



## "مقاله پژوهشی"

# برازش منحنی رشد در بلدرچین ژاپنی با استفاده از مدل‌های غیرخطی و مختلط غیرخطی

سیدرضا میرائی آشتیانی<sup>۱</sup>، میثم بشیری<sup>۲</sup>، عباس پاکدل<sup>۳</sup> و محمد مرادی شهرباک<sup>۴</sup>

۱- استاد دانشگاه تهران، (نویسنده مسوول: ashtiani@ut.ac.ir)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استاد دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

صفحه: ۱۲۴ تا ۱۲۹

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** امروزه مدل‌های رشد در سامانه‌های زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. برای نمونه از طریق تجزیه و تحلیل و مطالعه منحنی‌های رشد در نشخوارکنندگان و طیور، این امکان وجود دارد تا مراحل رشد آنها را با قوانین شناخته شده رشد انطباق داده و به کمک آنها برنامه‌های مدیریتی و تغذیه‌ای جهت انتخاب و تاثیر بر پرورش و بهره‌وری دام‌ها ارائه نمود. به علاوه از منحنی‌های رشد می‌توان جهت ارزیابی پتانسیل ژنتیکی موجود زنده نیز استفاده کرد. این مطالعه به منظور بررسی قابلیت‌ها و مزیت‌های مدل‌های غیرخطی و مختلط غیرخطی در توصیف و بررسی الگوی رشد بلدرچین ژاپنی انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق اطلاعات رشد لاین‌های مختلف بلدرچین اعم از لاین سنگین وزن (HW)، سبک وزن (LW) و شاهد استفاده شد. به منظور بررسی و توصیف الگوی رشد بلدرچین‌های سه گروه، از سه مدل رشد لجستیک، گمپرتز و ریچارد هم به صورت غیرخطی و هم به صورت مختلط غیرخطی استفاده شد و این مدل‌ها با سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) با یکدیگر مقایسه شدند.

**یافته‌ها:** مقادیر معیارهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) به ترتیب برای مدل لجستیک غیرخطی (۰/۹۵۴، ۰/۳۴، ۶۵۸۲۹، ۷۴/۰۳۴) و برای مدل گمپرتز غیرخطی به ترتیب (۰/۹۵۷، ۰/۷۲/۵۶، ۶۵۳۰۷) و همچنین برای مدل ریچارد غیرخطی به ترتیب (۰/۹۵۱، ۰/۷۲/۳۰، ۶۵۳۴۹) بدست آمد. همچنین سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) برای مدل لجستیک مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۶، ۰/۳۳/۴۰۰، ۶۱۴۴۹) و برای مدل گمپرتز مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۸، ۰/۳۱/۶۵۸، ۶۰۶۴۱) و همچنین برای مدل ریچارد مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۸، ۰/۳۱/۸۴۹، ۶۰۵۹۱) بدست آمد، که مدل‌های مختلط غیرخطی به دلیل بالاتر بودن دقت و کمتر بودن خطا نسبت به مدل‌های غیرخطی برتری داشتند.

**نتیجه‌گیری:** مدل رشد ریچارد مختلط با داشتن بالاترین دقت و کمترین خطا بهتر از سایر مدل‌ها می‌تواند رشد را در بلدرچین ژاپنی پیش‌بینی کند و توابع گمپرتز و لجستیک در رده‌های بعدی قرار دارند. در میان مدل‌های غیرخطی به ترتیب مدل گمپرتز، ریچارد و لجستیک برازش بهتری داشتند و در میان مدل‌های مختلط غیرخطی به ترتیب برازش مدل‌های ریچارد، گمپرتز و لجستیک بهتر بود. در بین توابع مدل لجستیک غیرخطی به دلیل کمتر بودن دقت و بیشتر بودن خطا توصیف مناسبی از منحنی رشد بلدرچین ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌های غیرخطی مختلط، مدل لجستیک، مدل ریچارد، مدل گمپرتز، منحنی رشد، بلدرچین ژاپنی

