

## ارزیابی توابع غیر خطی در توصیف منحنی رشد بلدرچین ژاپنی

شماره صفحات

۰۵-۲۰

محمد رضا شیخلو<sup>۱\*</sup>، میرمصطفی موسوی پور<sup>۲</sup>، رشید صفری<sup>۲</sup>، ذبیح اله نعمتی<sup>۱</sup>، حامد جعفرزاده<sup>۲</sup>

- (۱) دانشیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
 (۲) استادیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
 (۳) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژنتیک و اصلاح دام، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

نویسنده مسئول: [mr.sheikhlo@tabrizu.ac.ir](mailto:mr.sheikhlo@tabrizu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی عملکرد مدل‌های رگرسیون غیرخطی در برازش منحنی رشد بلدرچین ژاپنی جهت انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده رشد در بلدرچین‌های نر و ماده بود. در این پژوهش از رکوردهای وزنی ثبت شده برای ۵۵۰ قطعه جوجه یکروزه نر و ماده بلدرچین ژاپنی تا سن ۴۶ روزگی با فواصل زمانی پنج روزه استفاده شد. از هفت تابع غیرخطی شامل مدل‌های لجستیک، گومپرتز، ون برتالانفی، ریچاردز، هایپربولاستیک یک، هایپربولاستیک دو و هایپربولاستیک سه برای توصیف منحنی رشد استفاده شد. میزان افزایش وزن پرنده در واحد زمان یا نرخ رشد مطلق با استفاده از مشتق درجه اول مدل منتخب نسبت به متغیر زمان و سپس نقطه عطف منحنی رشد برآورد شد. مدل‌های هایپربولاستیک یک و ون برتالانفی با کمترین میزان میانگین مربعات خطا و معیار اطلاعات آکائیک و بیشترین ضریب تبیین به عنوان بهترین تابع توصیف‌کننده رشد به ترتیب در پرنده‌های نر و ماده انتخاب شدند. نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های نر تا سن ۲۵ روزگی روند افزایشی داشت و به مقدار بیشینه خود یعنی ۵/۹ گرم در روز رسید. نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های ماده با شیب ملایمی تا سن ۳۱ روزگی افزایشی بود و به مقدار بیشینه خود یعنی ۵/۸۲ گرم در روز رسید. بلدرچین‌های نر و ماده تا سن ۲۵ روزگی به ترتیب به ۶۰ و ۴۹ درصد وزن بلوغ خود دست می‌یابند. سن و وزن در نقطه عطف منحنی رشد بلدرچین‌های نر ۲۵ روز و ۱۱۹ گرم و در بلدرچین‌های ماده ۳۱ روز و ۱۴۲ گرم بود. بر اساس نتایج تحقیق حاضر نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های نر و ماده این نژاد با هم متفاوت است به طوریکه تغییر فاز صعودی نرخ رشد مطلق به فاز نزولی در پرنده‌گان نر نسبت به پرنده‌گان ماده در حدود یک هفته زودتر اتفاق می‌افتد.

**کلمات کلیدی:** بلدرچین ژاپنی، تابع هایپربولاستیک، توابع غیرخطی، منحنی رشد و نرخ رشد مطلق.

## مقدمه

یکی از صنایع مهم تأمین کننده پروتئین حیوانی مورد نیاز انسان صنعت پرورش طیور می باشد. بلدرچین به علت ویژگی‌هایی از قبیل رشد سریع، بلوغ زودرس، بازدهی مناسب، کیفیت بالای گوشت و تخم تولیدی، سازگاری با شرایط محیطی مختلف، فاصله نسلی کوتاه و پاسخ ژنتیکی مثبت نسبت به برنامه‌های اصلاح نژادی در بسیاری از مناطق جهان مورد توجه واقع شده و پرورش داده می‌شود (Aghah, 2019).

از جمله اهداف برنامه‌های اصلاح نژادی در صنعت پرورش طیور، بهبود توان ژنتیکی میزان رشد پرندگان می باشد. رشد به عنوان یک شاخص در سیستم زیستی، عبارت از افزایش توده بدن حیوان در واحد زمان است. رشد حیوانات تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ژنتیک، محیط و اثرات متقابل آنها و تغذیه قرار دارد (Ebrahimi *et al.*, 2018). روند رشد در پرندگان روندی غیر خطی بوده و می‌توان آن را به صورت تغییرات وزن بدن در طول دوره زندگی، به واسطه استفاده از مواد غذایی توصیف نمود. این تغییرات را می‌توان با اندازه‌گیری وزن بدن در دوره‌های منظم مورد بررسی قرار داده و با استفاده از توابع ریاضی آنها را تجزیه و تحلیل کرده و سپس منحنی رشد را رسم نمود (Beiki *et al.*, 2011). به طور کلی، این توابع می‌توانند پدیده رشد را در قالب چند فراسنجه که تفسیر زیستی دارند خلاصه کرده و با این اطلاعات محدود، راهکار مناسبی برای جبران محدودیت امکان اندازه‌گیری پیوسته وزن بدن در اختیار اصلاحگر قرار می‌گیرد (Ghorbani *et al.*, 2021). به عبارت دیگر، منحنی‌های رشد در شرایط محیطی بهینه، نشان‌دهنده توان ژنتیکی ژنوتیپ‌های خاص بوده و بنابراین می‌توان از آنها برای مقایسه نژادها و سویه‌های مختلف استفاده کرد (Ahadi *et al.*, 2016; Beiki *et al.*, 2011). از سوی دیگر، استفاده از منحنی رشد به عنوان ابزار کمی جهت بهبود مدیریت گله از جهت سلامت و تغذیه یکی دیگر از مزایای توصیف منحنی رشد بوده و می‌توان بهترین زمان کشتار پرنده را تعیین نمود. محققین مختلف با استفاده از توابع ریاضی، منحنی رشد نژادهای مختلف طیور را مورد بررسی قرار داده‌اند. Haqani *et al.* (2021) طی مطالعه‌ای تفاوت بین الگوی رشد را در بلدرچین ژاپنی معمولی و بلدرچین ژاپنی بزرگ و فرزندانش نسل اول آنها مورد بررسی قرار دادند. از میان توابع رشد مورد مطالعه، در بلدرچین معمولی تابع گمپرتز و در بلدرچین ژاپنی بزرگ، تابع ریچاردز به عنوان بهترین مدل توصیف کننده منحنی رشد انتخاب شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوی رشد مشاهده شده در پرندگان نسل اول احتمالاً از سویه والدین نر آنها به ارث رسیده است. Santos *et al.* (2019) طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌های مختلف غیرخطی، منحنی رشد را در بلدرچین‌های تخمگذار و گوشتی مدل‌سازی نمودند که مدل گمپرتز به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی رشد در هر دو سویه انتخاب شد. همچنین Tarhan and Sezer (2005)، Ahadi *et al.* (2018) و Gürcan and Kaplan (2018) در تحقیقات خود مدل ریچاردز را به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت توصیف منحنی رشد بلدرچین ژاپنی معرفی نمودند. این محققین اظهار داشتند که مدل ریچاردز به دلیل داشتن انعطاف پذیری بیشتر در تعیین نقطه عطف می‌تواند توصیف بهتری از روند رشد بلدرچین‌های نر و ماده را ارائه کند. همانطور که در تحقیقات فوق اشاره گردید، در

