوه را به خوبی شبیه‌سازی کنند ولی با توجه به معیارهای انتخاب، مدل ریچارد (RCD) بهترین برازش را داشت. به طوری که این مدل کمترین مقدار AIC، BIC و RSME و بیشترین R^2 را در اکثر ژنوتیپ‌های بررسی شده به خود اختصاص داد (جدول 4). مدل‌های لجستیک (LOG)، گومپرتز (GMP) و نمایی (EXP) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. در مورد رشد میوه بر اساس طول، اطلاعات زیادی در منابع در دسترس نیست. به دلیل کوتاه بودن طول دوره اول رشد سیگموئیدی و داده‌برداری در فواصل 14 روز، این مرحله از رشد به طور واضح مشخص نیست. مرحله اول رشد سیگموئیدی به مدت 15 روز بطول انجامید و با یک دوره رشد سریع تا حدود روز 55 در اکثر ژنوتیپ‌ها ادامه یافت. پس از این زمان افزایش رشد طولی تا زمان برداشت نامحسوس می‌شود. در مرحله اول رشد، در نتیجه تشکیل سلول‌ها و بافت‌های جدید، طول میوه افزایش می‌یابد و پس از آن میوه شکل گرفته و از لحاظ ترکیبات شیمیایی غنی می‌شود در نتیجه تغییر در طول میوه نامحسوس می‌شود (15 و 18). شکل 2 برازش چهار مدل ذکر شده بر روی داده‌های طول میوه را نشان می‌دهد.

مدل رشد بر اساس عرض میوه اندازه‌گیری شده

مدل‌های استفاده شده توانستند الگوی رشد میوه را بر اساس عرض میوه همانند طول میوه به خوبی شبیه‌سازی کنند ولی با توجه به معیارهای انتخاب، مدل ریچارد (RCD) بهترین برازش را داشت. به طوری که این مدل کمترین مقدار AIC، BIC و RSME و بیشترین R^2 را در اکثر ژنوتیپ‌های بررسی شده به خود اختصاص داد (جدول 5). مدل‌های لجستیک (LOG)، گومپرتز (GMP) و نمایی (EXP) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. عرض میوه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد و نمو میوه بوده و شدیداً با عملکرد نهایی مرتبط است.

به دلیل کوتاه بودن طول دوره اول رشد سیگموئیدی و داده برداری در فواصل 14 روز، این مرحله از رشد به طور واضح مشخص نیست. مرحله اول رشد سیگموئیدی به مدت 15 روز به طول انجامید و با یک دوره رشد سریع تا حدود روز 50-45 در اکثر ژنوتیپ‌ها ادامه یافت. پس از این زمان افزایش رشد عرضی تا زمان برداشت نامحسوس می‌شود. در مرحله اول رشد، در نتیجه تشکیل سلول‌ها و بافت‌های جدید، طول میوه افزایش می‌یابد و پس از آن میوه شکل گرفته و از لحاظ ترکیبات شیمیایی غنی می‌شود در نتیجه تغییرات عرض میوه بسیار کم می‌شود (15 و 18). شکل (3) برازش چهار مدل ذکر شده روی داده‌های عرض میوه را نشان می‌دهد.

- 1- Ashley
- 2- Hartley
- 3- Franquette

جدول 2- تخمین پارامترهای معادله‌های برازش شده وزن میوه گردو در ژنوتیپ‌های منتخب G_3 ، G_5 و G_8

Table 2- Estimated parameters of the fitted model for walnut fruit weight in selected genotypes G_3 , G_5 and G_8

