



"مقاله پژوهشی"

مقایسه برخی مدل‌های آماری غیرخطی در توصیف منحنی رشد موغ‌های بومی مازندران

مسیح برارپور^۱، محسن قلیزاده^۲، سید حسن حافظیان^۳ و ایوب فرهادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسؤول: mh_gholizadeh@yahoo.com)

۳- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۹

صفحه: ۱۳۲ تا ۱۳۸

چکیده

منحنی‌های رشد یکی از راه‌های توصیف رشد در یک دوره زمانی خاص هستند و بنابراین استفاده از توابع غیرخطی رشد به منظور اندازه‌گیری و پیش‌بینی وزن در زمان‌های مختلف عمر حیوان و محاسبه سودآوری مفید خواهد بود. منحنی رشد در واقع ارتباط بین سن و وزن را به تعدادی محدود پارامترهای قابل تفسیر خلاصه می‌نمایند. هدف از این پژوهش تعیین بهترین مدل غیرخطی توصیف‌کننده منحنی رشد در مرغ بومی مازندران بود. برای رسیدن به این هدف، از داده‌های وزن بدن در سنین مختلف مرغ بومی (هج، ۸، هفتگی و وزن بلوغ جنسی) مربوط به ۲۱ نسل اول که در مرکز اصلاح نژاد مرغ بومی مازندران جمع‌آوری شده‌اند استفاده شد. مدل‌های غیرخطی گومپرتز، لجستیک، بروودی، ورمالست، ریچاردزو و ن بر تالانفی برای توصیف منحنی رشد مورد آزمون قرار گرفتند. برآش مدل‌های غیرخطی با استفاده از رویه‌ی حداقل مربعات غیرخطی (NLIN) نرم‌افزار SAS انجام شد. به‌منظور تعیین بهترین مدل از ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطأ (RMSE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و معیار اطلاعات بیزی (BIC) استفاده شد. مدل گومپرتز با کمترین مقدار برای آماره‌های AIC، RMSE و BIC به عنوان بهترین مدل توصیف‌کننده منحنی رشد و مدل ریچاردز به عنوان نامناسب ترین مدل توصیف‌کننده رشد در مرغ بومی مازندران بود. همیستگی بین پارامترهای بهترین مدل غیرخطی (گومپرائز) نشان داد که همیستگی بین پارامتر a و b ثابت (۷۲ درصد) و همیستگی بین a و k منفی (۸۶ درصد) و همیستگی بین پارامترهای b و k منفی (۹۵ درصد) برآورد شد. مقدار ضریب تبیین و ضریب تبیین استاندارد شده برای توابع مختلف مورد بررسی بین ۰/۹۳ تا ۰/۹۲ متغیر بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که مدل گومپرائز بهترینتابع توصیف کننده منحنی رشد در مرغ بومی مازندران است که می‌تواند برای پیش‌بینی وزن آینده پرنده‌ها و مدیریت گله مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مرغ بومی، مدل‌های غیرخطی، منحنی رشد، وزن بدن

مقدمه

حیوان را توصیف می‌نمایند که شامل وزن بلوغ و نرخ بلوغ در برابر وزن زنده در زمان مشخص هستند. توابع رشد شامل توابع رشد گومپرائز، بروودی، لجستیک، وانبرتالانفی^۴ و نمایی منفی^۵ به طور گسترده در گونه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۲۶، ۲۴، ۱۶). برخی مطالعات نشان داده است که تابع رشد گومپرائز بهتر از دیگر توابع رشد برای مدل‌سازی و پیش‌بینی فوتیپ آینده وزن زنده حیوان عمل می‌کند (۸، ۳۱). استرada و همکاران (۱۱) مدل‌های غیرخطی رشد مختلف شامل گومپرائز-لایرد، ریچاردز و ونبرتالانفی را برای شناسایی بهترین مدل توصیف کننده رشد در جوجه‌های نژاد Creole مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل غیرخطی و دبرتالانفی بهترین مدل برای توصیف منحنی رشد در این نژاد است. همچنین مدل‌های گومپرائز و لجستیک وزن هج را بیش برآورد و وزن نهایی را کم برآورده کردند. فرجی آروق و همکاران (۱۲) مدل‌های منحنی رشد غیرخطی شامل گومپرائز، ریچاردز، لوپز، لچستیک و وانبرتالانفی را برای توصیف منحنی رشد در مرغ بومی خزک سیستان مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس معیار نکوئی برآش، مدل لوپز به عنوان بهترین مدل توصیف کننده منحنی رشد مرغ بومی خزک انتخاب شد. مانجولا و همکاران (۱۴) پارامترهای ژنتیکی وزن‌گیری و پارامترهای منحنی رشد را در مرغ بومی کره برآورد نمودند.

