

مقایسه "مدل‌های رشد هایپربولستیک" با مدل‌های رشد کلاسیک در توصیف منحنی رشد جوجه‌های نر گوشتی سویه راس

محسن نیکخواه^۱، مجید متقی‌طلب^{۲*} و محسن زواره^۳
۱، ۲، ۳، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
(تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۲ - تاریخ تصویب: ۸۸/۱۰/۲)

چکیده

مدل‌های رشد کلاسیک مانند گومپرتز و ریچاردز به صورت وسیع در مطالعات مربوط به جوجه‌های گوشتی استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده از ۳ نوع مدل هایپربولستیک موسوم به H1 (متج از مدل رشد لجستیک)، H2 (مستقل)، و H3 (متج از مدل رشد وی‌بول) برای توصیف پاسخ رشد در طیور گوشتی و مقایسه آنها با مدل‌های کلاسیک بوده است. در این تحقیق از داده‌های مربوط به میانگین وزن ۹۲ قطعه جوجه نر گوشتی که از سن ۱ تا ۵۶ روزگی پرورش داده شدند استفاده گردید. نکویی برازش هر یک از مدل‌ها با استفاده از R^2 , MSE, RSD, Bias تعیین گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که مدل H3 ($R^2=0/99993$) احتمالاً به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر، توانایی برازش بهتری داشته است. به علاوه مدل رشد H3 با داشتن بالاترین دقت $R^2=0/99993$ و کمترین خطا ($MSE=264$, $RSD=16$ و $Bias=0/5$) بهتر از دیگر مدل‌های رشد منحنی رشد جوجه‌های گوشتی را برازش کرده و به دنبال آنها مدل‌های رشد وی بول، گومپرتز، ریچاردز، H1، H2 قرار داشتند، در حالیکه مدل رشد لجستیک به عنوان مدلی با کمترین دقت ($R^2=0/99897$) و بیشترین خطا ($MSE=3432$) برآورد گردید. استنتاج کلی این است که با توجه به دقت و ویژگی‌های مدل H3 می‌توان از آن در ارزیابی رشد جوجه‌های گوشتی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: جوجه گوشتی، توابع غیرخطی رشد، هایپربولستیک، ریچاردز و گومپرتز.

مقدمه

چند شاخص که ممکن است تفسیر زیستی نیز داشته باشند را نشان دهند (Goliomytis et al., 2003). منحنی‌های رشد تغییرات منظم در ارتباط با وزن زنده با قسمت‌های آن را همزمان با افزایش سن که معمولاً به صورت سیگموئیدی (S شکل) می‌باشند را توصیف می‌کنند. امروزه مدل‌های رشد در سیستم‌های زیستی اهمیت ویژه‌ای داشته و از طریق آنالیز و مطالعه منحنی‌های رشد در طیور این امکان وجود دارد تا مراحل رشد آنها با قوانین رشد شناخته شده انطباق داده شده، تا به کمک آنها برنامه‌های مدیریتی و تغذیه‌ای جهت بهبود انتخاب و اثرات پرورش ارائه گردد. به علاوه

رشد به عنوان یک شاخص در سیستم زیستی، عبارت است از افزایش توده بدن حیوان در واحد زمان (Yang et al., 2006). پیش‌بینی نرخ رشد در مراحل مختلف پرورش این مزیت را دارد که امکان شناخت مواد مغذی مورد نیاز میسر شده، امکان ارائه اقتصادی‌ترین برنامه مدیریت تغذیه ممکن خواهد شد. از جمله راه‌های پیش‌بینی رشد استفاده از مدل‌های رشد است. مدل‌های رشد توابع ریاضی هستند که برای توصیف الگوی رشد وزن بدن یا اجزاء آن به کار می‌روند. به عبارت دیگر این توابع قادرند خلاصه‌ای از اطلاعات در رابطه با رشد در

ارائه شده و کلاس ۳ (H3) که منتج از مدل رشد وی بول^۳ می باشد طبقه بندی می شوند. Ahmadi & Mottaghtalab (2007) با مطالعه این گروه از مدل‌ها روی وزن جوجه گوشتی بدست آمده از داده‌های Roush et al. (2006) نشان دادند که چنین مدل‌هایی در جوجه‌های گوشتی نسبت به مدل‌های رایج دیگر دقت بیشتری دارند.

هدف از این پژوهش بررسی توانایی مدل‌های رشد هایپربولستیک در پیش‌بینی رشد جوجه‌های نرگوشتی سویه راس (پرورش داده شده در شرایط ایران) نسبت به مدل‌های مشتق شده و همچنین تعیین بهترین کلاس آنها و همزمان ارزیابی این گروه از مدل‌ها نسبت به مدل‌های رشد کلاسیک (گومپرتز و ریچاردز) بود.

مواد و روش‌ها

داده‌ها

تعداد ۱۰۰ قطعه جوجه نرگوشتی راس (سویه راس ۳۰۸) به صورت تصادفی از یک گله انتخاب و شماره پا بروی همه آنها نصب گردید. جوجه‌ها روی بستر پرورش یافته و در طول دوره پرورش از برنامه نوری ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت خاموشی استفاده شد. دسترسی پرنده‌ها به آب و دان به صورت آزاد بود. پرنده‌ها از ۲۱-۰ روز از جیره شروع کننده (۳۰۱۰ کیلوکالری انرژی متابولیسمی در هر کیلوگرم و ۲۱/۷٪ پروتئین)، طی ۴۲-۲۱ روزگی از جیره رشد (۳۱۷۵ کیلوکالری انرژی متابولیسمی در هر کیلوگرم و ۲۱/۲٪ پروتئین) و ۵۶-۴۲ روزگی از جیره پایانی (۳۲۲۵ کیلوکالری انرژی متابولیسمی در هر کیلوگرم و ۱۸/۱۵٪ پروتئین) تغذیه شده و براساس برنامه رایج واکسینه شدند (National Research Council, 1994). تمامی جوجه‌ها روزانه و به صورت انفرادی وزن‌کشی و داده‌های مربوط به آن ثبت گردید. جدول ۱ میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر وزن مشاهده شده را نشان می‌دهد. در پایان دوره رکوردهای مربوط به ۸ قطعه از جوجه‌ها که در طول دوره تلف شدند حذف و از میانگین وزن ۹۲ قطعه پرنده در این تحقیق استفاده گردید.