پارامتر Parameter	واحد Unit	مدل دابل سیگموئید Double-Sigmoid model			مدل تک مولکولی - لجستیک Monomolecular- logistic model			
		G_3	G_5	G_8	واحد Unit	G_3	G_5	G_8
β_0	گرم	42.01	52.89	36.60	-	-	-	-
β_1	-	-8.706	-5.6611	-9.1256	گرم Gram	49.1257	11.6736	20.7449
β_2	-	0.4063	0.1184	0.3599	روز^{-1} Day ⁻¹	0.00177	0.00809	0.0045
β_3	-	-0.00533	-0.000512	-0.00387	گرم Gram	31.8896	45.8331	27.0627
β_4	-	0.000025	-0.00000569	0.00015	روز^{-1} Day ⁻¹	0.1694	0.1579	0.1966
β_5	-	-	-	-	روز Day	34.0021	43.5619	39.3122

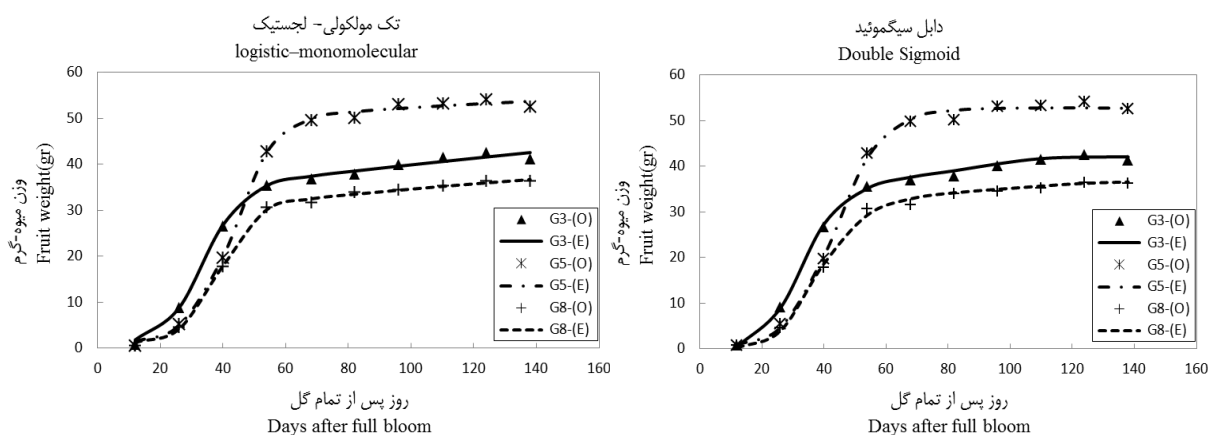
جدول 3- معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده بر حسب وزن میوه گردو در ژنوتیپ‌های منتخب G_3 ، G_5 و G_8

Table 3- Criteria for selecting the best model by walnut fruit weight in selected genotypes G_3 , G_5 and G_8

معیار Criterion	G_3		G_5		G_8	
	MON-LOG	D-SIG	MON-LOG	MON-LOG	MON-LOG	D-SIG
AIC	26.86	23.09	17.20	17.20	17.20	26.89
BIC	24.14	20.40	14.50	14.50	14.50	24.19
RSME	0.778	0.573	0.498	0.498	0.498	0.766
R^2	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997

D-SIG: مدل دابل سیگموئید، MON-LOG: مدل تک مولکولی - لجستیک، AIC: معیار اطلاعات آکائیک، BIC: معیار اطلاعات بین شوارتز، RSME: جذر میانگین مربعات خطا، R^2 : ضریب تبیین.

D-SIG: Double-Sigmoid, MON-LOG: Monomolecular- logistic, AIC: Akaike Information Criterion, BIC: Bayesian Information Criterion, RSME: Root Mean Square of Error, R2: Coefficient of Determination.



شکل 1- مدل‌های برازش شده الگوی رشد میوه گردو (O: مشاهده شده و E: برآورد شده) ژنوتیپ‌های G_3 ، G_5 و G_8 بر اساس وزن تازه کل میوه در طی فصل رشد (روز پس از تمام گل)

Figure 1- The fitted model of fruit growth pattern (O: observed and E: estimated) in genotypes of G_3 , G_5 and G_8 based on the total weight of fresh fruit during the growing season (Days after full bloom)

جدول 4- معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده بر حسب طول میوه در ژنوتیپ‌های منتخب G_3 ، G_5 و G_8 .