مرغ‌های بومی کشور، از لحاظ حفظ ذخایر ژنتیکی منابع عظیم و ارزشمند ژنی محسوب می‌شوند و به عنوان تامین کننده بخشی از اقتصاد روسایی مورد توجه قرار می‌گیرند. صفات رشد یکی از مهم‌ترین صفات اقتصادی در حیوانات اهلی، تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی هستند (۳۵). نرخ رشد، یا چگونگی تغییرات وزن بدن در مراحل مختلف، به عنوان یک صفت مهم در اصلاح نژاد در نظر گرفته می‌شود که می‌توان آن را به کمک یک تابع غیرخطی توصیف نمود. هر چند میزان رشد در بین دام‌ها متفاوت است با استفاده از حل این معادلات توصیف مطلوبی از میزان رشد در جمعیت دام‌ها بر اساس سن به دست می‌آید (۳).

منحنی‌های رشد یکی از راه‌های توصیف رشد در یک دوره‌ی زمانی خاص هستند و بنابراین استفاده از توابع غیرخطی رشد به منظور اندازه‌گیری و پیش‌بینی وزن در زمان‌های مختلف عمر حیوان و محاسبه سودآوری مفید خواهد بود. بنابراین پیش‌بینی بروفالی رشدی انفرادی و گروهی در هر دو سطح فنوتیپی و ژنتیکی به گستره‌های مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۱، ۲۲، ۳۳). معادلات ریاضی که توابع رشد نامیده می‌شوند توانایی این را دارند که رابطه سن و وزن را به تعدادی محدود پارامترهای ریاضی قابل تفسیر خلاصه نمایند (۱۵). این پارامترها پتانسیل رشدی یک

نوصیف نمایند (۳۵). بنابراین با توجه به اهمیت مدل‌های غیر خطی به عنوان توصیف کننده رشد و پیش‌بینی وزن بدن در سن، خاص، هدف از مطالعه حاضر مقایسه برخ، مدل‌های رشد غیرخطی در توصیف منحنی رشد مرغ‌های بومی مازندران بود.

مواد و روش‌ها

داده‌های مربوط به وزن بدن در سنین تولد (هج)، ۸ هفتگی، ۱۲ هفتگی و سن بلوغ جنسی مرغ بومی مازندران که در طی ۲۱ نسل از مرکز اصلاح نژاد مرغ بومی مازندران جمع‌آوری شده اند و داده‌ها در اکسل وارد و ویرایش شدند. داده‌های پرت بر اساس میانگین و انحراف معیار شناسایی شدند و داده‌های بالاتر و پایین‌تر از ۳ انحراف معیار از میانگین به عنوان داده‌های پرت شناسایی و حذف شدند. شجره برای جمعیت مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار CFC (۱۹) مورد پردازش قرار گرفت. فرم‌های ریاضی توابع غیر خطی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

فرجی آروق و همکارن (۱۳)، فراسنجه‌های ژنتیکی و مؤلفه‌های (کو) واریانس منحنی رشد را در یک جمعیت آمیخته بدلرچین ژانپی با استفاده از منحنی رشد گمپرتر برازش و فراسنجه‌های منحنی را برآورد کردند. توارث پذیری پارامترهای منحنی رشد شامل وزن بلوغ وزن هج، شاخص بلوغ، وزن و سن در نقطه عطف، به ترتیب برابر با ۰/۳۳۵، ۰/۲۶۹، ۰/۲۷۳ و ۰/۲۹۱ و ۰/۳۹۷ برابر شد. همبستگی ژنتیکی وزن هج با شاخص بلوغ و وزن بلوغ مثبت برآورد شد (۰/۰۴ و ۰/۰۷)، اما همبستگی ژنتیکی وزن هج با سن و وزن در نقطه عطف منفی (۰/۰۴ و -۰/۱۲) برآورد شد. توابع رشد دارای سه پارامتر (توابع لجستیک، بروودی و وانبرتالانفی) یا دو پارامتر (تابع رشد نمایی منفی) هستند که به لحاظ بیولوژی قابل تفسیر بوده و به توارث می‌رسند (۱۸، ۲۰) و بنابراین با انتخاب ژنتیکی این پارامترها را می‌توان بهبود داد و یک منحنی رشد ایده‌آل را از طریق انتخاب برای مقادیر مطلوب پارامترهای منحنی رشد به دست آورد (۱۳). از آنجائی که رشد، فرم سیگموئیدی دارد این توابع غیرخطی این پتانسیل را دارند که بهتر از مدل‌های خطی رشد را