اکثر قریب به اتفاق مطالعات انجام شده روی منحنی رشد بلدرچین ژاپنی از توابعی همچون گمپرتز، ون برتالانفی، ریچاردز و لجستیک که از توابع غیرخطی کلاسیک و پرکاربرد در برازش منحنی رشد گونه‌های مختلف دام و طیور می‌باشد، استفاده شده است. این در حالی است که در سالهای اخیر عملکرد توابع دیگری همچون تابع هایپربولاستیک در برازش منحنی رشد مرغ گوشتی به خوبی به اثبات رسیده است که می‌توان کارایی این توابع را در برازش منحنی رشد بلدرچین ژاپنی نیز مورد ارزیابی قرار داد. *Tabatabai et al* (2005) اصول تئوری و کاربردی توابع هایپربولاستیک را به عنوان تابع توصیف کننده منحنی رشد ارائه دادند. این محققین با استفاده از توابع رشد هایپربولاستیک توانستند دقت پیش‌بینی مدل را نسبت به مدل‌های مرسوم نظیر گمپرتز، لجستیک و ریچاردز در پیش‌بینی رشد سلول‌های سرطانی بهبود بخشند. نخستین بار *Mottaghitalab and Ahmadi* (2007) عملکرد توابع هایپربولاستیک را در توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی با توابع ریچاردز و گمپرتز مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل هایپربولاستیک توانایی بهتری در توصیف رشد در جوجه‌های گوشتی داشته است که دلیل آن می‌تواند انعطاف پذیری بیشتر این مدل باشد. همچنین *Golian and Ahmadi* (2008) به توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی با استفاده از مدل‌های هایپربولاستیک پرداختند. بر اساس نتایج این تحقیق مدل هایپربولاستیک به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر، توصیف بهتری از روند رشد جوجه‌های گوشتی ارائه داد. *Nikkhah et al* (2009) امکان استفاده از مدل‌های رشد هایپربولاستیک در توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی سویه راس را در مقایسه با مدل‌های رشد کلاسیک (گومپرتز، ریچاردز و...) مورد بررسی قرار دادند که در آن تحقیق نیز مدل هایپربولاستیک با ضریب تبیین بالاتر، کمترین میزان خطا و انعطاف‌پذیری بالا، عملکرد بهتری از دیگر مدل‌های منحنی رشد داشت. بر این اساس، هدف از انجام این مطالعه، مقایسه مدل‌های رگرسیون غیرخطی مختلف به همراه مدل‌های هایپربولاستیک در برازش منحنی رشد بلدرچین ژاپنی و توانایی آنها در پیش‌بینی وزن بدن در سنین مختلف بود.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از رکوردهای وزنی ثبت شده برای ۵۵۰ قطعه جوجه یکروزه نر و ماده بلدرچین ژاپنی استفاده گردید. سالن پرورش جوجه بلدرچین‌ها مجهز به قفس بلدرچین نیمه اتوماتیک، با آب‌خوری نیپل و پخش دان دستی بود. جوجه‌ها از روز اول به قفس‌های پرورشی منتقل گردیدند و تحت شرایط کنترل شده از نظر دما و تهویه قرار گرفتند و جیره غذایی متعادل شده رشد با انرژی متابولیسمی و پروتئین خام یکسان بر اساس نیازهای تغذیه‌ای انجمن ملی تحقیقات آمریکا (NRC (1994) در اختیار آنها قرار داده شد. در طول مدت پرورش، آب و خوراک به صورت آزاد در اختیار جوجه‌ها قرار داده شد. در طول دوره رشد تمامی جوجه‌ها از جیره، شرایط نوری و دمایی یکسانی برخوردار بودند. با توجه به وزن کشتی انفرادی هر یک از پرندگان، پلاک زنی جوجه‌ها در همان روز اول انجام گرفته و وزن هر یک از جوجه‌ها نیز در همان روز اول ثبت شد. در طول دوره پرورش و همزمان با رشد پرندگان طی دو مرحله قطر پلاکهایی که به پای پرندگان وصل شده بود، با توجه به قطر پای پرندگان تنظیم گردید. وزن

کشی انفرادی جوجه‌ها از روز اول تا ۴۵ روزگی با فواصل زمانی پنج روزه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ انجام شد. تعیین جنسیت جوجه‌ها در سن ۴۰ روزگی انجام پذیرفت. رکوردهای وزن که به صورت ۵ روزه جمع‌آوری شده بود، مورد ویرایش اولیه قرار گرفته و رکورد بلدرچین‌هایی که قبل از ۳۵ روزگی تلف شده بودند در برازش منحنی‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. پس از آماده‌سازی فایل رکوردها، اوزان بدن برای سنین مختلف هر پرنده بررسی شده و رکوردهایی که افزایش و یا کاهش غیر منطقی بین سنین مختلف پرنده از خود نشان دادند، حذف گردیدند. آماره‌های توصیفی وزن بدن بلدرچین‌ها در سنین مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش از هفت تابع غیرخطی شامل توابع لجستیک<sup>۱</sup>، گومپرتز<sup>۲</sup>، ون برتالانفی<sup>۳</sup>، ریچاردز<sup>۴</sup> و سه تابع هایپربولاستیک<sup>۵</sup> یک، دو و سه برای توصیف منحنی رشد بلدرچین‌های ژاپنی استفاده شد. جدول ۲ معادلات توابع غیر خطی مورد استفاده جهت توصیف رشد بلدرچین‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی وزن بدن بلدرچین در سنین مختلف  
Table 1. Descriptive statistics of body weight at different ages

سن (روز)	میانگین (گرم)	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)	حداقل	حداکثر
Age (Day)	Mean (gr)	Standard Deviation	Coefficient of Variation (%)	Minimum	Maximum
۱ روزگی	8.08	0.84	10.48	5.78	10.97
۶ روزگی	20.79	3.18	15.29	11	29.56
۱۱ روزگی	38.73	6.002	15.49	19.15	56.77
۱۶ روزگی	62.58	10.22	16.34	29.23	94.80
۲۱ روزگی	86.17	13.58	15.76	41.13	125.68
۲۶ روزگی	117.20	18.88	15.25	51.09	170.58
۳۱ روزگی	148.85	19.92	13.38	83.72	208.29
۳۶ روزگی	173.12	66.20	11.93	101.31	241.32
۴۱ روزگی	192.21	24.17	12.57	113.32	293.19
۴۶ روزگی	213.33	30.04	14.08	130.66	316.32