Table 4- Criteria for selecting the best model by fruit length in selected genotypes G_3 , G_5 and G_8 .

معیار Criterion	G_3				G_5				G_8			
	EXP	GMP	LOG	RCD	EXP	GMP	LOG	RCD	EXP	GMP	LOG	RCD
AIC	-17.51	-21.51	-24.57	-23.34	-9.05	-11.42	-24.47	-24.86	-13.86	-22.00	-30.23	-29.43
BIC	-18.31	-22.32	-24.37	-25.15	-9.85	-12.12	-25.28	-26.56	-14.67	-22.80	-31.03	-31.23
RMSE	0.102	0.081	0.068	0.064	0.162	0.105	0.069	0.064	0.126	0.081	0.050	0.046
R^2	.991	0.994	0.996	0.996	0.983	0.993	0.997	0.997	0.998	0.995	0.998	0.998

RCD: ریچارد، LOG: لجستیک، GMP: گومپرتز، EXP: نمایی، AIC: معیار اطلاعات آکائیک، BIC: معیار اطلاعات بین شوارتز، RSME: جذر میانگین مربعات خطا، R^2 : ضریب تبیین.

RCD: Richard, LOG: Logistic, GMP: Gompertz, EXP: Exponential, AIC: Akaike Information Criterion, BIC: Bayesian Information Criterion, RSME: Root Mean Square of Error, R^2 : Coefficient of Determination.

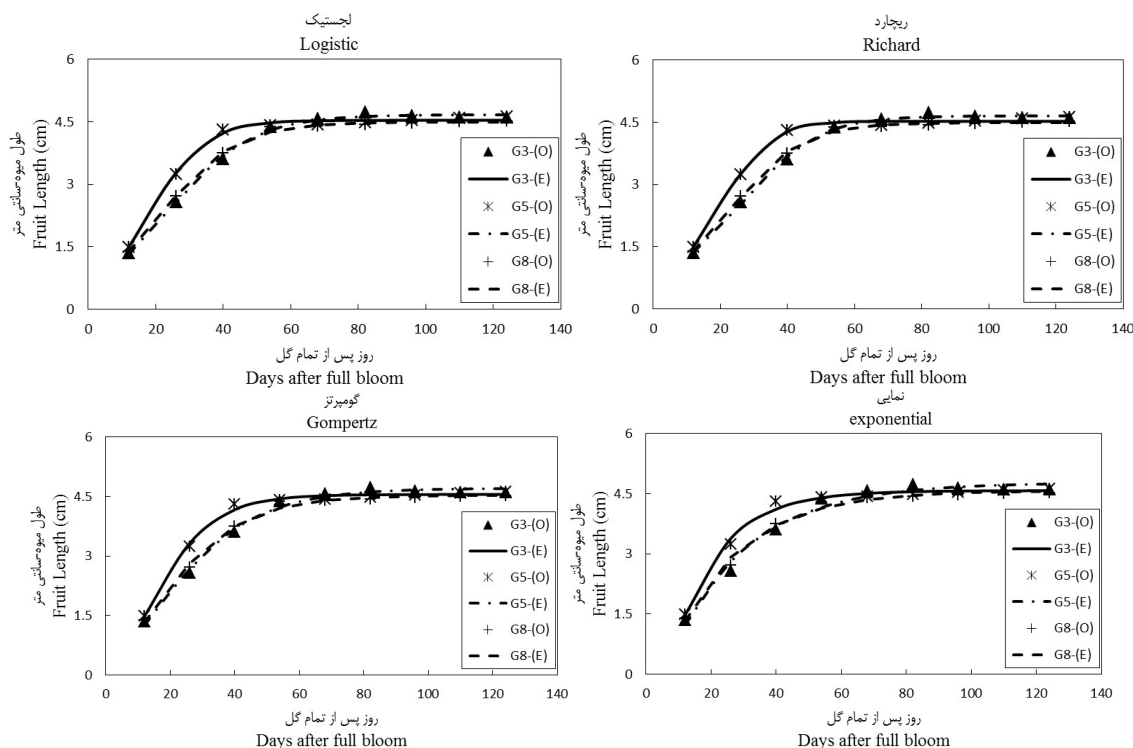
جدول 5- معیارهای انتخاب بهترین مدل برازش شده بر حسب عرض میوه در ژنوتیپ‌های منتخب G_3 ، G_5 و G_8 .