### مقدمه

منحنی رشد تغییرات منظم در ارتباط با وزن زنده که با افزایش سن معمولاً به صورت سیگموئیدی (S شکل) است، را توصیف می‌کند. امروزه مدل‌های رشد در سیستم‌های زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. برای نمونه از طریق تجزیه و تحلیل و مطالعه منحنی‌های رشد در نشخوارکنندگان و طیور، این امکان وجود دارد تا مراحل رشد آنها را با قوانین شناخته شده رشد انطباق داده و به کمک آنها برنامه‌های مدیریتی و تغذیه‌ای جهت انتخاب و تاثیر بر پرورش و بهره‌وری دام‌ها ارائه نمود. به علاوه از منحنی‌های رشد می‌توان جهت ارزیابی پتانسیل ژنتیکی موجود زنده نیز استفاده کرد (۱). از طرفی با توجه به همبستگی موجود بین فراسنجه‌های منحنی رشد و صفات مرتبط با رشد می‌توان از توابع رشد برای پیش‌بینی میزان رشد و برآورد تغییرات شکل منحنی استفاده کرد. ضمناً می‌توان با استفاده از منحنی رشد تفاوت بین گونه‌ها، نژادها، جنس، تغذیه و دیگر عوامل را بررسی کرد و از فراسنجه‌های منحنی رشد به عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاح‌نژادی استفاده نمود.

میگنون-گراستو و همکاران (۸) پارامترهای ژنتیکی منحنی رشد را برآورد و نشان دادند که پارامترهای منحنی رشد قابل وراثت هستند. سولون و همکاران (۱۲) نیز نشان دادند که پارامترهای منحنی رشد وراثت‌پذیرند و با انجام انتخاب

رشد در موجودات زنده تحت تاثیر عوامل مختلفی اعم از ژنتیک، محیط و اثر متقابل آنها قرار دارد و می‌تواند با تغییرات ایجاد شده در طی حیات که همراه با استفاده از مواد غذایی است، تشریح شود. این فرآیند منجر به افزایش حجم، اندازه یا شکل یک موجود می‌گردد. این تغییرات را می‌توان با اندازه گیری وزن بدن در دوره‌های منظم پیگیری نمود و با استفاده از معادلات ریاضی مورد بررسی قرار داد. پارامترهای رشد از لحاظ بیولوژیکی قابل تفسیر هستند (۳،۱). مفاهیم بیولوژیکی پارامترهای مدل رشد فرصت مناسبی را برای توسعه استراتژی‌های اصلاح نژادی از طریق تعدیل فعالیت‌های مدیریتی یا ساختار ژنتیکی شکل منحنی رشد فراهم می‌کنند. به علاوه این توابع اجازه مطالعه تفاوت‌های موجود در بین لاین‌هایی که ساختار ژنتیکی متفاوتی دارند را نیز فراهم می‌آورند. به طور کلی الگوی رشد گونه‌های طیور اهلی به صورت سیگموئیدی یا S شکل می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی منحنی‌های رشد گونه‌های مختلف طیور اهلی نشان داده است که انتخاب به عنوان یکی از ابزارهای اساسی اصلاح دام، الگو و شکل منحنی رشد را از طریق تغییر در وزن بلوغ جسمی و محل نقطه عطف منحنی رشد تغییر می‌دهد (۱۳،۴).

می‌توان شکل منحنی رشد را تغییر داد و رشد را بهبود بخشید.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های یک گروه شاهد و دو لاین بلدرچین ژاپنی که به ترتیب لاین‌های سنگین وزن (HW) و سبک وزن (LW) بودند، استفاده شد. لازم به ذکر است که بلدرچین‌های لاین‌های LW و HW طی ۷ نسل به ترتیب برای افزایش و کاهش وزن بدن انتخاب شده بودند. در آزمایش مذکور تعداد ۴۵۰ تخم از هر لاین جمع‌آوری و حداکثر پس از ۴ روز نگهداری در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد به دستگاه ستر منتقل شدند. در زمان هج تعداد ۱۳۴ پرنده از لاین HW، ۲۳۹ پرنده از لاین LW و ۲۰۱ پرنده از گروه شاهد پس از وزن‌کشی به صورت گروهی بر روی بستر انتقال داده شدند. جوجه‌ها از روز اول بر روی بستر و تحت شرایط کنترل شده از نظر دما و تهویه قرار گرفته و جیره غذایی آنها براساس احتیاجات ذکر شده در NRC (۱۹۹۴) تهیه و در اختیار آنها قرار داده شد. در طی روزهای آزمایش غذا و آب به صورت آزاد در اختیار بلدرچین‌ها قرار داده شد. اندازه‌گیری خوراک مصرفی به صورت گروهی و هر هفته یکبار صورت گرفته است. بلدرچین‌ها از سن سه روزگی شماره‌بال خورده و از سن ۴ روزگی وزن‌کشی آنها آغاز شد. وزن‌کشی بلدرچین‌ها در طی این آزمایش به صورت انفرادی برای هر پرنده و تا سن ۲۱ روزگی به صورت روزانه انجام گرفت و از این به بعد وزن‌کشی فقط در سنین ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۵ و ۴۵ روزگی صورت گرفت. لازم به ذکر است که به منظور اندازه‌گیری میزان خوراک مصرفی انفرادی بلدرچین‌ها، جوجه بلدرچین‌ها از سن ۲۱ روزگی به درون قفس منتقل شدند، اما به دلیل کوچکی بلدرچین‌ها به ویژه بلدرچین‌های لاین LW و نامناسب بودن شرایط قفس برای آنها بلدرچین‌ها مجدداً در سن ۲۸ روزگی به درون بستر منتقل شدند.