توابع مورد استفاده با استفاده از رویه NLIN نرم افزار SAS 9.4 (2003) بر روی رکوردهای وزن پرندگان در سنین مختلف برازش شد و پارامترهای توابع مذکور برای همه پرندگان برآورد گردید. در همه مدل‌ها  $w_t$  وزن حیوان (گرم) در زمان  $t$ ،  $\beta$  نرخ رشد ذاتی،  $\theta$  و  $\gamma$  پارامترهای مدل و  $M$  وزن بلوغ یا حد مجانبی منحنی (وزن نهایی) می‌باشد.  $\alpha$  تابعی از پارامترهای  $M$ ،  $\beta$  و

<sup>1</sup> Logistic

<sup>2</sup> Gompertz

<sup>3</sup> Von Bertalanffy

<sup>4</sup> Richards

<sup>5</sup> Hyperbolic

وزن اولیه مشاهده شده در زمان صفر ( $W_0$ ) می‌باشد که باعث کاهش پارامترهای قابل برآورد مدل شده و همچنین اولین مقدار وزن پیش‌بینی شده را به مقدار اصلی مشاهده شده در زمان تولد متصل می‌کند (Ahmadi and Mottaghitlab., 2007). در این تحقیق از روش تکرار عددی MARQUARDT برای حل معادلات غیر خطی استفاده شد و مقادیر آغازین پارامترهای  $M$ ،  $\beta$  و  $\theta$  به ترتیب ۰/۲۲۰، ۰/۰۰۹ و ۰/۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۲. معادلات توابع توصیف کننده منحنی رشد

Table 2. Equations of functions describing the growth curve

شاخص $\alpha$	معادله تابع	نام تابع
$\alpha$	Function Equation	Function Name
$\alpha = LN\left(\frac{M}{W_0}\right) \exp(M\beta t_0)$	$W_t = M \exp[-\alpha \exp(-M\beta t)]$	گومپرتز Gompertz
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0} \exp(M\beta t_0)$	$W_t = \frac{M}{[1 + \alpha \exp(-M\beta t)]}$	لجستیک Logistic
$\alpha = \left[ \left(\frac{M}{W_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} - 1 \right] \exp(M\beta t_0)$	$W_t = \frac{M}{[1 + \alpha \exp(-M\beta t)]^\gamma}$	ریچاردز Richards
-	$W_t = [M^\gamma - (M^\gamma - w_0^\gamma) \exp(-\beta t)]^{1/\gamma}$	ون برتالانفی Von Bertalanfy
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0} \exp[M\beta t_0 + \theta \operatorname{arcsinh}(t_0)]$	$W_t = \frac{M}{1 + \alpha \exp[-M\beta t - \theta \operatorname{arcsinh}(t)]}$	هایپربولاستیک یک (H1) Hyperbolic 1
$\alpha = \frac{M - W_0}{W_0 \operatorname{arcsinh}[\exp(-M\beta t_0^\gamma)]}$	$W_t = \frac{M}{1 + \alpha \operatorname{arcsinh}[\exp(-M\beta t^\gamma)]}$	هایپربولاستیک دو (H2) Hyperbolic 2
$\alpha = (M - W_0) \exp[\beta t_0^\gamma + \operatorname{arcsinh}(\theta t_0)]$	$W_t = M - \alpha \exp[-\beta t^\gamma - \operatorname{arcsinh}(\theta t)]$	هایپربولاستیک سه (H3) Hyperbolic 3

پس از برازش توابع غیرخطی از شاخص‌های نیکویی برازش شامل ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص اطلاعات آکائیک (AIC) جهت انتخاب بهترین مدل استفاده گردید (جدول ۳). مدلی که دارای پایین‌ترین مقدار AIC و MSE و بالاترین مقدار  $R^2$  بود، به عنوان بهترین مدل برای توصیف منحنی رشد در نظر گرفته شد. نرخ رشد مطلق (Absolute Growth Rate)، میزان افزایش وزن پرنده در واحد زمان را نشان می‌دهد. نرخ رشد مطلق با استفاده از مشتق درجه اول تابع هایپربولاستیک یک نسبت به زمان برای جنس نر و مشتق درجه اول تابع ون‌برتالانفی نسبت به زمان برای جنس ماده و با استفاده از روابط زیر برآورد گردید.

معادله برآورد نرخ رشد مطلق در پرندگان نر (Ahmadi & Mottaghitlab., 2017) :

$$AGR = \frac{1}{M} P(t) (M - P(t)) \left( M\beta + \frac{\theta}{\sqrt{1+t^2}} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

معادله برآورد نرخ رشد مطلق در پرندگان ماده (Darmani Kuhi et al., 2003) :

$$AGR = (\beta^{MY} / \gamma) W^{(1-\gamma)} - (\beta / \gamma) W \quad \text{رابطه ۲:}$$

به نقطه‌ای از منحنی رشد مطلق که در آن روند صعودی نمودار به نزولی تغییر پیدا می‌کند، نقطه عطف منحنی گفته می‌شود. نرخ تغییر وزن در این نقطه حداکثر است. این نقطه بیشتر تحت تأثیر خصوصیات معادله‌ای قرار می‌گیرد که برای برازش استفاده شده است (Ghorbani *et al.*, 2021). پس از رسم نمودار نرخ رشد مطلق، سن و وزن در نقطه عطف منحنی رشد برای بلدرچین های نر و ماده مشخص گردید.