Table 5- Criteria for selecting the best model by fruit width in selected genotypes G_3 , G_5 and G_8 .

معیار Criterion	G_3				G_5				G_8			
	EXP	GMP	LOG	RCD	EXP	GMP	LOG	RCD	EXP	GMP	LOG	RCD
AIC	-17.9	-27.55	-29.4	-28.5	-5.66	-15.25	-23.48	-22.2	2.03	-15.71	-24.69	-27.75
BIC	-18.7	-28.36	-30.2	-30.31	-5.46	-16.05	-24.29	-24.0	1.22	-16.51	-25.49	-29.55
RMSE	0.099	0.058	0.053	0.051	0.195	0.114	0.072	0.069	0.228	0.110	0.066	0.051
R^2	0.992	0.997	0.997	0.997	0.979	0.993	0.997	0.997	0.943	0.990	0.996	0.997

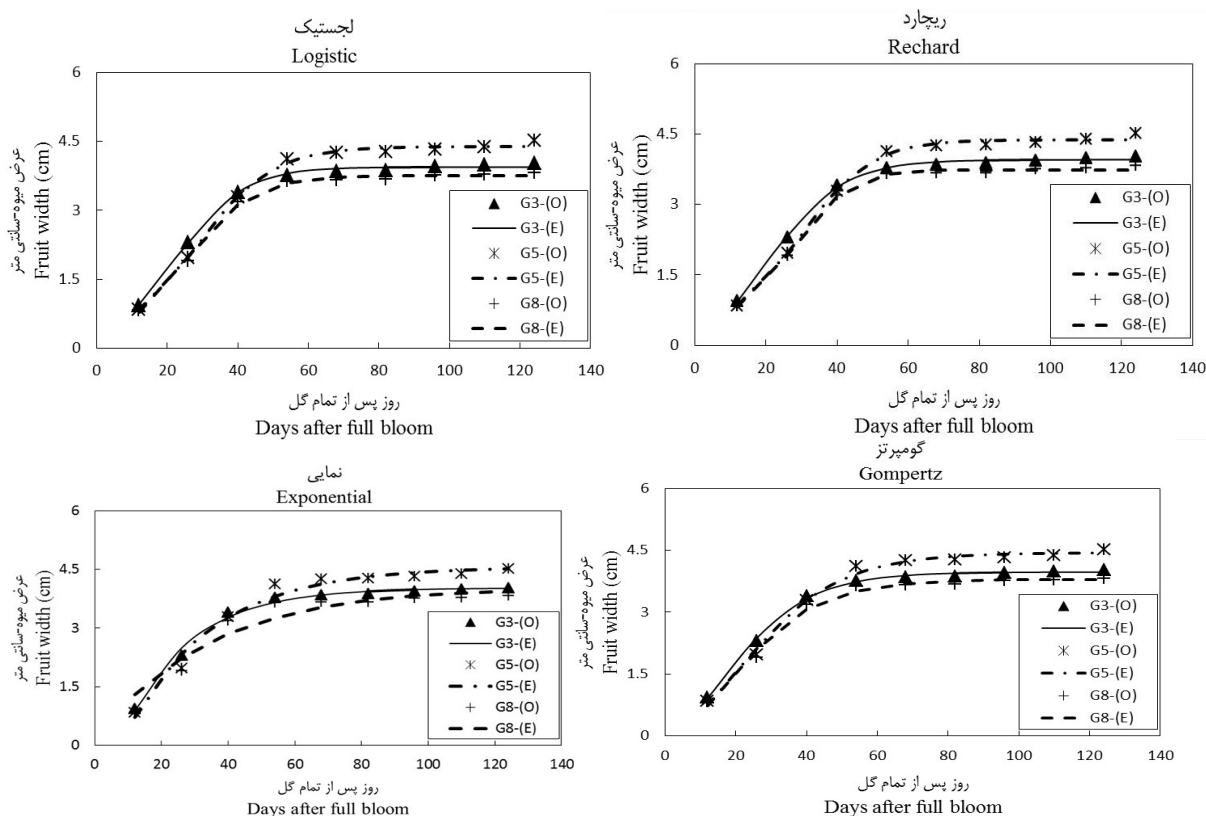
RCD: ریچارد، LOG: لجستیک، GMP: گومپرتز، EXP: نمایی، AIC: معیار اطلاعات آکائیک، BIC: معیار اطلاعات بین شوارتز، RSME: جذر میانگین مربعات خطا، R^2 : ضریب تبیین.