نظر به اینکه جوجه‌ها از هر دو جنس بودند، از زمانیکه جنسیت قابل تشخیص شده بود تعداد از هر جنس در داخل هر سه گروه بررسی شد که تفاوت زیادی نداشتند. لذا در این تحقیق به منظور بررسی مدل‌های مختلف، به جنسیت افراد توجهی نشد. در پایان دوره پرورش و پس از اعمال ۴ ساعت گرسنگی به منظور خالی شدن محتویات دستگاه گوارش، وزن‌کشی صورت گرفت.

به منظور بررسی و توصیف الگوی رشد داده‌های وزن بدن در سنین مختلف بلدرچین‌های ژاپنی از سه مدل لجستیک، گمپرتز و ریچارد هم به صورت غیرخطی و هم مختلط غیرخطی استفاده شد و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۱ و دو رویه غیرخطی و مختلط غیرخطی برازش شد و صحت مدل‌ها بر اساس سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) تعیین شد. پارامترهای هر مدل با استفاده از روش تکرار گوس نیوتون برآورد شد.

## مدل لجستیک

$$W_t = W_0 W_f / [W_0 + (W_f - W_0) \exp(-bt)]$$

که در آن  $W_t$ : وزن پرنده در زمان  $t$ ،  $W_0$ : وزن اولیه،  $W_f$ : وزن بلوغ جسمی و  $b$ : پارامتر مدل می‌باشد.

در این مدل نرخ رشد از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$bw \left[ 1 - \frac{w_f}{w_0} \right]$$

## مدل ریچارد

$$Y_t = A[1 + b \exp(-kt)]^{-1/n}$$

در این مدل  $Y(t)$ : وزن پرنده در سن  $t$ ،  $A$ : وزن بلوغ جسمی هنگامی که  $t$  به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، که به طور کلی متوسط وزن بدن در زمان بلوغ جسمی می‌باشد  $A$  مستقل از تغییرات وزن بدن در اثر تغییرات محیط خارجی می‌باشد.  $b$ : ضریب ثابت تابع می‌باشد و فاقد تفسیر بیولوژیک خاصی است و  $k$ : نرخ تغییرات خطی تابع لگاریتمی بلوغ جسمی در واحد زمان یا شاخص بلوغ است که این شاخص نرخ بلوغ جسمی را در منحنی رشد برآورد می‌کند (یعنی نرخ دست یافتن به  $A$ )، پارامتر شکل که تعیین کننده جایگاه نقطه عطف در منحنی رشد می‌باشد، این پارامتر درجه بلوغ جسمی را در نقطه عطف منحنی رشد نشان می‌دهد. در این مدل نرخ رشد از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$V = \frac{Ak}{2(n+2)}$$

## مدل گمپرتز

شکل اصلی این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$W(t) = M \exp[-\alpha \exp(-M \beta t)]$$

در این مدل  $W(t)$ : وزن بدن،  $M$ : وزن بلوغ جسمی،  $W_0$ : وزن اولیه،  $t$ : زمان و  $\beta$ : پارامتر مدل می‌باشند.

در این مدل‌ها منحنی رشد در اطراف نقطه حداکثر نرخ رشد است. هرچند تفاوت‌هایی بین آنها در نقطه عطف وجود دارد. نقطه عطف در مدل گمپرتز ثابت و در مدل ریچارد (انعطاف پذیر) نسبت به مقادیر رشد به صورت مجانبی متغیر است (۱۳). توضیح جزئی تر روابط برای برآورد پارامترهای مدل‌ها در مقاله Aggrey (۱) قابل رجوع و ملاحظه می‌باشند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (version 9.1) و توسط PROC NLIN آنالیز شمنند و پارامترها برای مدل‌های مختلف برآورد شدند.