از منحنی‌های رشد می‌توان جهت ارزیابی پتانسیل ژنتیکی نیز استفاده نمود (Aggrey, 2002; Aggrey et al., 2003; Knizetiva et al., 1985; Knizetova et al., 1991). در فرایند پیش‌بینی و توصیف منحنی رشد طیور مدل‌های زیادی ارائه شده که عموماً مبتنی بر دو مؤلفه می‌باشند، شامل:

۱. فاز سریع رشد؛ که از جوجه درآوری آغاز و تا نقطه عطف منحنی رشد (نرخ رشد در بالاترین حد) ادامه می‌یابد.

۲. فاز آهسته یا نزولی، که از نقطه عطف منحنی شروع و به وزن ماکزیمم رشد یا وزن بلوغ ختم می‌شود (Roush et al., 2006).

مدل‌های مورد استفاده جهت پیش‌بینی رشد در طیور به طور کلی از نوع توابع رگرسیون غیرخطی مانند گومپرتز، ریچاردز و لجستیک می‌باشند (Knizetiva et al., 1985; Knizetova et al., 1991; Nahashon et al., 2006) که براساس توانایی هر یک در پیش‌بینی رشد و همچنین تعداد شاخص‌های مدل به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند:

الف) توابعی که حرکت سیگموئیدی آرام داشته، نقطه عطف آنها ثابت و به صورت درصدی از وزن نهایی بیان می‌شود (گومپرتز و لجستیک).

ب) توابعی که دارای حرکت سیگموئیدی پیوسته بوده، نقطه عطف آنها متغیر بوده و می‌تواند در هر جایی از شروع تا پایان منحنی رشد رخ دهد (Rogers et al., 1987).

در سالهای اخیر مطالعات زیادی جهت بالا بردن دقت مدل‌ها انجام گرفته، که عموماً یا به صورت مدل جدید ارائه و یا مدل‌های موجود اصلاح تا دقت مدل نسبت به فرم قبلی ارتقاء یابد (Lopez et al., 2000). Tabatabai et al. (2005) با ارائه یک گروه از مدل‌های رشد سه و چهار پارامتری تحت عنوان "مدل‌های رشد هایپربولستیک"^۱ توانستند دقت پیش‌بینی مدل را نسبت به مدل‌های مرسوم در پیش‌بینی رشد سلول‌های سرطانی بهبود دهند. این گروه از مدل‌ها در سه کلاس شامل کلاس ۱ (H1) که فرم تعدیل یافته مدل رشد لجستیک^۲ می‌باشد؛ کلاس ۲ (H2) که به طور مستقل

1. Hyperbolic growth models
2. Logistic growth model

جدول ۱- حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار، وزن (گرم) مشاهده شده جوجه‌های نرگوشتی سویه راس

انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین	سن(روز)	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین	سن (روز)
±۱۲۶	۱۳۰۰	۱۱۰۵	۱۲۳۸	۲۹	±۴	۵۱	۳۷	۴۴	۱
±۱۴۷	۱۳۹۵	۱۱۵۰	۱۳۰۰	۳۰	±۴	۶۱	۴۴	۵۲	۲
±۱۵۸	۱۴۷۰	۱۰۸۸	۱۳۸۰	۳۱	±۵	۶۹	۴۹	۶۱	۳
±۱۶۲	۱۵۹۰	۱۱۸۵	۱۴۳۰	۳۲	±۵	۸۴	۶۴	۷۲	۴
±۱۶۲	۱۶۸۰	۱۲۶۰	۱۵۱۰	۳۳	±۷	۱۰۴	۷۴	۸۴	۵
±۱۵۷	۱۷۳۰	۱۳۴۰	۱۵۹۵	۳۴	±۱۰	۱۱۷	۸۱	۹۹	۶
±۱۷۰	۱۸۰۵	۱۳۹۰	۱۶۷۵	۳۵	±۱۳	۱۳۳	۹۶	۱۱۵	۷
±۱۷۴	۱۸۹۵	۱۴۴۰	۱۷۶۵	۳۶	±۱۵	۱۵۸	۱۱۱	۱۳۴	۸
±۱۸۷	۲۰۱۰	۱۵۱۰	۱۸۵۰	۳۷	±۱۹	۱۸۵	۱۲۵	۱۵۵	۹
±۱۸۵	۲۰۶۰	۱۵۹۰	۱۹۶۰	۳۸	±۲۱	۲۱۰	۱۴۵	۱۷۶	۱۰
±۱۸۸	۲۱۶۰	۱۶۵۰	۲۰۵۵	۳۹	±۲۳	۲۴۵	۱۷۲	۲۰۳	۱۱
±۱۹۲	۲۲۷۰	۱۷۳۰	۲۱۶۰	۴۰	±۲۹	۲۷۷	۱۹۱	۲۳۶	۱۲
±۱۹۸	۲۳۸۵	۱۸۲۰	۲۲۳۵	۴۱	±۳۴	۳۲۰	۲۱۰	۲۷۰	۱۳
±۲۰۳	۲۴۵۰	۱۹۰۰	۲۳۲۰	۴۲	±۳۳	۳۴۶	۲۶۵	۳۰۱	۱۴
±۲۱۱	۲۵۳۰	۱۹۹۵	۲۴۳۵	۴۳	±۳۵	۳۵۴	۲۹۰	۳۴۰	۱۵
±۲۱۰	۲۶۵۰	۲۰۶۵	۲۵۴۰	۴۴	±۳۹	۳۹۶	۳۳۵	۳۷۵	۱۶
±۲۲۵	۲۷۴۰	۲۱۵۵	۲۶۱۰	۴۵	±۴۳	۴۶۰	۳۷۰	۴۰۸	۱۷
±۲۳۶	۲۸۵۰	۲۲۱۰	۲۷۰۰	۴۶	±۳۲	۵۲۰	۴۲۰	۴۷۸	۱۸
±۲۳۵	۲۹۶۰	۲۲۹۵	۲۸۰۵	۴۷	±۴۸	۵۸۵	۴۶۵	۵۳۵	۱۹
±۲۴۴	۳۰۷۵	۲۳۸۵	۲۹۱۵	۴۸	±۴۰	۶۳۰	۵۲۰	۵۸۰	۲۰
±۲۴۴	۳۱۸۰	۲۴۷۰	۳۰۳۵	۴۹	±۵۵	۷۰۰	۵۶۵	۶۴۸	۲۱
±۲۳۶	۳۲۰۵	۲۵۶۵	۳۱۴۰	۵۰	±۶۲	۷۷۰	۶۰۵	۶۹۵	۲۲
±۲۴۲	۳۲۹۵	۲۶۸۰	۳۲۳۰	۵۱	±۶۷	۸۳۰	۶۷۵	۷۶۹	۲۳
±۲۴۹	۳۴۰۰	۲۷۶۵	۳۳۴۵	۵۲	±۶۶	۸۹۵	۷۵۰	۸۴۱	۲۴
±۲۵۶	۳۵۱۵	۲۷۳۵	۳۴۵۵	۵۳	±۸۵	۹۸۰	۸۰۵	۹۰۸	۲۵
±۲۶۲	۳۶۲۰	۲۸۰۵	۳۵۷۰	۵۴	±۹۶	۱۰۴۰	۸۸۰	۹۹۳	۲۶
±۲۶۹	۳۷۱۵	۲۸۱۰	۳۶۴۰	۵۵	±۱۰۴	۱۱۳۵	۹۴۵	۱۰۷۳	۲۷
±۲۷۴	۳۸۲۵	۲۸۵۵	۳۷۱۰	۵۶	±۱۰۳	۱۲۲۰	۱۰۵۰	۱۱۶۰	۲۸