جدول ۳. شاخص‌های نیکوئی برازش مورد استفاده جهت انتخاب بهترین تابع

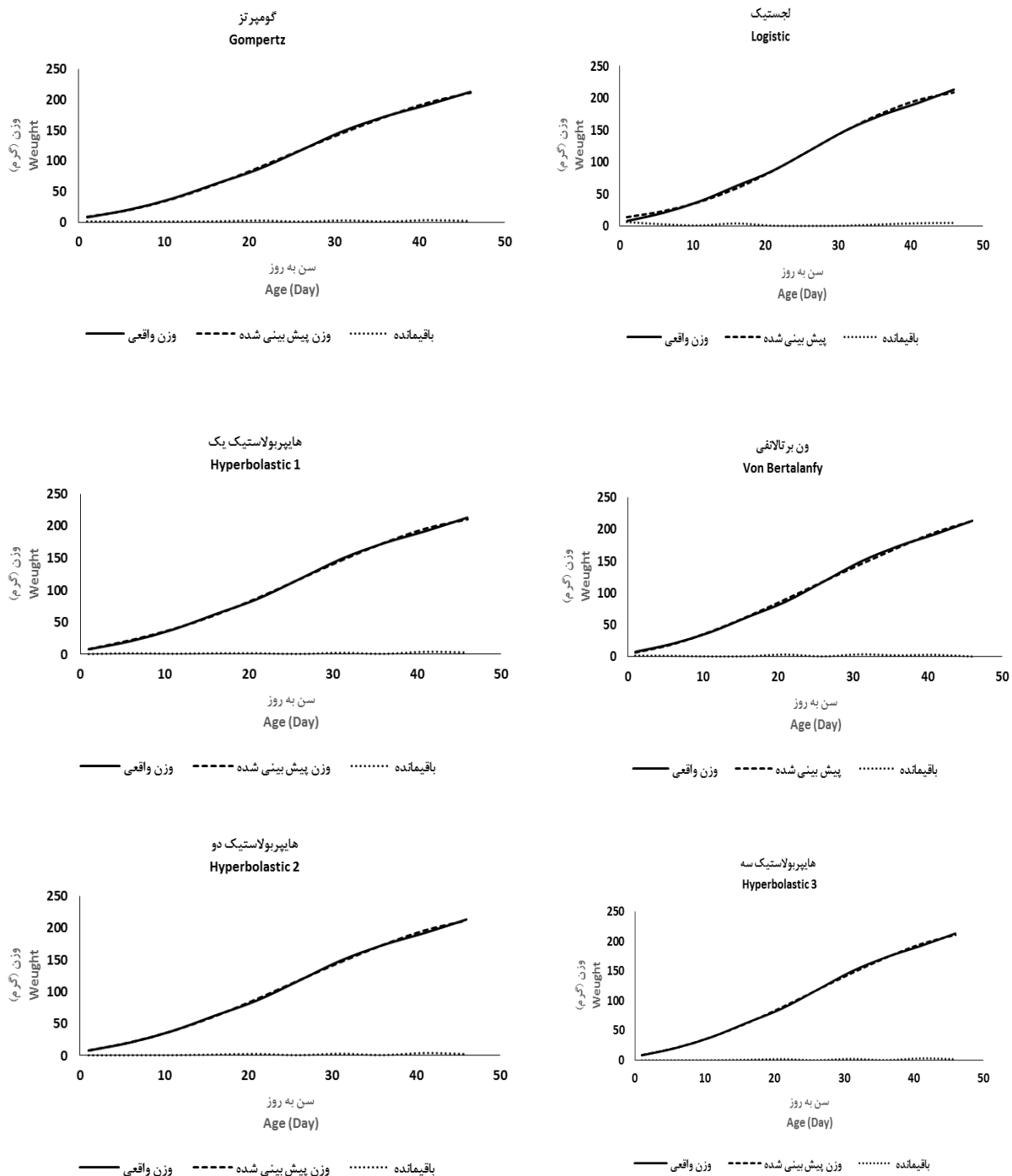
Table 3. Goodness of fit indices used to determine the best function

منبع	معادله شاخص	نام شاخص
Kaps & Lamberson, 2004	$R^2 = \frac{SS_{Reg}}{SST}$ SS <sub>Reg</sub> : مجموع مربعات رگرسیون SST: مجموع مربعات کل	ضریب تبیین
Kaps & Lamberson, 2004	$MSE = \frac{SSE}{n - p}$ SSE: مجموع مربعات باقیمانده n: تعداد داده‌ها p: تعداد مولفه‌های مدل	میانگین مربعات خطا
Akaike, 1974	$AIC_i = -2\text{Log}L_i + 2P_i$ LogL <sub>i</sub> : لگاریتم تابع درست‌نمایی P <sub>i</sub> : تعداد مولفه‌های موجود در مدل	شاخص اطلاعات آکائیک

## نتایج و بحث

شکل ۱ مقادیر واقعی و پیش بینی شده وزن بدن در سنین مختلف را توسط توابع غیر خطی گومپرتز، لجستیک، ون برتالانفی، ریچاردز و هایپربولاستیک یک تا سه برای بلدرچین‌های ژاپنی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱، منحنی‌های رشد حاصل از برازش توابع غیر خطی مختلف با روند رشد واقعی پرنده تطابق بسیار خوبی داشتند و توابع مختلف مورد استفاده به خوبی توانستند رشد جوجه بلدرچین‌ها را توصیف کنند. با توجه به منحنی‌های رسم شده، پس از تولد، رشد پرنده کم بوده و به تدریج در بین سنین ۱۰ تا ۱۵ روزگی بر سرعت رشد پرنده افزوده می‌شود. این روند تا حدود سنین ۳۰ روزگی ادامه داشته و پس از آن مجدداً سرعت رشد پرنده کاهش یافته و منحنی وارد فاز رشد کند می‌شود. معیارهای نکوئی برازش هر یک از توابع برای پرنده‌های نر و پرنده‌های ماده به طور جداگانه در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر معیارهای نکوئی برازش

در جداول ۴ و ۵، همه مدل‌ها به لحاظ توانایی برازش منحنی رشد در پرنده‌های نر و ماده عملکرد مناسبی داشتند.



شکل ۱. منحنی رشد بلدرچین ژاپنی حاصل از مقادیر وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده توسط توابع مختلف

Figure 1. The growth curve obtained from the actual weight values and the predicted weight by different functions

بر اساس جدول ۴، مدل هایپربولاستیک یک با کمترین میزان میانگین مربعات خطا و معیار اطلاعات آکائیک ( $AIC=24681/83$ )، و بیشترین ضریب تبیین ( $R^2=0/9880$ ) به عنوان بهترین تابع جهت برازش تابع رشد در پرنددهای نر انتخاب شد و به دنبال آن مدل های هایپربولاستیک سه، هایپربولاستیک دو، ریچاردز، گومپرتز، لجستیک و ون برتالانفی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

جدول ۴. معیارهای نکوئی برازش توابع رشد مختلف برای پرنددهای نر

Table 3. Goodness of fit criteria of different growth functions for male birds

میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب آکائیک (AIC)	ضریب تبیین ( $R^2$ )	
Error Mean Square	Akaike Information Criteria	Coefficient of Determination	
194	24803.34	0.9877	لجستیک Logistic
191.8	24741.62	0.9878	گومپرتز Gompertz
196.2	24682.8	0.9875	ون برتالانفی Von Bertalanfy
190.8	24712.95	0.9879	ریچاردز Richards
189.7	24681.83	0.9880	هایپربولاستیک یک (H1) Hyperbolastic 1
190.2	24696.97	0.9879	هایپربولاستیک دو (H2) Hyperbolastic 2
189.8	24685.48	0.9880	هایپربولاستیک سه (H3) Hyperbolastic 3

بر اساس جدول ۵، مقدار عددی ضریب تبیین برای سه مدل هایپربولاستیک دو، هایپربولاستیک سه و ون برتالانفی یکسان و برابر با  $0/9779$  بود. ولی با در نظر گرفتن دیگر معیارهای نکوئی برازش شامل میانگین مربعات خطا و معیار اطلاعات آکائیک تابع ون برتالانفی بهترین تابع توصیف کننده منحنی رشد در پرندگان ماده در تحقیق حاضر بود. مدل های هایپربولاستیک سه، هایپربولاستیک دو، گومپرتز، ریچاردز، لجستیک و هایپربولاستیک یک به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط دیگر محققین در جوجه‌های گوشتی مطابقت دارد و نشان می‌دهد که مدل های رشد هایپربولاستیک به خوبی قادرند در پیش‌بینی منحنی رشد بلدرچین نیز مورد استفاده قرار گیرند. (Nikkhah et al 2009) عملکرد سه نوع تابع هایپربولاستیک H1، H2، H3 و توابع غیر خطی کلاسیک (گومپرتز، ویبول، لجستیک و ریچاردز) را در توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی سویه راس با یکدیگر مقایسه نمودند. طبق نتایج این محققین مدل H3 از گروه مدل های هایپربولاستیک با بالاترین دقت و کمترین خطا نسبت به دیگر مدل های رشد توانست نزدیک‌ترین و بهترین پیش‌بینی را از رشد در این نژاد ارائه دهد. همچنین (Mottaghitalab and Ahmadi 2007) با مطالعه مدل های هایپربولاستیک روی داده‌های وزن