جدول ۱- مدل‌های آماری مورد استفاده برای توصیف منحنی رشد مرغ بومی مازندران

Table 1. Statistical models used to describe the growth curve of Mazandaran native chickens

فرم‌های ریاضی	معادله	رفرنس
برودی	$y = A(1 - Be^{-Kt})$	(۵)
لجستیک	$y = \frac{A}{1 + Be^{kt}}$	(۲۵)
گمپرتر	$y = Ae^{Be^{-kt}}$	(۱۹)
ون برالتالنی	$y = A(1 - Be^{-Kt})^3$	(۳۷)
ورهالست	$y = a/(1+b*\exp(-k*t))$	(۳۶)
ریچاردز	$y = a*((1-b*\exp(-k*t)))^{**-m}$	(۲۹)
نمایی منفی	$y = A - (Ae^{-Kt})$	(۷)

(۲) ضریب تبیین تصحیح شده

$$R_{Adj}^2 = 1 - \left[\left(\frac{n-1}{n-p} \right) * (1 - R_{model}^2) \right]$$

(۳) معیار اطلاعات آکائیک

$$(۲) AIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2p$$

(۴) معیار اطلاعات بیزی

$$(۳۱) BIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + p \cdot \ln(n)$$

(۵) خطای جذر میانگین مربعات

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}}$$

مقدار RMSE یکی از مهمترین معیارهای بررسی مدل و انتخاب بهترین مدل است و بهترین مدل، مدلی است که کمترین RMSE را دارا باشد. همچنین مدلی با AIC و BIC کمتر، بهترین مدل خواهد بود.

که، y: نشان‌دهنده وزن بدن در سن t؛ A: وزن مجانبی که به صورت وزن بلوغ تفسیر می‌شود، B: نسبت وزن بلوغ به وزن هج بر پایه لگاریتم و k: ضریب ثابتی است که نرخ بالغ شدن ناممده می‌شود و تابعی از نسبت حداکثر نرخ رشد به وزن بلوغ مجانبی (گرم/روز به گرم وزن بلوغ) است. مقادیر بزرگ k نشان‌دهنده بلوغ زود هنگام فرد است و بالعکس. هر یک از مدل‌ها با استفاده از روش NLIN در نرم‌افزار SAS (SAS 2011) اجرا شدند. آزمون نیکوئی برازش با استفاده از شاخص‌های زیر بررسی شد:

(۱)

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SSE}{SST} \right)$$

ضریب تبیین

که در آن، SSE جمع مربعات خطای SST جمع مربعات کل، n شمار مشاهدات و p تعداد پارامترهای مدل است. مقدار R² بین صفر و یک تغییر می‌کند و برازش یک مدل اگر مقدار R² به یک نزدیک باشد مطلوب خواهد بود.

1- Determination coefficient

4- Root mean square error

2- Akaike's information criterion

3- Bayesian information criterion

آنالیز ساختار شجره‌ی مرغان بومی استان مازندران برای آنالیز

این تحقیق در جدول ۲ نشان داده شده است

نتایج و بحث
 این پژوهش به منظور انتخاب بهترین مدل غیرخطی
 توصیف کننده منحنی رشد در مرغ بومی مازندران انجام شد.

جدول ۲- شجره داده‌های مورد استفاده در مرغ بومی مازندران

Table 2. Pedigree structure for data used in Mazandaran native chickens

تعداد کل پرندگان	۸۰۹۲۴
تعداد افراد معمون	۲۰۴۰۸
تعداد پدران	۱۸۹۶
تعداد مادران	۱۳۰۱۸
تعداد فاندرها	۳۲۹۲

آماره‌های توصیفی مربوط به صفات مورد مطالعه در مرغ بومی
 مازندران در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- آماره‌های توصیفی مربوط به صفات مورد مطالعه در مرغ بومی مازندران