مدل‌های رشد

از مدل‌های رشد شامل مدل‌های اصلی که گروه مدل‌های رشد هایپربولستیک از آن مشتق شده‌اند (وی بول و لجستیک) و مدل‌های رشد مستقل (گومپرتز و ریچاردز)، استفاده شد.

جدول ۲ مدل‌های رشد مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. علاوه بر گروه مدل‌های هایپربولستیک از مدل‌های رشد مرسوم در طیور نیز جهت مقایسه و بررسی قابلیت توصیف و دقت این گروه

در همه مدل‌های رشد ارائه شده در جدول ۲، $W(t)$

جدول ۲- توابع مدل‌های رشد مورد استفاده در این تحقیق (Tabatabaai et al., 2005)

شاخص α	شکل تابع	مدل رشد
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0} \text{EXP}[M\beta t_0 + \theta \text{arcsinh}(t_0)]$	$w(t) = \frac{M}{1 + \alpha \text{EXP}[-M\beta t - \theta \text{arcsinh}(t)]}$	H1
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0 \text{arcsinh}[\text{EXP}(-M\beta t_0^\lambda)]}$	$W(t) = \frac{M}{1 + \alpha \text{arcsinh}[\text{EXP}(-M\beta t^\lambda)]}$	H2
$\alpha = (M - W_0) \text{EXP}[\beta t_0^\lambda + \text{arcsinh}(\theta t_0)]$	$W(t) = M - \alpha \text{EXP}[-\beta t^\lambda - \text{arcsinh}(\theta t)]$	H3
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0} \text{EXP}(M\beta t_0)$	$W(t) = \frac{M}{[1 + \alpha \text{EXP}(-M\beta t)]}$	لجستیک
$\alpha = (M - P_0) \text{EXP}(\beta t_0^\lambda)$	$W(t) = M - \alpha \text{EXP}(-\beta t^\lambda)$	وی بول
$\alpha = \left[\left(\frac{M}{W_0} \right)^\lambda - 1 \right] \text{EXP}(M\beta t_0)$	$W(t) = \frac{M}{[1 + \text{EXP}(-M\beta t)]^\lambda}$	ریچاردز
$\alpha = \text{LN}\left(\frac{M}{W_0}\right) \text{EXP}(M\beta t_0)$	$W(t) = M \text{EXP}[-\alpha \text{EXP}(-M\beta t)]$	گومپرتز

هایپربولستیک بالاترین پیش‌بینی (۸۹۶۶ گرم) را نشان می‌دهد. مقایسه داده‌های بدست آمده از شاخص M (وزن نهایی)، حاکی از آن است که بین مدل‌های رشد از یک طرف و نیز بین آنها با مقدار مشاهده شده تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) مشاهده می‌شود. اگرچه هیچ مدلی نیست که بتواند پاسخ حیوان را دقیقاً پیش‌بینی کند، اما ارزیابی کلی آماری نشان می‌دهد که کلاس H3 از گروه مدل‌های هایپربولستیک ($RSD=16$; $MSE=264$ ؛ $R^2=0.99993$) و مدل وی‌بول ($RSD=17$; $MSE=268$ ؛ $R^2=0.99992$) با بالاترین دقت و کمترین خطا، نسبت به دیگر مدل‌های رشد توانست نزدیکترین و بهترین پیش‌بینی را ارائه دهند. به دنبال آنها به ترتیب مدل‌های رشد گومپرتز ($R^2=0.99985$; $MSE=506$ ؛ $R^2=0.99985$)، ریچاردز ($R^2=0.99984$; $MSE=538$) و لجستیک قرار داشتند (جدول ۵). همچنین H1 نسبت به مدل رشد لجستیک ($R^2=0.99941$) در مقابل ($R^2=0.99898$) و H3 نسبت به مدل رشد وی‌بول ($R^2=0.99993$) در مقابل ($R^2=0.99992$) با دقت بالاتر و خطای کمتر برازش رشد را میسر نمودند (جدول ۵). به علاوه کلاس H3 نسبت به دیگر مدل‌های رشد وزن شروع را بدون هیچگونه خطایی پیش‌بینی و هماهنگ با نتایج Tabatabaai et al. (2006) به خوبی خطای ناشی از شروع پیش‌بینی را کاهش داد. نتایج حاصل از این بررسی با نتایج بدست آمده از سایر پژوهش‌ها که در آنها از مدل‌های تعدیل شده استفاده نمودند، مطابقت داشت (Brown et al., 1976; France et al., 1996b; Gill & Salomon, 1995; Lopez et al., 2000). از ویژگی‌های مدل H1 ارائه شده نسبت به مدل اصلی این است که الگوی تابع لجستیک براساس نقطه عطف به صورت همسان^۴ است، در حالیکه کلاس H1 با داشتن یک شاخص بیشتر از مدل لجستیک، انعطاف‌پذیری بیشتری داشته و می‌تواند الگوی رشد را به صورت غیرهمسان^۵ با افزایش یا کاهش نرخ رشد در طول دوره، برازش کند (جدول ۵). همچنین در کلاس H2 تعداد پارامترهای آن شبیه به کلاس H1 بوده و رشد را به صورت غیرهمسان پیش‌بینی کرده اما