جوجه‌های گوشتی نشان دادند که چنین مدل‌هایی در جوجه‌های گوشتی نسبت به مدل‌های کلاسیک رایج دقت بیشتری دارند. Golian and Ahmadi (2008) با مطالعه مدل‌های هایپربولاستیک روی داده‌های وزن جوجه‌های گوشتی نشان دادند که مدل‌های هایپربولاستیک بهتر از سایر مدل‌ها نظیر گومپرتز و ریچاردز توانستند فرآیند رشد را در طیور برازش کنند. Jahan (2017) با مطالعه‌ای که بر روی بلدرچین‌های ژاپنی و خالدار ایتالیایی انجام داد نشان داد که در بلدرچین‌های ژاپنی مدل ون برتالانفی برای توصیف رشد در این نژاد مناسب می‌باشد که با نتایج این تحقیق برای بلدرچین‌های ماده مطابقت دارد.

#### جدول ۵. معیارهای نکوئی برازش توابع رشد مختلف برای پرند‌های ماده

**Table 4. Goodness of fit criteria of different growth functions for female birds**

میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب آکائیک (AIC)	ضریب تبیین ( $R^2$ )	
Error Mean Square	Akaike Information Criteria	Coefficient of Determination	
392	28400.78	0.9771	لجستیک Logistic
379.6	28226.83	0.9778	گومپرتز Gompertz
378.7	28215.04	0.9779	ون برتالانفی Von Bertalanfy
379.7	28228.94	0.9778	ریچاردز Richards
380.7	28242.89	0.9778	هایپربولاستیک یک (H1) Hyperbolic 1
379.2	28222.1	0.9779	هایپربولاستیک دو (H2) Hyperbolic 2
379	28217.9	0.9779	هایپربولاستیک سه (H3) Hyperbolic 3

مقادیر برآورد شده پارامترهای منحنی رشد مدل‌های مختلف در پرندگان نر و ماده به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. پارامتر  $M$  برآوردی از وزن مجانبی است و در مطالعات مربوط به منحنی رشد به صورت وزن در هنگام بلوغ تفسیر می‌شود. در پرند‌های نر، کمترین و بیشترین مقدار مؤلفه  $M$  توسط مدل‌های مختلف مورد استفاده در تحقیق حاضر ۲۱۴/۳ و ۳۰۰/۵ گرم بود که به ترتیب توسط مدل هایپربولاستیک سه و مدل ون برتالانفی حاصل گردید. Gürcan and Kaplan (2018) مقدار این پارامتر را در جنس نر بلدرچین ژاپنی بین ۱۸۳/۳ و ۲۶۵/۶ گرم برآورد نمودند که کمترین و بیشترین مقدار آن مربوط به مدل‌های لجستیک و ون برتالانفی بود. در تحقیق حاضر مقدار پارامتر  $M$  در مدل هایپربولاستیک یک که به عنوان بهترین مدل جهت توصیف منحنی رشد پرند‌های نر انتخاب شد، ۲۲۶/۶ گرم بود. در بلدرچین‌های ماده، کمترین مقدار پارامتر  $M$  توسط مدل لجستیک (۲۵۹/۵) و بیشترین مقدار آن توسط مدل ون برتالانفی (۴۸۱/۷) برآورد گردید. Gürcan and Kaplan (2018) مقدار عددی پارامتر  $M$  را در جنس ماده بلدرچین ژاپنی بین ۲۱۹/۴ و ۳۷۴/۸ گزارش نمودند که مطابق با تحقیق حاضر کمترین

مقدار آن مربوط به تابع لجستیک و بیشترین آن به تابع ون برتالانفی اختصاص یافت. *Narinc et al* (2010) مقدار پارامتر  $M$  در بلدرچین ژاپنی را با استفاده از مدل‌های مختلف بین ۲۰۱/۹ و ۴۹۲/۷ گرم برآورد کردند. در تحقیق حاضر، در پرنده‌های ماده، مقدار این پارامتر برای تابع ون برتالانفی که مناسب‌ترین مدل جهت بررسی روند رشد این گروه از بلدرچین‌ها بود، ۴۸۱/۷ برآورد گردید. در تحقیقات مختلف دیگر نیز که بر روی منحنی رشد بلدرچین ژاپنی صورت پذیرفته است، بین مدل‌های مختلف در پیش‌بینی وزن نهایی پرنده یا همان پارامتر  $M$  تفاوت چشمگیری مشاهده شده است. این موضوع می‌تواند به تفاوت در ساختار داده‌های مورد استفاده و سن نهایی رکوردگیری وزن پرندگان مرتبط باشد. پارامتر  $\beta$  نشان‌دهنده شیب منحنی رشد و برآوردی از نرخ رسیدن به بیشینه وزن می‌باشد. مؤلفه  $\beta$  نرخ رشد پس از تولد بوده و هر چه مقدار  $\beta$  بیشتر باشد نشان از بلوغ زودرس پرنده خواهد بود. کمترین مقدار مؤلفه  $\beta$  در پرنده‌های نر تحت بررسی توسط مدل هایپربولاستیک سه (۰/۰۰۰۰۶) و بیشترین مقدار آن توسط مدل لجستیک (۰/۱۱۷۸) برآورد گردید. بدین ترتیب مدل رشد لجستیک در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، وزن بلوغ پرنده‌های نر این نژاد را کمتر (۲۱۶/۱ گرم) و سرعت رسیدن به آن را در بازه زمانی کوتاه‌تری پیش‌بینی می‌کند. *Haqani et al* (2021) مقدار پارامتر  $\beta$  را با استفاده از دو مدل غیر خطی گمپرتز و ریچاردز در بلدرچین ژاپنی جنس نر به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۶۱ گزارش نمودند. *Tarhan and Sezer* (2005) مقدار پارامتر  $\beta$  را در بلدرچین‌های ژاپنی نر سویه سفید، قهوه‌ای و وحشی در مدل ریچاردز به ترتیب ۰/۰۹۸، ۰/۱۱۳ و ۰/۰۹ برآورد کردند. همچنین *Tarhan and Sezer* (2005) در تحقیقی دیگر مقدار این پارامتر را برای این سه نژاد ۰/۱۳۴، ۰/۱۳۴ و ۰/۱۳۱ برای مدل لجستیک و ۰/۰۷۸، ۰/۰۷۸ و ۰/۰۷۶ برای مدل گمپرتز گزارش نمودند. در تحقیق حاضر، در پرنده‌های نر، مقدار این پارامتر برای تابع هایپربولاستیک یک که مناسب‌ترین مدل جهت بررسی روند رشد در این گروه از بلدرچین‌ها بود ۰/۰۰۴ برآورد گردید.