Table 3. Statistical description of traits studied in Mazandaran Native chickens

	وزن هج	وزن هفتگی	وزن ۱۲ هفتگی	وزن در بلوغ جنسی
تعداد	۱۶۵۹۴	۱۶۵۹۴	۱۶۵۹۴	۱۶۵۹۴
میانگین (گرم)	۳۶/۲۸۲	۵۵۶/۷۹	۹۲۹/۰۸۳	۱۷۴۸/۴۵۳
انحراف معیار(گرم)	۳/۲۸	۱۴۱/۴۶	۲۰/۱۱	۲۱۷/۱۶۶
ضریب تعییرات	.۰/۰۹	.۰/۲۵	.۰/۳۱۶	.۰/۱۲۴
حداکثر(گرم)	۸۴/۲۰۰	۱۱۰	۱۷۰	۲۵۰
حداقل(گرم)	۲۵	۲۰	۳۲	۹۸

مقادیر برآورده شده فراسنجه‌های توابع غیرخطی در جدول ۴
 آمده است.

جدول ۴- مقادیر برآورده شده متغیرهای توابع غیرخطی در مرغ بومی مازندران

Table 4. Estimated values for variables of non-linear functions in Mazandaran native chickens

توابع	پارامتر	مقدار برآورده شده	خطای استاندارد	حدود اطمینان ۹۵ درصد
برودی	A	۱.۰۷۷	۱/۶۲۳	۱.۰۷۴ - ۱.۰۸۱
گومپرتز	B	۱/۶۴۹	.۰/۰۰۴	۱/۶۳۹ - ۱/۶۵۷۱
لجنستیک	K	.۰/۵۳۴	.۰/۰۰۱	.۰/۵۲۹ - .۰/۵۴۰
ون برتالنی	A	۲۰۰۹	۳/۱۱	۲۰۰۳ - ۲۰۰۱۵
ورهالست	B	-۴/۴۵	.۰/۰۲۱	۴/۴۹۶ - -۴/۴۱۲۶
ریچاردز	K	.۰/۰۲۳	.۰/۰۰۱	.۰/۰۲۱۹ - .۰/۰۲۱
	A	۱۸۴۵/۲	۱/۶۷۷۵	۱۸۴۱/۹ - ۱۸۴۸/۵
	B	۲۲/۵۳	.۰/۱۶۸۹	۲۲/۳۱ - ۲۲/۹۷
	K	-۰/۰۳۸۵	.۰/۰۰۱	- .۰/۰۳۸ - .۰/۰۳۸
	A	۲۰۷۰/۶	۴/۱۵۶۰	۲۰۶۲/۵ - ۲۰۷۸/۸
	B	۱/۰۰۳۰	.۰/۰۰۴۹	.۰/۹۹۳۰ - .۰/۰۱۲
	K	.۰/۰۱۸۱	.۰/۰۰۱	.۰/۰۱۸ - .۰/۰۱۸
	A	۱۸۴۵/۲	۱/۶۷۸	۱۸۴۱/۹ - ۱۸۴۸/۵
	B	۲۲/۵۴	.۰/۱۶۸	۲۲/۳۰ - ۲۲/۹۶
	K	.۰/۰۳۸۵	.۰/۰۰۱	.۰/۰۳۸ - .۰/۰۳۸
	A	۱۸۸۱	۳۰/۳۸	۱۸۲۱/۵ - ۱۹۴۰/۶
	B	.۰/۰۰۰۴	.۰/۱۲۶	- .۰/۲۴۵۷ - .۰/۲۴۷
	K	.۰/۱۱۸	.۰/۰۰۰۶	.۰/۰۱۱ - .۰/۰۱۳
	m	-۴۰۱۷/۲	۱۱۴۳۱۹۸	۲۲۴۴۶۷۱ - ۲۲۳۶۶۳۶

A وزن مجازی که به صورت وزن بلوغ تقسیر می‌شود، B نسبتی از وزن بلوغ که در تولد کرفته شود (نسبت وزن بلوغ به وزن هج بر پایه لگاریتم) و k ضریب ثابتی است
 که نرخ بالغ شدن نامیده می‌شود و تابعی از نسبت حداکثر نرخ رشد به وزن بلوغ مجازی (گرم/روز به گرم وزن بلوغ)

آماره‌های مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۵ آمده است.