وزن زنده در زمان t ، β نرخ رشد ذاتی، θ و γ شاخص‌های مدل و M وزن بلوغ یا وزن نهایی است. در هر مدل α تابعی تعریف شده از شاخص‌های استفاده شده در مدل و وزن مشاهده شده (W_0) در زمان شروع می‌باشد که اجازه می‌دهد تا خطای ناشی از نقطه آغاز پیش‌بینی نسبت به آنچه که به صورت واقعی مشاهده می‌شود، کاهش یابد.

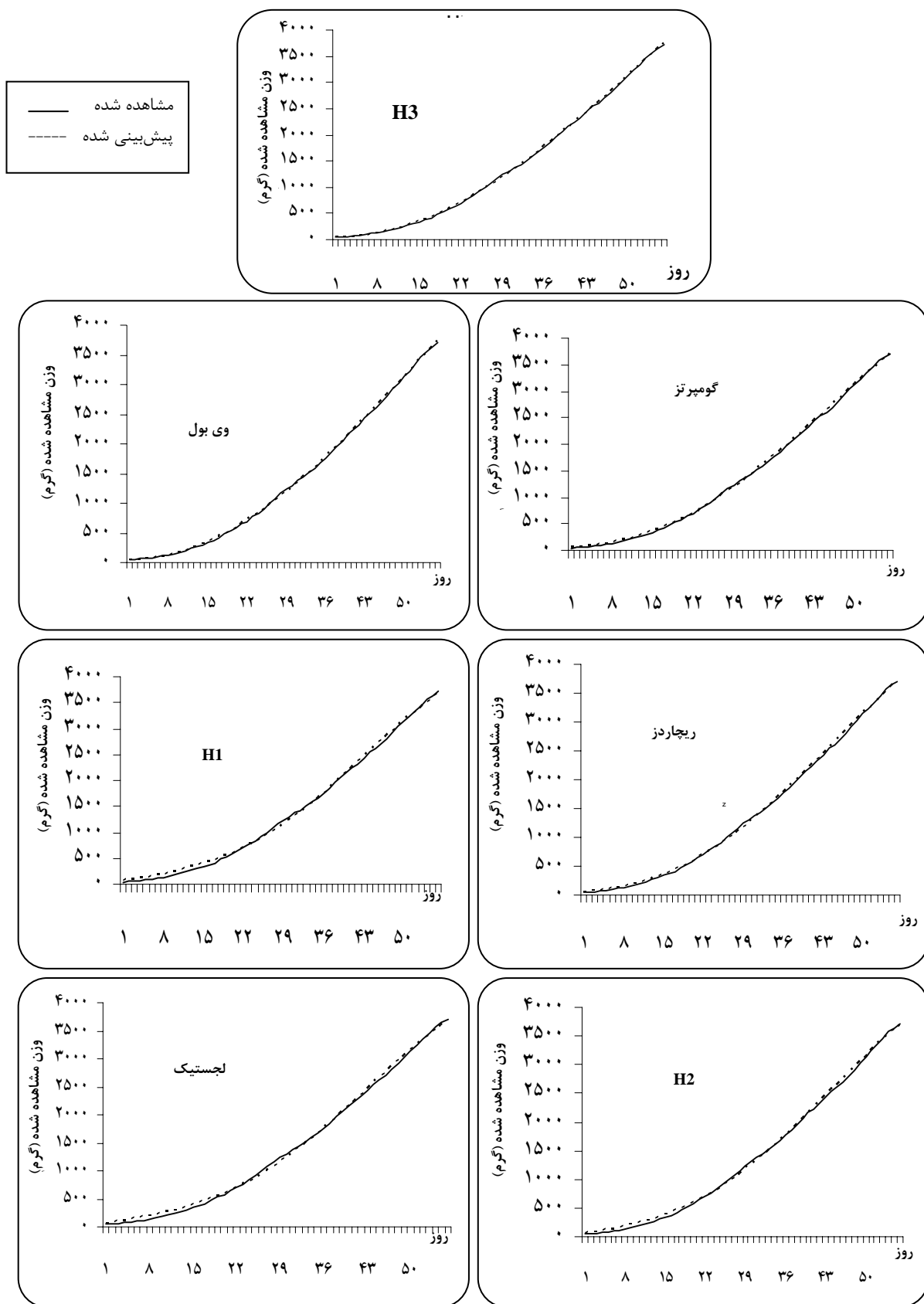
مدل‌های مختلف رشد با استفاده از دستور PROC NLIN نرم‌افزار آماری بر داده‌های آزمایشی مربوط به رشد جوجه‌های گوشتی برازش داده شد (SAS Institute Inc, 1999). نکوئی برازش^۱ این مدل‌ها به وسیله ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا^۲ (MSE)، انحراف استاندارد باقیمانده^۳ (RSD) و انحراف از مشاهده (Bias) استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل ۱ منحنی رشد بدست آمده از هفت مدل رشد مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس این نمودار همه مدل‌های رشد به جز مدل لجستیک که در فاز ابتدایی خطای آن قابل توجه بود، مدل‌های دیگر توانستند رشد را به خوبی برازش نمایند. وزن مشاهده شده و پیش‌بینی شده از ۱ تا ۵۶ روزگی بوسیله هر یک از مدل‌های رشد همراه با خطای پیش‌بینی مدل، تخمین پارامترهای هر یک از مدل‌های رشد و برخی شاخص‌های مورد استفاده در مقایسه آنها در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. براساس میزان دقت و خطای پیش‌بینی در گروه مدل‌های هایپربولستیک، کلاس H3 این گروه بهترین پیش‌بینی را ($R^2=0.99993$; $MSE=264$; $RSD=16$; $Bias=0.5$) نسبت به H2 ($RSD=34$; $Bias=-9$; $MSE=1213$) و H1 ($R^2=0.99964$; $Bias=-11$; $RSD=44$) ارائه نمود. تخمین پارامترهای هر یک از مدل‌های رشد در جدول ۴ ارائه شده است. تخمین وزن نهایی (M)، مدل لجستیک کمترین پیش‌بینی (۴۵۷۹ گرم) و کلاس H3 گروه