## معیارهای ارزیابی

به منظور مقایسه مدل‌ها با یکدیگر در این مطالعه از معیارهای زیر استفاده می‌شود:

### ضریب تعیین ( $R^2$ )

ضریب تعیین نشان‌دهنده سهم عوامل قابل کنترل در پراکنش موجود بین مشاهده‌ها است و برابر با نسبتی از پراکنش صفت وابسته (صفت مورد مطالعه) می‌باشد که بوسیله عوامل قابل کنترل ایجاد شده است. ضریب تعیین بالا، نشان دهنده این است که بخش زیادی از عوامل موثر بر صفت مورد بررسی به صورت قابل کنترل درآمده‌اند. ضریب تعیین به صورت نسبت مجموع مربعات عوامل قابل کنترل به مجموع مربعات کل محاسبه می‌شود.

$$R^2 = 1 - (SSE/SST)$$

معمولاً در هنگام ارزیابی مدل‌ها مطلوب این است که مقدار  $R^2$  ۰/۷۵ یا بالاتر باشد که در این حالت ۰/۲۵ تغییرات متغیر وابسته تحت تاثیر عوامل باقیمانده یا ناشناخته است. هر چقدر تعداد مشاهدات بالا رود میزان  $R^2$  نیز افزایش می‌یابد بنابراین تغییرات  $R^2$  تحت تاثیر تعداد

دارد (۱۱،۱۰). اگر چه بین وزن گروه‌های مختلف مورد مطالعه در این پژوهش تفاوت وجود داشت و بلدرچین‌های لاین HW در نقطه عطف به‌طور معنی‌داری ( $p > 0.01$ ) سنگین‌تر از لاین‌های LW و شاهد بودند، ولی شکل و رفتار منحنی رشد در آنها دارای الگوی مشابه بود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل رشد ریچارد مختلط غیرخطی با داشتن بالاترین دقت و کمترین خطا بهتر از سایر مدل‌ها می‌تواند رشد را در بلدرچین ژاپنی پیش‌بینی کند. در بین توابع مدل لجستیک غیرخطی به دلیل کمتر بودن مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) و بیشتر بودن میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) توصیف مناسبی از منحنی تولید ندارد.

در این مطالعه مقادیر معیارهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) به ترتیب برای مدل لجستیک غیرخطی (۰/۹۵۴، ۰/۹۵۷، ۰/۷۲/۵۶۰، ۰/۷۲/۷۳۰، ۰/۹۵۱) بدست آمد (جدول ۱).

همچنین سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و معیار اطلاعات آکایک (AIC) برای مدل لجستیک مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۶، ۰/۳۳/۴۰۰، ۰/۶۱۴۴۹) و برای مدل گمپرتز مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۸، ۰/۳۱/۶۵۸، ۰/۶۰۶۴۱) و برای مدل ریچارد مختلط غیرخطی به ترتیب (۰/۹۷۸، ۰/۳۱/۸۴۹، ۰/۶۰۵۹۱) بدست آمد که مدل‌های مختلط غیرخطی به دلیل بالاتر بودن ضریب تعیین و کمتر بودن میانگین مربعات خطا و معیار اطلاعات آکایک نسبت به مدل‌های غیرخطی برتری داشتند (جدول ۱). از نظر مقایسه مدل‌ها؛ در میان مدل‌های غیرخطی به ترتیب مدل‌های گمپرتز، ریچارد و سپس لجستیک برتر از نظر مقایسه در میان مدل‌های مختلط غیرخطی به ترتیب برتر از نظر مقایسه ریچارد، گمپرتز و بعد لجستیک بهتر بودند.

مدل ریچارد غیرخطی مختلط با تخمین وزن نهایی ۲۳۳/۴ گرم بیشترین پیش‌بینی و مدل لجستیک غیرخطی با تخمین وزن ۱۹۹/۴۵ کمترین پیش‌بینی از وزن نهایی را داشته است.

پارامترها و تعداد مشاهدات است. در داده‌های مزرعه‌ای مقدار  $R^2$  معمولاً پایین است.

### میانگین مربعات خطا (MSE)

با استفاده از تجزیه باقی مانده‌ها، می‌توان اعتبار مدل را مورد سنجش قرار داد. میانگین مربعات از تقسیم مجموع مربعات خطا بر درجه آزادی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MSE = SSE / (n-k)$$

که SSE مجموع مربعات خطا، n تعداد کل مشاهدات و k تعداد پارامترهای مدل می‌باشد.