نتایج نیکوئی برازش برای مدل‌های مختلف رشد با استفاده از چندین روش از جمله AIC، RMSE، MSE، BIC بررسی شد

جدول ۵- شاخص‌های انتخاب مناسب‌ترین مدل غیرخطی برای توصیف الگوی رشد مرغ بومی مازندران

	MSE	RMSE	AIC	R ²	R ² adjusted	BIC
ریچاردز	۳۵۲۱۴/۷۷	۱۸۷/۶۶	۱۰۶۵۴۷۶/۵۵	.۹/۹۲	.۹/۹۲	۱۰۶۵۵۰۵/۱۵
ورهالست	۲۹۷۶۱/۷۹	۱۷۲/۵۲	۱۰۴۸۳۵۴/۴۰	.۹/۹۳	.۹/۹۳	۱۰۴۸۳۸۲/۹۹
ون برتابانی	۳۰۷۴۲/۷۱	۱۷۵/۳۴	۱۰۵۱۶۵۴/۶۲	.۹/۹۳	.۹/۹۳	۱۰۵۱۶۸۳/۲۱
گومپرتر	۲۹۶۴۱/۰۴	۱۷۲/۱۷	۱۰۴۷۹۴۰/۶۵	.۹/۹۳	.۹/۹۳	۱۰۴۷۹۶۹/۲۴
لوجستیک	۲۹۷۶۱/۷۸	۱۷۲/۵۲	۱۰۴۸۱۵۴/۳۵	.۹/۹۳	.۹/۹۳	۱۰۴۸۳۸۲/۹۴

R²: ضریب تبیین مربوطات خط، adj-R²: ضریب تبیین تصحیح شده، AIC: ضریب آکائیک، MSE: میانگین مربعات خط

همکاران (۱۱) و بزرگتر از مقادیر گزارش شده توسط فرجی آروق و همکاران (۹) بود. مقادیر بالاتر ضریب تبیین در مطالعات متعددی گزارش شده است (۲۱). مقادیر برآورده شده فراسنجه‌های توابع غیرخطی نشان داد که مقدار پارامتر A (که نشان‌دهنده وزن مجانبی است و می‌توان آن را به صورت وزن بلوغ پرنده تفسیر کرد) بر اساس بهترین مدل (گومپرتر) ۲۰۰۹ گرم برآورده شد که بالاتر از مقادیر وزن بلوغ برآورده شده توسط فرجی آروق و همکاران (۸) در مرغ بومی خزک و پایین‌تر از مقدار برآورده شده توسط مانجولا و همکاران (۲۱) در مرغ بومی کره است. در مطالعه حاضر، همچنین مقدار A برای مرغ بومی در مدل ورهالست بالاترین (۲۲/۶۸) و در مدل ریچاردز کمترین (۰/۰۱۱) مقدار خود را نشان داد. مقادیر بیشتر A نشان می‌دهد که پرنده‌ها در بلوغ سنگین‌تر هستند و می‌توان نتیجه گرفت که رشد آهسته‌تری دارند چرا که در مقایسه با دیگر پرنده‌ها زمان بیشتری نیاز است تا به بلوغ برسند. تعریف یک وزن بزرگسالی بهینه ساده نیست، چرا که به گونه، نژاد، روش انتخاب، سیستم مدیریت و شرایط محیطی بستگی دارد. اندازه A معمولاً نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود که بافت ماهیچه‌ای از نظر ساختار و تجمع سلولی در نقطه حداقل خود باشد (۲۷). پارامتر نرخ بلوغ (K) نشان‌دهنده سن حیوان در زمان بلوغ می‌باشد و هرچه میزان پارامتر نرخ بلوغ بیشتر شود، حیوان وزن بلوغ جسمی خود را در سن پایین‌تری بدست خواهد آورد. با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش، کمترین مقدار این پارامتر مربوط به مدل برودبودی (۰/۰۰۸) و بیشترین مقدار آن مربوط به مدل لجستیک (۰/۰۲۴) بود. پارامتر K یک برآورده مهم در منحنی رشد محسوب می‌شود چرا که سرعت رشد برای رسیدن به وزن اولیه کمتر بلوغ زودرس نشان می‌دهند. پرنده‌هایی با مقادیر K بزرگ‌تر، نسبت به پرنده‌هایی با مقدار کمتر برای این پارامتر با وزن اولیه کمتر بلوغ زودرس نشان می‌دهند. برآورده پارامتر K در مرغ بومی مازندران کمتر از مرغ بومی کره در تحقیق مانجولا و همکاران (۲۱) بود. تفاوت در مقادیر این پارامترها می‌تواند به دلیل بازه‌های اندازه گیری رکوردها و مدل غیرخطی مورد استفاده باشد.