1. Goodness of fit
2. Mean square error
3. Residual standard deviation

4. Symmetric
5. Asymmetric



شکل ۱- وزن بدن مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط هر یک از مدل‌های رشد

جدول ۳- میزان وزن (گرم) مشاهده شده و پیش‌بینی شده بوسیله مدل‌ها، همراه با باقیمانده آنها

سن (روز)	مشاهده شده		H1		H2		H3		گومپرتز		لجستیک		ریچاردز		وی بول	
	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.	Res	Pre.
۱	۴۴	۶۴	-۲۰	۶۴	-۱۷	۶۱	۰	۴۴	-۵	۴۹	-۷۱	۱۱۵	-۷	۵۱	۴۵	-۱
۲	۵۲	۸۳	-۳۰	۸۳	-۲۳	۷۵	۶	۴۶	-۷	۵۹	-۷۴	۱۲۶	-۹	۶۱	۴۸	۴
۳	۶۱	۱۰۰	-۳۹	۱۰۰	-۲۸	۸۹	۹	۵۲	-۹	۷۰	-۷۶	۱۳۷	-۱۱	۷۲	۵۴	۷
۴	۷۲	۱۱۸	-۴۶	۱۱۸	-۳۳	۱۰۵	۱۲	۶۰	-۱۰	۸۲	-۷۸	۱۵۰	-۱۲	۸۴	۶۴	۸
۵	۸۴	۱۳۷	-۵۳	۱۳۷	-۳۷	۱۲۱	۱۲	۷۲	-۱۲	۹۶	-۸۰	۱۶۴	-۱۴	۹۸	۷۵	۹
۶	۹۹	۱۵۶	-۵۷	۱۵۶	-۴۰	۱۳۹	۱۳	۸۶	-۱۳	۱۱۲	-۸۰	۱۷۹	-۱۵	۱۱۴	۹۰	۹
۷	۱۱۵	۱۷۶	-۶۱	۱۷۶	-۴۴	۱۵۹	۱۱	۱۰۴	-۱۵	۱۳۰	-۸۰	۱۹۵	-۱۷	۱۳۲	۱۰۸	۷
۸	۱۳۴	۱۹۷	-۶۳	۱۹۷	-۴۶	۱۸۰	۱۰	۱۲۴	-۱۶	۱۵۰	-۷۹	۲۱۳	-۱۸	۱۵۲	۱۲۸	۶
۹	۱۵۵	۲۲۰	-۶۵	۲۲۰	-۴۸	۲۰۳	۷	۱۴۸	-۱۷	۱۷۲	-۷۷	۲۳۲	-۱۹	۱۷۴	۱۵۱	۴
۱۰	۱۷۶	۲۴۴	-۶۸	۲۴۴	-۵۱	۲۲۷	۲	۱۷۴	-۲۱	۱۹۷	-۷۷	۲۵۳	-۲۲	۱۹۸	۱۷۸	-۲
۱۱	۲۰۳	۲۷۰	-۶۷	۲۷۰	-۵۱	۲۵۴	-۱	۲۰۴	-۲۰	۲۲۳	-۷۲	۲۷۵	-۲۲	۲۲۵	۲۰۷	-۴
۱۲	۲۳۶	۲۹۸	-۶۲	۲۹۸	-۴۷	۲۸۳	۰	۲۳۶	-۱۷	۲۵۳	-۶۴	۳۰۰	-۲۲	۲۵۴	۲۳۹	-۳
۱۳	۲۷۰	۳۲۷	-۵۷	۳۲۷	-۴۳	۳۱۳	-۱	۲۷۱	-۱۶	۲۸۴	-۵۷	۳۲۷	-۱۶	۲۸۶	۲۷۴	-۴
۱۴	۳۰۱	۳۵۹	-۵۸	۳۵۹	-۴۶	۳۴۷	-۹	۳۱۰	-۱۸	۳۱۹	-۵۴	۳۵۵	-۱۹	۳۲۰	۳۱۱	-۱۰
۱۵	۳۴۰	۳۹۳	-۵۳	۳۹۳	-۴۲	۳۸۲	-۱۱	۳۵۱	-۱۶	۳۵۶	-۴۶	۳۸۶	-۱۷	۳۵۷	۳۵۲	-۱۲
۱۶	۳۷۵	۴۲۹	-۵۴	۴۲۹	-۴۵	۴۲۰	-۱۹	۳۹۷	-۲۲	۳۹۷	-۴۵	۴۲۰	-۲۲	۳۹۷	۳۹۵	-۲۰