### معیار اطلاعات آکایک (AIC)

بر اساس این معیار، هر مدل دارای یک آکایک مخصوص به خود است و مدلی که کوچکترین مقدار آکایک را دارد، مدل بهینه می‌باشد. برای تصحیح خطای مدل‌های برازش شده بر اساس تعداد پارامترهای هر یک از آنها از آماره AIC استفاده می‌شود (۵). به عبارت دیگر این آماره برای مقایسه مدل‌هایی با تعداد پارامترهای متفاوت کاربرد دارد. مقدار کمتر آماره آکایک نشانگر بهتر بودن مدل است. مقدار آکایک در نرم‌افزارها با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$AIC = n \log(SSE/n) + 2p$$

که SSE n و p به ترتیب مجموع مربعات باقیمانده، تعداد مشاهدات و تعداد پارامترهای مدل می‌باشند.

آگری (۱) پیشنهاد داد که مدل ریچارد به دلیل انعطاف‌پذیری بودن آن مدل مناسبی در برازش منحنی رشد جوجه‌های گوشتی می‌باشد و به همین دلیل در بیشتر مطالعات از این مدل استفاده می‌شود.

### نتایج و بحث

بهبود ژنتیکی وزن بدن نقش مهمی را در حصول بازده مطلوب حیوانات مزرعه ایفا می‌کند. در طی چند دهه اخیر تلاش‌های گوناگونی به منظور شناخت و مدیریت منحنی رشد برای رسیدن به وزن بالا در زمان کشتار و یا وزن مناسب در زمان بلوغ جنسی، از طریق انتخاب در بوقلمون و مرغ انجام شده است (۵).

نتایج آزمایش‌های مختلف نشان داده است که انتخاب توابع رشد بستگی به گونه خاص، سوبه و حتی لاین خاص

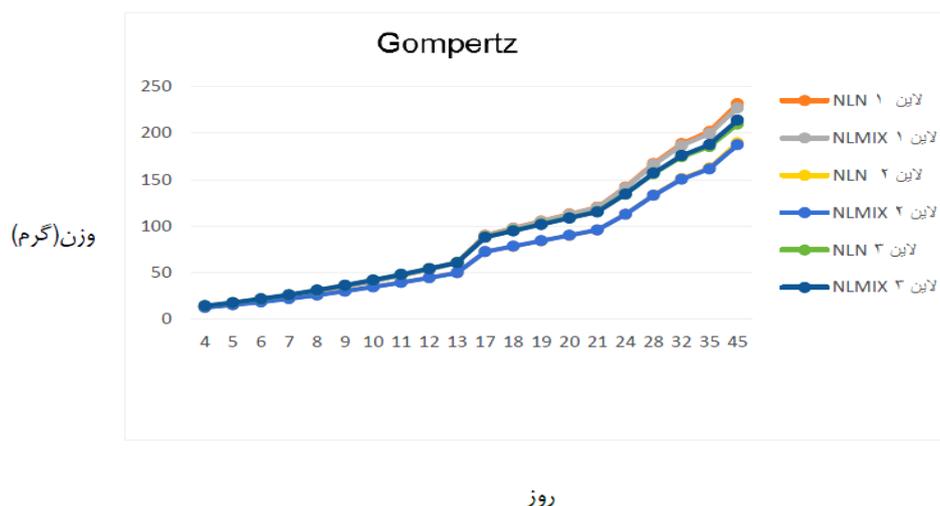
جدول ۱- پارامترهای برآورد شده و معیارهای مختلف برای نکویی برازش توابع توصیف کننده منحنی رشد بلدرچین ژاپنی