در پرنده‌های ماده، کمترین و بیشترین مقدار پارامتر  $\beta$  توسط مدل‌های مختلف مورد استفاده در تحقیق حاضر ۰/۰۰۰۲ و ۰/۱۰ بود که به ترتیب توسط مدل هایپربولاستیک یک و لجستیک برآورد گردید. *Tarhan and Sezer* (2005) مقدار پارامتر  $\beta$  را در بلدرچین‌های ژاپنی ماده سویه سفید، قهوه‌ای و وحشی به ترتیب ۰/۰۷۷، ۰/۰۶۷ و ۰/۰۷۴ برآورد کردند. در تحقیق حاضر، مقدار این پارامتر برای مدل ون برتالانفی که براساس معیارهای نکوئی برازش به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت بررسی رشد در بلدرچین‌های ماده انتخاب شده بود، ۰/۰۲۷۲ برآورد شد. شکل‌های ۲ و ۳ نرخ رشد مطلق حیوانات نر و ماده را در کنار منحنی رشد برازش شده توسط مدل منتخب برای هر یک از جنس‌های نر و ماده نشان می‌دهد. در واقع نرخ رشد مطلق، میزان افزایش وزن پرنده در واحد زمان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد نرخ رشد مطلق در دو جنس نر و ماده با یکدیگر تفاوت زیادی دارند به طوری‌که نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های نر تا سن حدود ۲۵ روزگی با شیب زیادی روند افزایشی دارد.

به عبارت دیگر در بلدرچین‌های نر تا سن ۲۵ روزگی میزان افزایش وزن پرنده در هر روز نسبت به روز قبل بیشتر می‌باشد.

جدول ۶. مقادیر برآورد شده پارامترهای منحنی رشد حاصل از توابع مختلف برای پرنده‌های نر

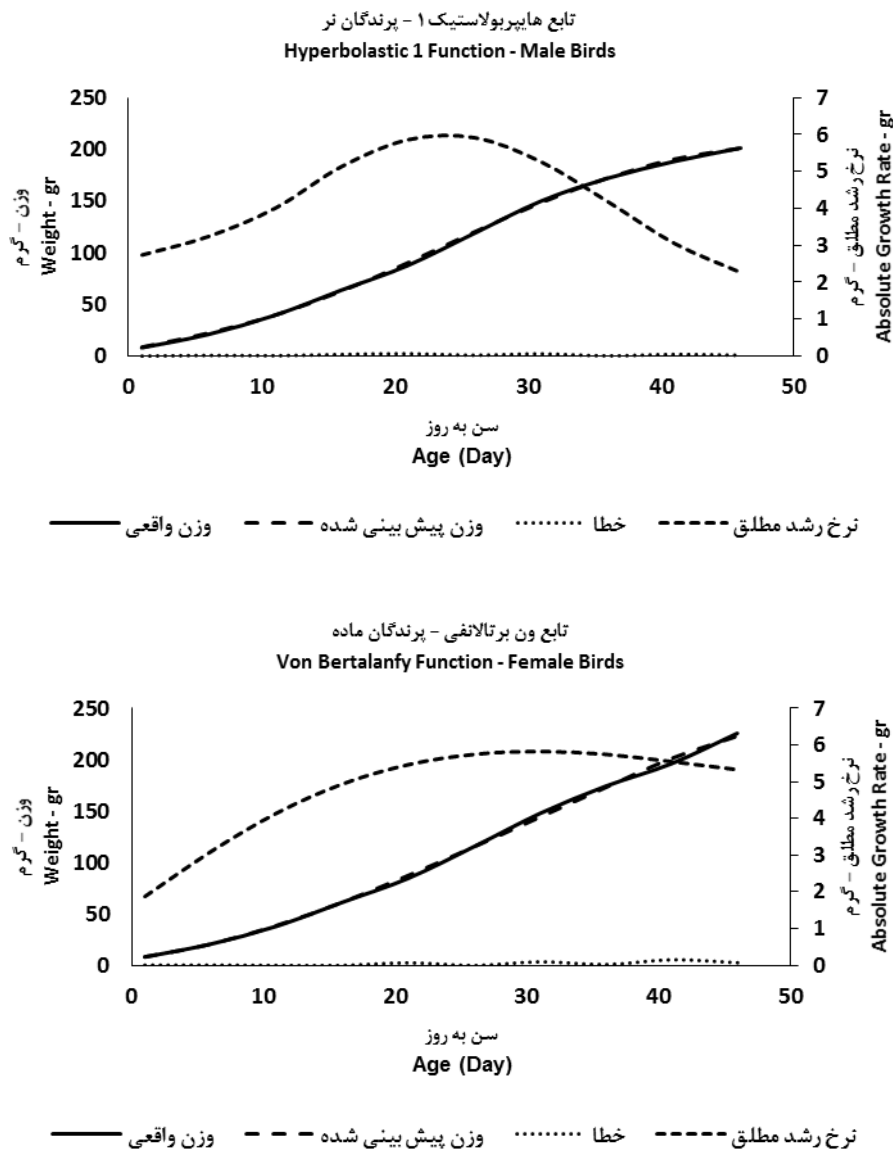
Table 5. Estimated values of growth curve parameters obtained from different functions for male birds

$\gamma$	$\Theta$	$\beta$	M	تابع - Function
-	-	0.1178	216.1	لجستیک Logistic
-	-	0.0607	257.7	گومپرتز Gompertz
0.126	-	0.0411	300.5	ون برتالانفی Von Bertalanfy
-3.16	-	0.0789	237.4	ریچاردز Richards
-	0.3704	0.004	226.6	هایپربولاستیک یک (H1) Hyperbolic 1
0.649	-	0.0019	239	هایپربولاستیک دو (H2) Hyperbolic 2
2.751	0.011	0.000062	214.3	هایپربولاستیک سه (H3) Hyperbolic 3

جدول ۷. مقادیر برآورد شده پارامترهای منحنی رشد حاصل از توابع مختلف برای پرنده‌های ماده

Table 6. Estimated values of growth curve parameters obtained from different functions for female birds

$\gamma$	$\Theta$	$\beta$	M	تابع - Function
-	-	0.1017	259.5	لجستیک Logistic
-	-	0.0463	353.1	گومپرتز Gompertz
0.144	-	0.0272	481.7	ون برتالانفی Von Bertalanfy
-1.92	-	0.0463	352.9	ریچاردز Richards
-	0.4660	0.00022	300	هایپربولاستیک یک (H1) Hyperbolic 1
0.5307	-	0.0018	353.7	هایپربولاستیک دو (H2) Hyperbolic 2
1.83	0.0029	0.006	387.2	هایپربولاستیک سه (H3) Hyperbolic 3



شکل ۲. نرخ رشد مطلق در بلدرچین های نر و ماده به همراه منحنی رشد برازش شده توسط توابع منتخب

Figure 2. Absolute growth rate in male and female quail with growth curve fitted by selected functions