RCD: Richard, LOG: Logistic, GMP: Gompertz, EXP: Exponential, AIC: Akaike Information Criterion, BIC: Bayesian Information Criterion, RSME: Root Mean Square of Error, R^2 : Coefficient of Determination.



شکل 2- مدل‌های برازش شده الگوی رشد میوه گردو (O: مشاهده شده و E: برآورد شده) ژنوتیپ‌های G_3 ، G_5 و G_8 بر اساس طول میوه (سانتی‌متر) در طی فصل رشد (روز پس از تمام گل)

Figure 2- The fitted model of fruit growth pattern (O: observed and E: estimated) in genotypes of G_3 , G_5 and G_8 based on fruit length (cm) during the growing season (days after full bloom)



شکل 3- مدل‌های برازش شده الگوی رشد میوه گردو (O: مشاهده شده و E: برآورد شده) ژنوتیپ‌های G_3 ، G_5 و G_8 بر اساس عرض میوه (سانتی‌متر) در طی فصل رشد (روز پس از تمام گل)

Figure 3- The fitted model of fruit growth pattern (O: observed and E: estimated) in genotypes of G_3 , G_5 and G_8 based on fruit width (cm) during the growing season (days after full bloom)

تعیین زمان تاثیر تیمارهای مختلف روی رشد میوه، پیش‌بینی تاریخ برداشت و روش‌های مدیریتی مرتبط با نمو میوه، مانند کاربرد اتفن¹ در مرحله قهوه‌ای شدن تیغه میانی جهت تسریع و تسهیل در برداشت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در صورت تغییر مدل در شرایط رشد واقعی (رشد در شرایط وجود رقابت) با مقایسه این مدل‌ها می‌توان منابع اعمال کننده محدودیت را تعیین کرد.

مدل‌های بررسی شده با دقت بالا الگوی رشد میوه گردو را در طول فصل رشد در شرایط آب و هوایی مینودشت شبیه‌سازی کردند، با این وجود به علت نامحسوس بودن تغییرات طول و عرض میوه پس از مرحله رشد سریع میوه، وزن میوه در تعیین اندازه نهایی میوه ارجحیت دارد. بنابراین این مدل‌ها می‌توانند به عنوان روشی مناسب برای تعیین اندازه میوه در زمان برداشت، بررسی تیمارهای مختلف و