پارامتر مدل	لجستیک غیرخطی	گمپرتز غیرخطی	ریچارد غیرخطی	لجستیک غیرخطی مختلط	گمپرتز غیرخطی مختلط	ریچارد غیرخطی مختلط
b1	۱۹۹/۴۵ ± ۱/۶۶	۲۳۳/۶۰ ± ۲/۶۸	۲۲۸/۴۰ ± ۲/۶۰	۲۰۷/۵۳ ± ۱/۶۰	۲۳۱/۸ ± ۲/۳۸	۲۳۳/۳۰ ± ۲/۹۰
b2	۱۹ ± ۰/۳۵۰	۲/۹۱ ± ۰/۰۳۴	- ۰/۰۰۴ ± ۰/۰۳۶	۱۵/۶۰ ± ۰/۴۲۰	۳/۹۴ ± ۰/۰۵۹	- ۰/۰۳۷ ± ۰/۱۲۰
b3	۰/۱۴۹ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۷۷ ± ۰/۰۰۱۱	۰/۰۷۹ ± ۰/۰۰۱۲	۰/۱۳۹ ± ۰/۰۰۱۵	۰/۰۷۸ ± ۰/۰۰۱۰	۰/۰۷۷ ± ۰/۰۰۲۳
b4	-	-	۰/۰۰۳۶ ± ۰/۰۰۹۳	-	-	۰/۰۱۲ ± ۰/۰۲۹
$R^2$	۰/۹۵۴	۰/۹۵۷	۰/۹۵۱	۰/۹۷۶	۰/۹۷۸	۰/۹۷۸
MSE	۷۴/۰۳	۷۲/۵۶	۷۲/۷۳	۳۳/۴	۳۱/۶۶	۳۱/۸۵
AIC	۶۵۸۲۹	۶۵۳۰۷	۶۵۳۴۹	۶۱۴۴۹	۶۰۶۴۱	۶۰۵۹۱
BIC	۶۵۹۰۰	۶۵۳۷۷	۶۵۴۴۰	۶۱۴۹۷	۶۰۶۸۹	۶۰۶۵۲

b1=Asymptote weight, b2 = Scale parameter (constant), b3 =Relative growth rate, b4 = Shape parameter,  $R^2$ = Coefficient of determination, MSE = Mean Square Error, AIC = Akaike's Information Criterion, BIC = bayesian information criterion

انعطاف بیشتر مدل ریچارد ممکن است منجر به دقت پیش‌بینی بیشتر و برازش بهتر داده‌های رشد جوجه‌های گوشتی باشد.

مدل ریچارد انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و بالاترین دقت و کمترین خطا را در بین سایر مدل‌ها دارا می‌باشد همچنین این مدل پیش‌بینی بهتری داشته و بهتر می‌تواند رشد بلدرچین را برازش دهد. احمدی و گلیان (۲) گزارش کردند که قابلیت



شکل ۱- پیش‌بینی وزن بدن بلدرچین توسط مدل گمپرتز به صورت غیرخطی و غیرخطی مختلط

Figure 1. Prediction of quail body weight using non-linear and nonlinear mixed Gompertz models

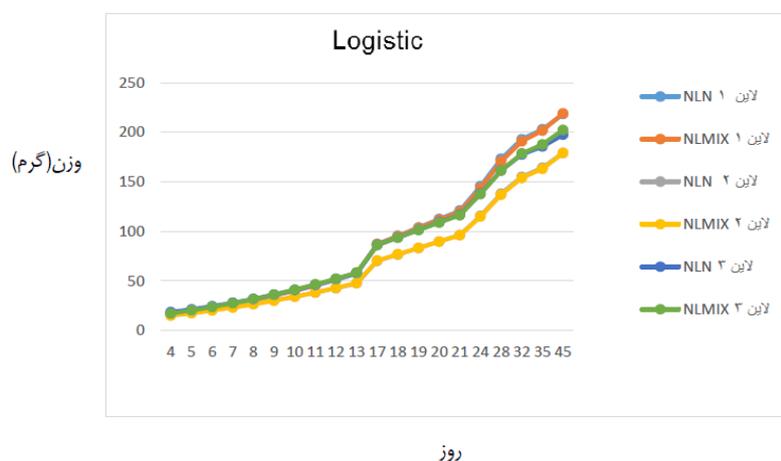
نارینک و همکاران (۹) ۱۱ مدل آماری را در داده‌های بلدرچین ژاپنی برازش دادند که مدل گمپرتز با دقت بالاتر و خطای کمتر بهترین برازش را داشته است و پس از آن مدل ریچارد بهترین برازش را داشته است. که با نتایج این تحقیق در رابطه با مدل‌های غیرخطی هم خوانی داشت.

وضعیت پیش‌بینی وزن بدن بلدرچین‌ها برای سه گروه مورد بررسی در این تحقیق برای مدل‌های رشد غیرخطی و مختلط غیرخطی سه مدل گمپرتز، لجستیک و ریچارد به ترتیب در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

منحنی رشد مبتنی بر مدل رشد ریچارد بدلیل دارا بودن پارامتر شکل که دامنه تغییرات آن از  $-1$  تا  $+0.5$  است و این پارامتر نمی‌تواند برابر صفر یا  $-1$  باشد، انعطاف پذیری بسیار مناسبی در توصیف الگوهای رشد S شکل (سیگموئیدی) دارد.