همبستگی بین پارامترهای به دست آمده با استفاده از بهترین مدل غیرخطی (گومپرتر) محاسبه شد. همبستگی بین پارامتر a و b مثبت (۷۲ درصد) و همبستگی بین a و k منفی (۸۶ درصد) برآورده شد. همچنانی همبستگی بین پارامترهای b و k بود. این مقادیر مشابه مقادیر گزارش شده توسط استرادا و

همانطور که مشاهده می‌شود مدل گومپرتر با کمترین مقدار برای آماره‌های MSE، RMSE و BIC و AIC به عنوان بهترین مدل توصیف کننده منحنی رشد در مرغ بومی مازندران می‌باشد. به همین ترتیب بر اساس آماره‌های به دست آمده، مدل ریچاردز به عنوان نامناسب‌ترین مدل توصیف کننده منحنی رشد در مرغ بومی مازندران معرفی می‌شود. مدل برودبودی نیز برای داده‌های مرغ بومی مازندران به همگرایی نرسید.

مطالعات متعددی نشان داده است که مدل گومپرتر برای پیش‌بینی وزن زنده آینده حیوان نسبت به مدل‌های دیگری برتری دارد (۳۱،۸).تابع گومپرتر سه پارامتر دارد که به لحاظ زیستی قابل تفسیر و قابل توارث شناخته شده‌اند (۰/۱۸،۰/۲۰) و بنابراین می‌توانند با انتخاب ژنتیکی بهبود یابند. موافق با نتایج این تحقیق، ابراهیمی و همکاران (۱۰) که منحنی رشد ترکیبی چهار سویه مختلف بلدرچین ژاپنی در یک سیستم تلاقی دی‌آل جزئی را مورد مطالعه قرار دادند، تابع رشد گمپرتر را به عنوان مناسب‌ترین تابع معرفی کردند. استرادا و همکاران (۱۱) مدل غیرخطی وابیربرتابانی را به عنوان بهترین مدل برای توصیف منحنی رشد در در جوجه‌های نژاد Creole معروفی کردند. فرجی آروق و همکاران (۱۲) مدل لویز را به عنوان بهترین مدل توصیف کننده منحنی رشد مرغ بومی خزک انتخاب معرفی کردند. رحیم‌زاده (۲۸) تابع ناروشین تاکما دو را به عنوان مناسب‌ترین مدل توصیف کننده منحنی تولید تخم در طول ۱۳ هفته در بلدرچین ژاپنی را برازش نمود. کاپلان و گوران (۱۷) مدل ریچاردز را به عنوان بهترین مدل توصیف کننده رشد در بلدرچین ژاپنی در هر دو جنس نر و ماده معرفی کردند. تابع رشد غیرخطی متعددی برای توصیف منحنی رشد در گونه‌ها و نژادهای مختلف طیور بررسی شده‌اند که نتایج مختلفی به همراه داشته‌اند. بنابراین ضروری است که توابع رشد برای هر جمعیت و گونه و نژاد به صورت مجزا مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت ساختار ژنتیکی جمیعت‌های مختلف و تفاوت در ساختار مدیریتی و محیط پرورشی باشد.

مقدار ضریب تبیین و ضریب تبیین استاندارد شده برای توابع مختلف مورد بررسی که نشان‌دهنده مقدار تغییرات میانگین اطراف خط رگرسیون است و نشان‌دهنده مناسب بودن برازش مدل رگرسیونی است بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۳ متفاوت بود. این مقادیر مشابه مقادیر گزارش شده توسط استرادا و

ون بر تالانفی (۰/۵۲) و بیشترین مقدار آن مربوط به مدل لجستیک (۶/۴۴) بود.

همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی وزن در سنین مختلف با استفاده از توابع مختلف و همین طور همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توابع غیر خطی مختلف در جدول ۶ آمده است.

منفی (۹۵ درصد) برآورد شد. مهم‌ترین همبستگی بیولوژیکی برای یک منحنی رشد بین پارامترهای A و K برقرار است. بر اساس بهترین مدل به دست آمده در این مطالعه، همبستگی منفی بین این دو پارامتر در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که پرندۀ‌هایی با بلوغ زودتر بعید است که وزن بلوغ بیشتری داشته باشند (۹). پارامتر B نشان‌دهنده نرخ رشد از تولد تا بلوغ دام است کمترین مقدار پارامتر B مربوط به مدل

جدول ۶- همبستگی بین مقادیر مشاهده شده وزن بدن در سنین مختلف و مقادیر پیش‌بینی آن‌ها با استفاده از توابع مختلف

Table 6. Correlation between observed body weights in different ages and their expected values obtained using different functions