۱۷	۴۰۸	۴۶۸	-۶۰	۴۶۸	-۵۲	۴۶۰	-۳۳	۴۴۱	-۲۲	۴۴۰	-۴۸	۴۵۶	-۲۲	۴۴۰	۴۴۲	-۳۴
۱۸	۴۷۸	۵۰۹	-۳۱	۵۰۹	-۲۶	۵۰۴	-۱۲	۴۹۰	-۲۲	۴۸۶	-۱۷	۴۹۵	-۸	۴۸۶	۴۹۱	-۱۳
۱۹	۵۳۵	۵۵۲	-۱۷	۵۵۲	-۱۴	۵۴۹	-۷	۵۴۲	-۷	۵۳۵	-۱	۵۳۶	۰	۵۳۵	۵۴۲	-۷
۲۰	۵۸۰	۵۹۹	-۱۹	۵۹۹	-۱۸	۵۹۸	-۱۷	۵۹۷	-۱۷	۵۸۷	-۱	۵۸۱	-۷	۵۸۶	۵۹۶	-۱۶
۲۱	۶۴۸	۶۴۸	۰	۶۴۸	-۱	۶۴۹	-۶	۶۵۴	-۴	۶۴۱	۷	۶۲۹	۱۹	۶۴۱	۶۵۳	-۵
۲۲	۶۹۵	۷۰۱	-۶	۷۰۱	-۹	۷۰۴	-۱۹	۷۱۴	-۷	۶۹۹	-۴	۶۸۰	-۴	۶۹۹	۷۱۳	-۱۸
۲۳	۷۶۹	۷۵۶	۱۳	۷۵۶	۸	۷۶۱	-۷	۷۷۶	۹	۷۶۰	۹	۷۳۴	۳۵	۷۶۰	۷۷۵	-۶
۲۴	۸۴۱	۸۱۵	۲۶	۸۱۵	۲۰	۸۲۱	۱	۸۴۰	۱۷	۸۲۴	۴۹	۷۹۲	۴۹	۸۲۳	۸۳۹	۲
۲۵	۹۰۸	۸۷۶	۳۲	۸۷۶	۲۳	۸۸۵	۱	۹۰۷	۱۸	۸۹۰	۵۴	۸۵۴	۵۴	۸۸۹	۹۰۶	۲
۲۶	۹۹۳	۹۴۱	۵۲	۹۴۱	۴۲	۹۵۱	۱۶	۹۷۷	۳۴	۹۵۹	۷۴	۹۱۹	۷۴	۹۵۹	۹۷۵	۱۸
۲۷	۱۰۷۳	۱۰۱۰	۶۳	۱۰۱۰	۵۳	۱۰۲۰	۲۵	۱۰۴۸	۴۲	۱۰۳۱	۸۶	۹۸۷	۸۶	۱۰۳۰	۱۰۴۶	۲۷
۲۸	۱۱۶۰	۱۰۸۱	۷۹	۱۰۸۱	۶۷	۱۰۹۳	۳۹	۱۱۲۱	۴۲	۱۱۰۵	۱۲۵	۱۰۶۰	۱۲۵	۱۱۰۵	۱۱۲۰	۴۰
۲۹	۱۲۳۸	۱۱۵۶	۸۲	۱۱۵۶	۷۰	۱۱۶۸	۴۱	۱۱۹۷	۵۳	۱۱۳۶	۱۲۵	۱۱۳۶	۱۲۵	۱۱۸۲	۱۱۹۶	۴۲
۳۰	۱۳۰۰	۱۲۳۳	۶۷	۱۲۳۳	۵۴	۱۲۴۶	۲۵	۱۲۷۵	۴۲	۱۲۶۱	۱۲۵	۱۲۶۱	۱۲۵	۱۲۶۱	۱۲۷۳	۲۷
۳۱	۱۳۸۰	۱۳۱۴	۶۶	۱۳۱۴	۵۴	۱۳۲۶	۲۶	۱۳۵۴	۴۲	۱۳۴۳	۱۲۵	۱۳۴۳	۱۲۵	۱۳۴۳	۱۳۵۲	۲۷
۳۲	۱۴۳۰	۱۳۹۸	۳۲	۱۳۹۸	۲۰	۱۴۱۰	-۶	۱۴۳۶	۴۲	۱۴۲۶	۴	۱۴۳۵	۴	۱۴۲۶	۱۴۳۴	-۴
۳۳	۱۵۱۰	۱۴۸۵	۲۵	۱۴۸۵	۱۵	۱۴۹۵	-۹	۱۵۱۹	۴۲	۱۵۱۲	۳۶	۱۴۷۴	۳۶	۱۴۷۴	۱۵۱۲	-۸
۳۴	۱۵۹۵	۱۵۷۴	۲۱	۱۵۷۴	۱۲	۱۵۸۳	-۹	۱۶۰۴	۴۲	۱۵۹۹	۳۶	۱۵۶۷	۳۶	۱۵۶۰	۱۶۰۲	-۸
۳۵	۱۶۷۵	۱۶۶۶	۹	۱۶۶۶	۱	۱۶۷۴	-۱۵	۱۶۹۰	۴۲	۱۶۸۹	۳۶	۱۶۶۲	۳۶	۱۶۸۹	۱۶۹۰	-۱۵
۳۶	۱۷۶۵	۱۷۶۰	۵	۱۷۶۰	-۱	۱۷۶۶	-۱۳	۱۷۷۸	۴۲	۱۷۷۹	۳۶	۱۷۶۰	۳۶	۱۷۸۰	۱۷۷۸	-۱۳