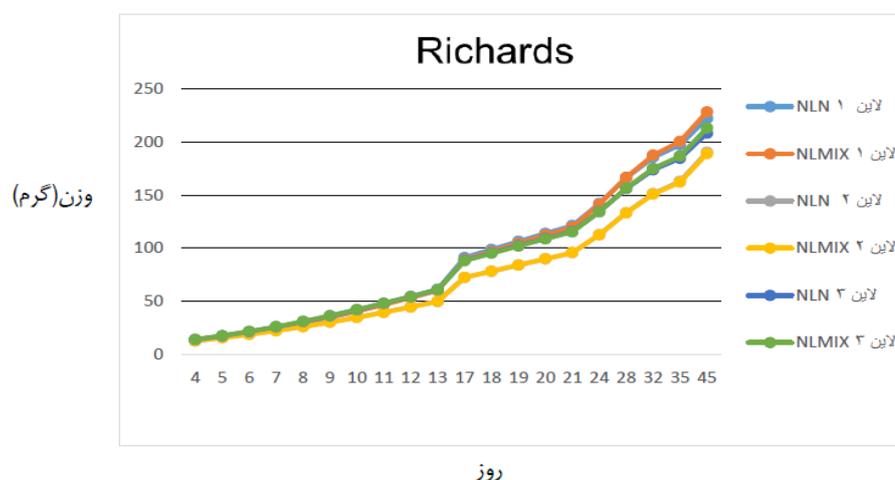
برخی از توابع رشد مثل توابع رشد گمپرتز، لجستیک و لوپز دارای انعطاف پذیری اندکی در توصیف الگوی رشد می‌باشند که دلیل عمده آن وابستگی نقطه عطف منحنی به وزن بلوغ جسمی است. با توجه به اینکه پزندگانی مانند بلدرچین و جوجه گوشتی در طی دوره رشد خود به ندرت به بلوغ جسمی می‌رسند، لذا این امر یکی از نواقص عمده در مدل‌های رشد موصوف می‌باشد (۱۲).

ارزیابی وزن بدن در طی رشد در اصلاح نژاد، مدیریت و اهداف تجاری حائز اهمیت است از طرفی برآوردهای وراثت پذیری پارامترهای منحنی رشد به طور متوسط بالاست (۶). این اطلاعات برای بازاریابی و پیش‌بینی‌های تجاری، دادن اطلاعات در مورد پیش‌بینی‌های تولید، و همچنین برای تعیین سیستم تغذیه مناسب مهم می‌باشد.



شکل ۲- پیش‌بینی وزن بدن بلدرچین توسط مدل لجستیک به صورت غیرخطی و غیرخطی مختلط

Figure 2. Prediction of quail body weight using non-linear and nonlinear mixed logistic models



شکل ۳- پیش بینی وزن بدن بلدرچین توسط مدل ریچارد به صورت غیرخطی و مختلط  
Figure 3. Prediction of quail body weight using non-linear and nonlinear mixed Richard's models

وان برتالانفی، لجستیک و برودی در پیش بینی رشد در مرغان تخم گذار مدل گمپرتز را بهترین مدل با بیشترین دقت و کمترین خطا معرفی کردند.

بریسین و همکاران (۵) بیان کردند که پارامتر شکل (پارامتر  $b_4$ ) در پاسخ به تغییرات محیط و اثر آن بر نرخ رشد تمایل زیادی به تغییر از خود نشان می دهد. فرناندو و همکاران (۷) در بررسی مدل‌های گمپرتز، ریچارد،