	مشاهده شده	مشاهده شده	لوجستیک	گومپرتر	ون بر تالانفی	ورهالست	ریچاردز
مشاهده شده	۱						
لوجستیک	.۹۶۴	۱					
گومپرتر	.۹۵۷	.۹۹۸	۱				
ون بر تالانفی	.۹۶۲	.۹۹۸	.۹۹۶	۱			
ورهالست	.۹۴	.۹۹۸	.۹۹۸	.۹۹۸	۱		
ریچاردز	.۹۵۷	.۹۹۸	.۹۹۵	.۹۹۶	.۹۹۸	۱	

کردند که همبستگی بین مقادیر واقعی تولید تخم و مقادیر پیش‌بینی شده همه توابع به استثنای تابع جزء به جزء، بالاتر از ۰/۹ است و مقدار همبستگی برای توابع ناروشین تاکما دو و لجستیک بالاتر از ۰/۹۵ بود. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده توسط تابع جز به جز دارای صحت و دقت پایینی است. به طور کلی نتایج نشان داد که بر اساس معیارهای نکوئی برازش مدل غیرخطی گومپرتر می‌تواند به عنوان مدل مناسب برای توصیف منحنی رشد در مرغ بومی مازندران به کار گرفته شود.

تشکر و قدردانی

از مدیریت و کارکنان مرکز اصلاح نژاد مرغ بومی کشور برای جمع اوری داده‌ها سپاسگزاری می‌نماییم.

بیشترین و کمترین همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های پیش‌بینی شده، به ترتیب با استفاده از توابع غیر خطی گومپرتر (۹۵/۷ درصد) و ریچاردز (۹۶/۴ درصد) به دست آمد. همبستگی بین مقادیر واقعی وزن در سنین مختلف و مقادیر پیش‌بینی شده همه توابع بالاتر از ۰/۹۵ بود که نشان می‌دهد این توابع از قدرت خوبی برای پیش‌بینی داده‌های وزنی برای رکوردهای آینده برخوردار هستند. در میان این توابع، تابع گومپرتر دارای بیشترین همبستگی بود که نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده توسط این تابع دارای صحت بالایی می‌باشند که نتایج بخش نکوئی برازش را تأیید می‌کند. همچنین در میان این توابع، تابع ریچاردز دارای کمترین همبستگی محاسبه شد که نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده توسط این تابع دارای صحت و دقت پایینی نسبت به دیگر توابع مورد بررسی می‌باشد. رحیم‌زاده و همکاران (۲۸) گزارش

منابع

1. Abegaz, S., J.B. Van Wyk and J.J. Olivier. 2010. Estimation of genetic and phenotypic parameters of growth curve and their relationship with early growth and productivity in Horro sheep. *Archive Tierzocht*, 53: 85-94.
2. Akaike, H. 1977. On entropy maximization principle. In: Krishnaiah, P.R. (Editor). *Applications of Statistics*, North-Holland, Amsterdam, pp: 27-41.
3. Arango, J.A. and L.D. Van Vleck. 2002. Size of beef cows; early ideas new developments. *Genetic and Molecular Research*, 1: 51-63.
4. Bathaei, S.S. and P.L. Leroy. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*, 29: 261-269.
5. Brody, S., 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing Corp., New York, NY.
6. Brown, J.E., H.A. Fitzhugh and T.C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*, 42: 810-818.
7. Bruce-Clarke, A. and L. Ralph. 1970. *Probability and Random Processes for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, Inc., New York (USA),
8. Coyne, J.M., D.P. Berry, E.A. Mcantsaari, J. Juga and N. McHugh. 2015. Comparison of fixed effects and mixed model growth functions in modelling and predicting live weight in pigs. *Livestock Science*, 177: 8-14.
9. Da Silva, L.S.A., A.B. Fraga, F.D.L. da Silva, P.M. Guimarães Beelen, R.M. de Oliveira Silva, H. Tonhati and C.D.C. Barros. 2012. Growth curve in Santa Inês sheep. *Small Ruminant Research*, 105: 182-185.
10. Ebrahimi, K., G.R. Dashab, H. Faraji and M. Rokouei. 2018. Growth Curves Fitting in Japanese Quail Di-Allele Crosses and Comparison of Growth Patterns of Crossbreds. *Research of Animal Production*, 9: 110-122 (In Persian).