منابع

- 1-Banayan M. 2002. Development and applications of simulation models in agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
- 2- Behtari B., Nemati Z., Hassanpour H., and Rezapour Fard J. 2011. Modeling Seedling Emergence and Growth in Green Bean, Sunflower and Maize by Some Nonlinear Models, Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 20(2):130-140. (in Persian with English abstract)
- 3- Chahuky M.A.Z. 2010. Multivariate Analysis with SPSS. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- 4- Dastmalchi A., Soltani A., Latifi, N. and Zeinali E. 2011. Parameter estimates and evaluation of CropSyst-Wheat for Golestan province cultivars, Electronic Journal of Crop Production, 4 (2): 63-80. (in Persian with English abstract)
- 5- Genard M., and Bruchou C. 1993. A functional and exploratory approach to studying growth: the example of the

- peach fruit, Journal of the American Society for Horticultural Science, 118(2):317-323.
- 6- Ghadirian R., Soltani A., Zeinali E., Kalateh Arabi, M. and Bakhshandeh A. 2012. Evaluating non-linear regression models for use in growth analysis of wheat, Electronic Journal of Crop Production, 4 (3): 55-77. (in Persian with English abstract)
 - 7- Heinen M. 1999. Analytical growth equations and their Genstat 5 equivalents, Netherlands Journal of Agricultural Science, 47: 67-89.
 - 8- Jackson D., Looney N., Morley-Bunker, M. and Thiele G. 2011. Temperate and Subtropical Fruit Production, CAB international, Oxfordshire, London, UK.
 - 9- Jalili Marandi R. 2005. Pomology, Jahad Daneshgahi of West Azerbaijan unit publication, Ormia, Iran.
 - 10- Khamis A., Ismail Z., Haron, K. and Mohammed A. T. 2005. Nonlinear growth models for modeling oil palm yield growth, Journal of Mathematics and Statistics, 1(3): 225-233.
 - 11- Latifian, M. and Zareh M. 2009. The effects of climatic factors on Date palm scale (*Parlatoria blanchardi* Targ.) (Hem.: Dispididae) in Khuzestan province, Plant Protection Journal, 1(3): 277-287. (in Persian)
 - 12- Li Y., Ma S., Wang Y., Xuan X., Hou L., Sun, Q. and Yang K. 2012. The dynamics of fat, protein and sugar metabolism during walnut (*Juglans regia* L.) fruit development, African Journal of Biotechnology, 11(5): 1267-1276.
 - 13- Orlandini S., Moriondo M., Cappellini, P. and Ferrari P. 1998. Analysis and modelling of apple fruit growth, 28-31 July 1998, Atti V° Int. Symp. on Computer modelling in fruit research and orchard management, Wageningen, Netherland.
 - 14- Pinney, K. and Polito V.S. 1983. English walnut fruit growth and development, Scientia Horticulturae, 21:19-28.
 - 15- Ramos D. E. 1997. Walnut Production Manual, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, USA.
 - 16- Rawlings J.O., Pantula, S.J. and Dickey D.A. 1998. Applied Regression Analysis: A Research Department of statistics North Carolina State University, 659p, Available at: <http://books.google.com/books?id=PMeJGeXA09EC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> (visited 24 August 2013).
 - 17- Saei A., Talaei A., Zamani, Z. and Tastyn S. 2011. Modeling and assessment of crop load effect on fruit growth pattern of apple cv. red spur in karaj climatic conditions, Iranian Journal of Horticultural Sciences, 42(1):83-94. (in Persian with English abstract)
 - 18- Sharma S.D., Monastra, F. and Rator F.D.S. 2001. Breeding hazelnut, almond and walnuts, Translated by Jalili Marandi R, HakimiRezai J., Urmia University Jahad Publications, Urmia, Iran.
 - 19- Soltani A. 2007. Application of SAS in statistical analysis, Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran.
 - 20- Soltani A. 2008. Reconsideration of application of statistical method in agricultural researches, Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran.
 - 21- Soltani A. 2009. Mathematical modeling in crop plants, Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran.
 - 22- Zavalloni C., Andresen J.A. and Flore J.A. 2006. Phenological models of flower bud stages and fruit growth of Montmorency sour cherry based on growing degree-day accumulation, Journal of the American Society for Horticultural Science, 131(5): 601-607.