#### منابع

1. Aggrey, S.E. 2002 Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science*, 81: 1782-1788.
2. Ahmadi, H. and A. Golian. 2008. Non-linear hyperplastic growth models for describing growth curve in classical strain of broiler chicken. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(11): 1300-1304.
3. Al-murrani, W.K. 1978. Maternal effects on embryonic and post-embryonic growth in poultry. *British Poultry Science*, 19: 277-281.
4. Anthony, N.B., K.E. Nestor and L.W. Bacon. 1986. Growth curve of Japanese quail as modified by divergent selection for 4-week body weight. *Poultry Science*, 65: 1825-1833.
5. Birshin, I.L., G.C. White and P.B. Bush. 1987. A new paradigm for analysis and interpretation of growth data: the shape of things to come. *Auk*, 104: 552-554.
6. Gebhardt-Henrich, S.G. and H.L. Marks. 1993. Heritability of growth curve parameters and age-specific expression of genetic variation under two different feeding regimes of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Genetic Research*, 62: 45-55.
7. Galeano-Vasco, L.F., M.F. Cerón-Muñoz and W. Narváez-Solarte. 2014. Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens. *Breeding, Genetics and Reproduction*, 43(11): 573-578.
8. Mignon-Grasteau, S., C. Beaumont and F.H. Ricard. 1999. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. *British Poultry Science*, 40: 44-51.
9. Narinc, D.E., M. Karaman, F. Ziya and T. Aksoy. 2010. Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. *Journal of Animal Veterinary Advances*, 9(14): 1961-1966.
10. Richkiefs R.E. 1979. Pattern of growth in birds. V. A comparative study of development in the starling, common term, and Japanese quail. *Auk*, 96: 10-30.
11. Schinckel, A.P., J. Ferrell, M.E. Einstein, S.A. Pearce and R.D. Boyd. 2003. Analysis of pig growth from birth to sixty days of age. in *Swine Research Report Pages*, 57-67 p.
12. Tholon P., E.C. Freitas, M.S. Stein and S.A. Queiroz. 2006 Genetic parameters estimates to Gompertz growth curve parameters fitted to partridges raised in captivity. In *Proceedings of 12th International Euro Poultry Conference*, 10-14 Sept 2006, Verona, Italy, 1-4 p.
13. Zelenka, D.J., E.A. Dunnington and P.B. Siegel. 1986. Growth to sexual maturity of dwarf and nondwarf White Rock chickens divergently selected for juvenile body weight. *Theoretical Applied Genetics*, 73: 61-65.

## Fitting Growth Curve in Japanese Quail (*Coturnix Coturnix Japonica*) using Nonlinear and Nonlinear Mixed Models

Seyed Reza Mirai Ashtiani<sup>1</sup>, Maysam Bashiri<sup>2</sup>, Abbas Pakdel<sup>3</sup> and Mohammad Moradi Shahrabak<sup>4</sup>

1- Professor, University of Tehran, (Corresponding author: ashtiani@ut.ac.ir)

2- Graduated MSc. Student , University of Tehran

3- Associate Professor, Isfahan University of Technology

4- Professor, University of Tehran

Received: 15 February, 2016      Accepted: 19 February, 2022

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** The growth models own a very great importance in biological systems. For example, by analyzing the growth curve of ruminant animals and poultries, it is possible to fastener and to manage their rearing, nutritional and behavioral requirements, based on their growth routines and principles. On the other hand, the growth pattern of animals might be used in evaluating their genetic potential for breeding purposes. Thus, to evaluate and describe the growth pattern of Japanese quail, this study aimed to evaluate the capabilities and advantages of non-linear and nonlinear mixed models to describe and evaluate the growth pattern of Japanese quail.

**Material and Methods:** In order to assess and designate the growth pattern of Japanese quail, we used the growth data of three groups; high weight (HW), low weight (LW) and the control lines of Japanese quail. Different models, including logistic, Gompertz and Richard's both non-linear and nonlinear mixed models were fitted to the data. For evaluation of models three criteria including coefficient of determination ( $R^2$ ), mean square error (MSE) and Akaike's information criterion (AIC) were employed as criteria to compare the mentioned six different models.

**Results:** Values of the coefficient of determination ( $R^2$ ), for logistic, Gompertz and Richard's nonlinear models were 0.954, 0.957 and 0.951, mean square error (MSE) for three models were 74.034, 72.560 and 72.730, and Akaike's information criterion (AIC) for the models were 65829, 65307 and 65349, respectively. The results for non-linear mixed models, in the same order mentioned above and for  $R^2$ , MSE and AIC, were 0.976, 0.978 and 0.978; 33.400, 31.658 and 31.849; 61449, 60641 and 60591 respectively.

**Conclusion:** The results showed that nonlinear mixed models had higher accuracy and less mean square error, compared to nonlinear models and Richard's model is more capable (better) to the predict growth pattern of Japanese quail. Also among non-linear models Gompertz model had a better fit to the purpose. In general, it can be said that the parameters determined by the functions inspected in this study, are not much different.

**Keywords:** Gompertz model, Growth curve, Japanese quail, Logistic model, Non-linear mixed models, Richard model