۳۷	۱۸۵۰	۱۸۵۶	-۶	۱۸۵۶	-۱۰	۱۸۶۰	-۱۸	۱۸۶۸	۴۲	۱۸۷۲	۳۶	۱۸۵۹	۳۶	۱۸۷۳	۱۸۶۸	-۱۸
۳۸	۱۹۶۰	۱۹۵۴	۶	۱۹۵۴	۴	۱۹۵۶	۱	۱۹۵۹	۴۲	۱۹۶۵	۳۶	۱۹۶۱	۳۶	۱۹۶۶	۱۹۵۹	۱
۳۹	۲۰۵۵	۲۰۵۳	۲	۲۰۵۳	۲	۲۰۵۳	۴	۲۰۵۱	۴۲	۲۰۶۰	۳۶	۲۰۶۳	۳۶	۲۰۶۱	۲۰۵۲	۳
۴۰	۲۱۶۰	۲۱۵۴	۶	۲۱۵۴	۸	۲۱۵۲	۱۵	۲۱۴۵	۴۲	۲۱۵۵	۳۶	۲۱۶۷	۳۶	۲۱۵۷	۲۱۴۵	۱۵
۴۱	۲۲۳۵	۲۲۳۵	-۲۰	۲۲۳۵	-۱۶	۲۲۵۱	-۴	۲۲۳۹	۴۲	۲۲۵۲	۳۶	۲۲۷۱	۳۶	۲۲۵۴	۲۲۴۰	-۵
۴۲	۲۳۲۰	۲۳۵۷	-۳۷	۲۳۵۷	-۳۱	۲۳۵۱	-۱۵	۲۳۳۵	۴۲	۲۳۴۹	۳۶	۲۳۷۵	۳۶	۲۳۵۱	۲۳۳۶	-۱۶
۴۳	۲۴۳۵	۲۴۶۰	-۲۵	۲۴۶۰	-۱۷	۲۴۵۲	۳	۲۴۳۲	۴۲	۲۴۴۷	۳۶	۲۴۷۹	۳۶	۲۴۴۹	۲۴۳۳	۲
۴۴	۲۵۴۰	۲۵۶۲	-۲۲	۲۵۶۲	-۱۲	۲۵۵۲	۱۱	۲۵۲۹	۴۲	۲۵۴۵	۳۶	۲۵۸۲	۳۶	۲۵۴۷	۲۵۳۱	۹
۴۵	۲۶۱۰	۲۶۶۴	-۵۴	۲۶۶۴	-۴۳	۲۶۵۳	-۱۸	۲۶۲۸	۴۲	۲۶۴۴	۳۶	۲۶۸۴	۳۶	۲۶۴۶	۲۶۲۹	-۱۹
۴۶	۲۷۰۰	۲۷۶۵	-۶۵	۲۷۶۵	-۵۳	۲۷۵۳	-۲۷	۲۷۲۷	۴۲	۲۷۴۲	۳۶	۲۷۸۵	۳۶	۲۷۴۴	۲۷۲۸	-۲۸
۴۷	۲۸۰۵	۲۸۶۵	-۶۰	۲۸۶۵	-۴۸	۲۸۵۳	-۲۲	۲۸۲۷	۴۲	۲۸۴۱	۳۶	۲۸۸۳	۳۶	۲۸۴۳	۲۸۲۸	-۲۳
۴۸	۲۹۱۵	۲۹۶۳	-۴۸	۲۹۶۳	-۳۷	۲۹۵۲	-۱۲	۲۹۲۷	۴۲	۲۹۴۰	۳۶	۲۹۷۹	۳۶	۲۹۴۲	۲۹۲۸	-۱۳
۴۹	۳۰۳۵	۳۰۶۰	-۲۵	۳۰۶۰	-۱۵	۳۰۵۰	۷	۳۰۲۸	۴۲	۳۰۳۸	۳۶	۳۰۷۳	۳۶	۳۰۴۰	۳۰۲۹	۶
۵۰	۳۱۴۰	۳۱۵۵	-۱۵	۳۱۵۵	-۷	۳۱۴۷	۱۱	۳۱۲۹	۴۲	۳۱۶۳	۳۶	۳۱۶۳	۳۶	۳۱۳۸	۳۱۳۰	۱۰
۵۱	۳۲۳۰	۳۲۴۸	-۱۸	۳۲۴۸	-۱۳	۳۲۴۳	-۱	۳۲۳۱	۴۲	۳۲۳۴	۳۶	۳۲۵۱	۳۶	۳۲۳۵	۳۲۳۱	-۱
۵۲	۳۳۴۵	۳۳۳۸	۷	۳۳۳۸	۸	۳۳۳۷	۱۲	۳۳۳۳	۴۲	۳۳۳۱	۳۶	۳۳۳۵	۳۶	۳۳۳۲	۳۳۳۲	۱۲
۵۳	۳۴۵۵	۳۴۲۶	۲۹	۳۴۲۶	۲۶	۳۴۲۹	۲۰	۳۴۳۵	۴۲	۳۴۲۸	۳۶	۳۴۱۶	۳۶	۳۴۲۸	۳۴۳۴	۲۱
۵۴	۳۵۷۰	۳۵۱۱	۵۹	۳۵۱۱	۵۱	۳۵۱۹	۳۳	۳۵۲۷	۴۲	۳۵۲۳	۳۶	۳۴۹۳	۳۶	۳۵۲۳	۳۵۳۶	۲۴
۵۵	۳۶۴۰	۳۵۹۴	۴۶	۳۵۹۴	۳۲	۳۶۰۸	۱	۳۶۳۹	۴۲	۳۶۱۸	۳۶	۳۶۱۸	۳۶	۳۶۱۸	۳۶۳۸	۲
۵۶	۳۷۱۰	۳۶۷۳	۳۷	۳۶۷۳	۱۶	۳۶۹۴	-۳۱	۳۷۴۱	۴۲	۳۷۱۲	۳۶	۳۶۳۷	۳۶	۳۷۱۱	۳۷۳۹	-۲۹