نرخ رشد مطلق در سن ۲۵ روزگی به مقدار بیشینه خود یعنی ۵/۹ گرم در روز می رسد. پس از ۲۵ روزگی منحنی نرخ رشد مطلق روند کاهشی به خود می گیرد. به عبارت دیگر پس از ۲۵ روزگی با وجود اینکه پرنده به رشد وزنی خود ادامه می دهد ولی میزان افزایش وزن پرنده نسبت به روز قبل کمتر می باشد به طوریکه نرخ رشد مطلق در سن ۴۶ روزگی به ۲/۲۶ گرم در روز نزول پیدا می کند. با توجه به شکل یک شیب نسبتاً زیاد منحنی نرخ رشد مطلق در سنین اولیه پس از تولد در پرنده های نر باعث می شود که بطور میانگین بلدرچین های نر در سن ۲۵ روزگی به وزن حدود ۱۱۹ گرم دست یابند و این یعنی چیزی در حدود ۶۰ درصد وزن پیش بینی شده برای سن ۴۶ روزگی آنها که وزنی در حدود ۲۰۰ گرم می باشد. با توجه به شکل دو شیب افزایشی و کاهشی نمودار نرخ رشد مطلق در بلدرچین های ماده نسبت به بلدرچین های نر ملایم تر بوده که این موضوع باعث

افزایش وزن نسبتاً پایدارتری در پرندگان ماده در مقایسه با پرندگان نر در طول دوره پرورش می‌گردد. نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های ماده پس از تولد با شیب ملایمی افزایشی بوده و در سن ۳۱ روزگی به مقدار بیشینه خود یعنی عدد ۵/۸۲ گرم می‌رسد. پس از ۳۱ روزگی نرخ رشد مطلق با شیب بسیار ملایمی روند کاهشی پیدا می‌کند. در مقایسه با پرندگان نر، بلدرچین‌های ماده در سن ۲۵ روزگی به وزنی در حدود ۱۱۱ گرم می‌رسند که برابر با ۴۹ درصد وزن پیش بینی شده برای سن ۴۶ روزگی آنها می‌باشد. بدین ترتیب با توجه به شکل‌های یک و دو می‌توان گفت که سرعت نزدیک شدن به وزن بلوغ در پرندگی نر بیشتر از پرندگی ماده می‌باشد ولی وزن نهایی پرندگی ماده بیشتر از پرندگان نر می‌باشد.

یکی از فاکتورهای ارزیابی رشد، سن رسیدن به نقطه عطف منحنی رشد می‌باشد که در آن نرخ رشد به بیشترین مقدار خود می‌رسد و بیانگر طول مرحله افزایشی رشد می‌باشد. این نقطه تحت تأثیر معادله‌ای قرار می‌گیرد که بهترین برازش را از منحنی رشد دارد (Beiki *et al.*, 2013; Karaman *et al.*, 2013). بر اساس نتایج این تحقیق و با توجه به شکل‌های یک و دو سن و وزن در نقطه عطف منحنی رشد بلدرچین‌های نر به ترتیب ۲۵ روز و ۱۱۹ گرم و سن و وزن در نقطه عطف منحنی رشد بلدرچین‌های ماده ۳۱ روز و ۱۴۲ گرم می‌باشد و بین دوجنس از نظر طول مرحله افزایشی رشد تفاوت وجود دارد. نتایج این تحقیق در خصوص روند نرخ رشد مطلق و سن و وزن در نقطه عطف می‌تواند در تنظیم جیره غذایی برای این نژاد از لحاظ انرژی، پروتئین و ویتامین‌های مورد نیاز پرندگی در جهت استفاده حداکثری از پتانسیل رشد بلدرچین‌ها در فاز رشد سریع و همچنین تنظیم جیره‌های مقرون به صرفه و جلوگیری از هدر رفت مواد مغذی در فاز رشد کند، حائز اهمیت می‌باشد. Gürcan and Kaplan (2018) سن در نقطه عطف را برای بلدرچین‌های ژاپنی با استفاده از مدل‌های ریچاردز، گمپرتز و لجستیک برای جنس نر به ترتیب ۲۵/۲۹، ۲۵/۰۵ و ۲۵/۸۲ به دست آوردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. Ebrahimi *et al.* (2018) در بلدرچین‌های آمیخته سن در نقطه عطف را به ترتیب ۳۰/۶۸ و ۳۰/۳۳ روزگی به دست آوردند که با مقدار به دست آمده برای جنس ماده در این تحقیق مطابقت دارد. طی مطالعه‌ای که Anthony *et al.* (1996) بر روی لاین‌های مختلف بلدرچین انجام دادند مشاهده شد که بلدرچین‌های لاین سنگین وزن (۱۶/۱ روزگی) نسبت به گروه شاهد (۱۷ روزگی) یک روز زودتر به نقطه عطف منحنی رشد دست می‌یابند در حالی که لاین سبک وزن در مقایسه با لاین شاهد تقریباً ۹ روز دیرتر (۲۶/۵ روزگی) به نقطه عطف منحنی می‌رسد. Beiki *et al.* (2011) نشان دادند که سن رسیدن به نقطه عطف منحنی رشد با انتخاب واگرای کوتاه مدت تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و بین لاینهای مختلف از نظر طول مرحله افزایشی رشد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. Sezer Tarhan and (2005) وزن بدن در نقطه عطف را برای جنس نر سویه‌های سفید، قهوه‌ای و وحشی بلدرچین ژاپنی به ترتیب ۸۲/۸۹، ۸۳/۵۸ و ۸۲/۶۹ گرم به دست آوردند، در حالی که مقدار آن در جنس ماده برای این سه سویه به ترتیب ۱۰۰/۶۲، ۱۰۴/۱۲ و ۱۰۰/۸۱ گرم بود. Ebrahimi *et al.* (2018) وزن در نقطه عطف را برای بلدرچین‌های آمیخته چهارنژادی ۱۱۲/۴ گرم به دست آوردند که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. Gürcan and Kaplan (2018) وزن بدن در نقطه عطف را برای بلدرچین

های ژاپنی با استفاده از مدل لوکوویچ<sup>۶</sup> برای جنس نر ۱۰۷/۲۷ گرم بدست آورند. Oğuz and Akbas (1998) مقدار این پارامتر را در جنس ماده بلدرچین ژاپنی با استفاده از مدل ون برتالانفی ۸۲/۴۳ گرم به دست آوردند که از مقدار برآورد شده در تحقیق حاضر برای بلدرچین‌های ماده کمتر بود و در جنس نر مقدار آن ۶۵/۸۲ گرم بود. Faraji et al. (2018) میانگین وزن بدن در نقطه عطف را برای جمعیت آمیخته بلدرچین ژاپنی ۱۲۳/۸۹ گرم برآورد نمودند که بیشتر از مقدار بدست آمده برای جنس نر و کمتر از مقدار به دست آمده برای جنس ماده در تحقیق حاضر بود.

### نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق تمامی مدل‌های غیرخطی مورد استفاده به خوبی توانایی توصیف روند رشد در بلدرچین‌های ژاپنی را داشتند. از میان ۷ مدل غیر خطی استفاده شده، مدل‌های رشد هایپربولاستیک یک و ون برتالانفی بر اساس معیارهای نکوئی برازش به عنوان بهترین مدل‌ها جهت توصیف منحنی رشد به ترتیب در پرند‌های ماده و نر بودند. به طور کلی، نتایج نشان داد که از توابع رشد هایپربولاستیک می‌توان در پیش‌بینی وزن در سنین مختلف و برازش منحنی‌های رشد در بلدرچین ژاپنی استفاده کرد. به علاوه، به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر مدل‌های هایپربولاستیک نسبت به مدل‌های غیر خطی معمول، استفاده از این مدل‌ها در تحقیقات آتی مرتبط با برازش منحنی رشد در بلدرچین‌ها پیشنهاد می‌شود. همچنین، روند نرخ رشد مطلق در بلدرچین‌های نر و ماده این نژاد با هم متفاوت است به طوریکه تغییر فاز صعودی نرخ رشد مطلق به فاز نزولی (نقطه عطف منحنی رشد) در پرندگان نر نسبت به پرندگان ماده در حدود یک هفته زودتر اتفاق می‌افتد. همچنین وزن نهایی بلدرچین‌های نر و ماده در طول دوره پرورش مشابه با هم متفاوت می‌باشد که این تفاوتها باید در تنظیم جیره‌های غذایی و مدیریت پرورش پرندگان این نژاد مد نظر قرار گیرد.

### منابع

- Aghah, M. J. (2019).** Principles of quail breeding. (1th ed.). Publication of agricultural education. Tehran. Iran. (In Persian)
- Ahadi, S., Darmani Kuhi, H & Ghavi Hosein Zadeh, N. (2016).** Effect of nutrients density on growth performance, carcass parts and growth curve characteristics in Japanese quails. *Animal Science Journal* 113: 123-134. (In Persian)
- Ahadi, S., Darmani Kuhi, H & Ghavi Hosein Zadeh, N. (2018).** Evaluation of growth functions in describing the growth of Japanese quails fed diets deferring in nutrients density compared to NRC recommendation. *Animal Science Researches* 28(1): 127-139. (In Persian)
- Ahmadi, H & Golian H. (2008).** Non-linear Hyperblastic functions for describing growth curve in classical strain of broiler chicken. *Research Journal of Biological Science* 3: 1300-1313.

<sup>6</sup> Levakovich

**Ahmadi, H & Mottaghtalab, M. (2007).** Hyperbolic Models as a New Powerful Tool to Describe Broiler Growth Kinetics production , modeling , and education hyperbolic models as a new powerful tool to describe Broiler Growth. *Poultry Science* 86: 2461-2465.

**Akaike, H. (1976).** A New Look at the Statistical Model Identification. *Automatic Control, IEEE Transactions* 19(6): 716-723.

**Akbas, Y & Oğuz, İ. (1998).** Growth curve parameters of lines of Japanese quail ( *Coturnix coturnix japonica* ), unselected and selected for four-week body weight. *Archive Geflugelk* 62: 104-109.

**Anthony, N. B., Nestor, K. E & Marks, H. L. (1996).** Short-Term Selection for Four-Week Body Weight in Japanese Quail. *Poultry Science* 75: 1192-1197.

**Beiki, H., Pakdel, A., Moradi-shahrbabak, M & Mehrban H. (2013).** Evaluation of growth functions on Japanese quail lines. *Journal of Poultry Science* 50: 20-27.

**Beiki, H., Pakdel, H & Moradi Shahre Babak M. (2011).** The effect of divergent selection for 4-week body weight on the shape of the growth curve in Japanese quail. *Iranian Journal of Animal Science Research* 3(1): 38-45. (In Persian)

**Darmani Kuhi, H., Kebreab, E., Lopez, S & Francet, 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. *Poultry Science* 82: 1536-1543

**Ebrahimi, KH., Dashab, G. R., Faraji-Arough, H & Rokouei, M. (2018).** Growth curves fitting in Japanese quail di-allele crosses and comparison of growth patterns of crossbreds. *Research on Animal Production* 9(20): 110-122. (In Persian)

**Faraji arough, H., Ebrahimi, Kh., Dashab, G. R & Rokouei, M. (2018).** Estimation of (co)Variance components of growth curve parameters in Japanese quail. *Iranian Journal of Animal Science* 49(2): 237-246. (In Persian)

**Ghorbani, Z., Sheikhlou, M & Karimi, A. (2021).** Estimation of genetic parameters of growth curve components obtained from comparison of nonlinear models in Moghani sheep breed. *Journal of Ruminant Research* 9(1): 99-113. (In Persian)

**Haqani, M. I., Kawamura, K., Takenouchi, A & Kabir, M. H. (2021).** A growth performance and nonlinear growth curve functions of Large- and Normal-sized Japanese quail ( *Coturnix japonica* ). *Journal of Poultry Science* 58( 2): 88-96.

**Jahan, M. (2017).** Estimation of genetic correlations between growth traits and growth curve parameters in Japanese and Italian spotted quail. MSc. dissertation, University of Zabol, Iran. (In Persian)

**Kaplan, S & Gürcan, E. K. (2018).** Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail. *Journal of Applied Animal Researches* 1: 112-117.

**Kaps, M & W. R. Lamberson, (2004).** Biostatistics for Animal Science. (1th ed.). CABI Publishing. Oxfordshire. UK.

**Karaman, E., Narinc, D., Firat, M. Z & Aksoy, T. (2013).** Nonlinear mixed effects modeling of growth in Japanese quail. *Poultry Science* 92(7): 1942-1948.

**Narinc, D., Aksoy, T & Karaman, E. (2010).** Genetic Parameters of Growth Curve Parameters and Weekly Body Weights in Japanese Quails ( *Coturnix coturnix japonica* ). *Journal of Animal Veterinary Advances* 9(3): 501-507.

**Nikkhah, M., MotaghiTalab, M & Zavareh, M. (2010).** Hyperbolastic vs. Classic Model to Estimate Male Broiler Chicken Growth. *Iranian Journal of Animal Science* 40(4): 71-78. (In Persian)

**NRC. (1994).** Nutrient Requirements of poultry. (9th ed.) National Academy Press. Washington, D.C. USA.

**Santos, H. B., Vieira, D. A., Souza, L. P., Santos, A. L., Santos, F. R & Araujo Neto, F. R. (2019).** Application of non-linear mixed models for modelling the quail growth curve for meat and laying. *Journal of Agricultural Science* 156(10): 1216-1221.

**SAS user's guide. (2003).** version 9.1. SAS Institute, Inc. Cary, NC.

**Sezer, M & Tarhan, S. (2005).** Comparison of three non-linear models for describing Japanese quail growth curve. *Journal of Animal Feed Science* (14): 317–326.

**Sezer, M & Tarhan, S.** Model parameters of growth curves of three meat-type lines of Japanese quail. *Czech Journal of Animal Science* 1:22–30.

**Tabatabai, M., Williams, D. K & Bursac, Z. (2005).** Theoretical Biology and Medical Hyperbolastic growth models : theory and application. *Theoretical Biology Medical Modelling* 13:1–13.