1- Pre= Predict 2- Res= Residual

جدول ۴- تخمین پارامترهای هر یک از مدل‌های رشد

مدل	M (وزن نهایی-گرم)	β (نرخ رشد ذاتی)	θ	γ
H1	۴۹۹۳	۰/۰۰۰۰۰۰۳۶	۰/۳۳۸۱	-
H2	۵۶۸۵	۰/۰۰۰۰۰۶۷	۰/۶۵۷۹	-
H3	۸۹۶۶	۰/۰۰۰۰۱۵۸	-۰/۰۰۰۰۲	۲/۰۲
گومپرتز	۷۵۲۳	۰/۰۰۰۰۰۷۳	-	-
لجستیک	۴۵۷۹	۰/۰۰۰۰۰۸۴	-	-
ریچاردز	۷۳۶۰	۰/۰۰۰۰۰۶۸	-	۱۶/۱
وی بول	۸۴۲۶	۰/۰۰۰۰۴۷	-	۲/۰۸

جدول ۵- شاخص‌های مورد استفاده در مقایسه مدل‌های رشد

مدل رشد	H1	H2	H3	گومپرتز	لجستیک	ریچاردز	وی بول
R ²	۰/۹۹۹۴۱	۰/۹۹۹۶۴	۰/۹۹۹۹۳	۰/۹۹۹۸۵	۰/۹۹۸۹۸	۰/۹۹۹۸۴	۰/۹۹۹۹۲
MSE	۱۹۸۳	۱۲۱۳	۲۶۴	۵۰۶	۳۴۳۲	۵۳۸	۲۶۸
RSD	۴۴	۳۴	۱۶	۲۳	۵۸	۲۳	۱۷
BIAS	-۱۱	-۹	۰/۵	-۲	-۱۲	-۳	۰

در پیش‌بینی رشد در طیور گوشتی و همچنین مطالعات زیستی استفاده نمود.

نتیجه‌گیری نهایی

از مدل‌های رشد هایپر بولستیک می‌توان با دقت بالا و کمترین خطا نسبت به توابع کلاسیک (گومپرتز و ریچاردز) در پیش‌بینی و برازش منحنی‌های رشد در جوجه‌های گوشتی استفاده نمود. به علاوه به دلیل انعطاف‌پذیری مدل (بویژه تخمین وزن شروع) خروجی مطالعه بهبود یافته و بنابراین پیشنهاد می‌شود که در هنگام انتخاب مدل، این گروه نیز مورد ارزیابی قرار گیرند.

قادر نیست الگوی رشد کاهشی را به خوبی برازش نماید (Tabatabai et al., 2005). انعطاف‌پذیری بیشتر H3 ممکن است به دلیل دقت در پیش‌بینی و برازش بهتر رشد نسبت به دیگر مدل‌های رشد باشد (Darmani Kuhi et al., 2003). نتایج حاصل از این بررسی هماهنگ با نتایج بدست آمده از Ahmadi & Mottaghitlab (2007) و Tabatabai et al. (2005) نشان می‌دهد که گروه مدل‌های رشد هایپربولستیک بخوبی قادرند در پیش‌بینی منحنی رشد در طیور مورد استفاده قرارگیرند، اگرچه کلاس H3 گروه مدل‌های رشد هایپربولستیک را می‌توان به عنوان "بهترین" مدل

REFERENCES

- Ahmady, H. & Mottaghitlab, M. (2007). Hyperbolic Models as a new powerful tool to describe broiler growth kinetics. *Poult. Sci*, 86, 2461-2465.
- Aggrey, S. E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poult. Sci*, 81, 1782-1788.
- Aggrey, S. E., Ankra-badu, G. A. & Marks, H. L. (2003). Effect of long term divergent selection on growth characteristics in Japanese Quil. *Poult. Sci*, 82, 538-542.
- Brown, J. E., Fitzhugh Jr., H. A. & Cartwright, T. C. (1976). A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Anim. Sci*, 42, 810-818.
- Darmani Kuhi, H., Kebreab, E., Lopez, S. & France, J. (2003). An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time [age] in meat and egg strains of chicken. *Poult. Sci*, 82, 1536-1543.
- France, J., Dijkstra, J., Thornley, J. H. M. & Dhanoa, M. S. (1996b). A simple but flexible growth function. *Growth Dev. Aging*, 60(22), 71-83
- Gille, U. & Salomon, F. V. (1995). Bone growth in ducks through mathematical models with special reference to the Janos check growth curve. *Growth Dev. Aging*, 59, 207-214.
- Goliomytis, M., Panopoulou, E. & Rogdakis, E. (2003). Growth Curves for Body Weight and Major Component Parts, Feed Consumption, and Mortality of Male Broiler Chickens Raised to Maturity. *Poult.*

- Sci*, 81, 932–938.
9. Knizetova, H., Hyaneek, J., Hajkova, H., Knize, B. & Siler, R. (1985). Growth curves of chickens with different type of performance. *Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol*, 102, 256–270.
 10. Knizetova, H., Hyaneek, J., Knize, B. & Roubicek, J. (1991). Analysis of growth curves of fowl. I. Chickens. *Br. Poult. Sci*, 32, 1027–1038.
 11. Lopez, S., France, J., Dhanoa, M. S., Mould, F. & Dijkstra, J. (2000). A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *J. Anim. Sci*, 78, 1816–1828.
 12. Nahashon, S. N., Aggrey, S. E., Adefope, N. & Amenyenu, A. (2006). Modeling Growth Characteristics of Meat-Type Guinea Fowl. *Poult. Sci*, 85, 943-946.
 13. National Research Council. (1994). *Nutrient requirements of poultry*, 9th rev. ed. National Academy press, Washington DC (USA).
 14. Rogers, S. R., Pesti, G. M. & Marks, H. L. (1987). Comparison of three nonlinear regression models for describing broiler growth curves. *Growth*, 51, 229–239.
 15. Roush, W. B., Dozier III, W. A. & Branton, S. L. (2006). Comparison of gompertz and neural network models of broiler chickens. *Poult. Sci*, 85, 794-797.
 16. SAS Institute Inc. (1999). *SAS/STAT User's Guide*, Version 8.: SAS Institute Inc., Cary, NC.
 17. Tabatabai, M., Williams, D. K. & Bursac, Z. (2005). Hyperbolic growth models: theory and application. *Theoretical Biology and Medical Modelling*. 2, 14
 18. Yang, Y., Mekki, D. M., Lv, S. J., Wang, L. Y., Yu, J. H. & Wang, J. Y. (2006). Analysis of fitting growth models in Jinghai Mixed-Sex Yellow chicken. *Asian. J. Poult. Sci*, 6, 517-521.