11. Estrada, M., F. González-Cerón, Pro-Martínez, A. Glafiro and J. Bautista-Ortega. 2020. Comparison of four nonlinear growth models in Creole chickens of Mexico, *Poultry Science*, 99: 1995-2000,
12. Faraji-Arough, H., M. Rokouei, A. Maghsoudi and M. Mehri. 2019. Evaluation of Non- linear Growth Curves Models for Native Slow-growing Khazak Chickens. *Poultry Science*, 7: 25-32.
13. Faraji-Arough, H., M. Rokouei, K. Ebrahimi, G.R. Dashab. Estimation of (co)Variance components of growth curve parameters in Japanese quail 2018. *Iranian Journal of Animal Science*, 49: 237-246 (In Persian).
14. Gideon Schwarz, E. 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6: 461-464.
15. Goonewardene, L.A., R.T. Berg and R.T. Hardin. 1981. A growth study of beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 61: 1041-1048.
16. Hosseinpour-Mashhadi, M., M. Elahi-Torshizi and S. Ehtesham-Gharaee. 2017. Description of Growth Curve in Male and Female Lambs of Baluchi Breed by Application of Nonlinear Growth Models. *Research on Animal Production*, 8: 155-160 (In Persian).
17. Kaplan, S. and E.K. Gürcan. 2018. Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail, *Journal of Applied Animal Research*, 46: 112-117.
18. Koivula, M., M.L. Sevon-Aimonen, I. Strandén, K. Matilainen, T.K.J. Serenius, Stalder and E.A. Mantysaari. 2008. Genetic (co)variances and breeding value estimation of Gompertz growth curve parameters in Finnish Yorkshire boars, gilts and barrows. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 125: 168-175.
19. Laird, A.K. 1965. Dynamics of relative growth. *Growth*, 29: 249-263.
20. Lewis, R.M., G.C. Emmans and G. Simm. 2002. A description of the growth of sheep and its genetic analysis. *Animal Science*, 74: 51-52.
21. Manjula, P., H.B. Park, D. Seo, N. Choi, S. Jin, S.J. Ahn, K.N. Heo, B.S. Kang and J.H. Lee. 2018. Estimation of heritability and genetic correlation of body weight gain and growth curve parameters in Korean native chicken. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 31: 26-31.
22. McHugh, N., R.D. Evans, A.G. Fahey and D.P. Berry. 2012. Animal muscularity and size are genetically correlated with animal live-weight and price. *Livestock Science*, 144: 11-19.
23. Meyer, K. 2005. Estimates of genetic covariance functions for growth of Angus cattle. *Livestock Science*, 122: 73-85.
24. Mirhoseini, S.Z., N.G. Hossein-Zadeh and F. Hadinezhad. 2018. Comparison of Non-Liner Growth Models to Describe the Growth Curve from Birth to Yearling in Markhoz Goat. *Research on Animal Production*, 8: 131-138 (In Persian).
25. Nelder, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17: 89-110.
26. Nezhadali, M., S. Alijani and A. javanmard. 2020. Comparison of Non-Linear Models to Describe of Growth Pattern in Makue Sheep. *Research on Animal Production*, 11: 88-94 (In Persian).
27. Owens, F.N. and P. Dubeski. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, 71: 3138-3350.
28. Rahimzadeh, R., M. Rokouei, H. Faraji-Arough, A. Maghsoudi and B. Keshtegar. 2017. Short- term egg production curve fitting using nonlinear models in Japanese quail. *Animal Production*, 19: 299-310 (In Persian).
29. Richards, F.J. 1959. A flexible growth functions for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10: 290-300.
30. Sargolzaei, M., H. Iwaisaki and J.J. Colleau. 2006. CFC: a tool for monitoring genetic diversity. In Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13 – 18 August, 2006. pp: 27- 28.
31. Schwarz, G.E. 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6: 461-464.
32. Sevon-Aimonen, M.L. 2001. The parameters of growth curve and composition of growth for Finnish pigs. In: Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Budapest, Hungary, 26–29 August 2001. Copyright EAAP, Budapest, Hungary.
33. Sowande, O. and O Sobola. 2008. Body measurements of west African dwarf sheep as parameters for estimation of live-weight. *Tropical Animal Health and Production*, 40: 433-439.
34. Tariq, M., F. Iqbal, E. Eydurhan, M.A. Bajwa, Z.E. Huma and A. Waheed. 2013. Comparison of non-linear functions to describe the growth in Mengali sheep breed of Balochistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 45: 661-665.
35. Tariq, M.M., M.A. Bajwa, A. Waheed, E. Eydurhan, F. Abbas, F. A. Bokhari and A. Akbar. 2011. Growth curve in Mengali sheep breed of Balochistan. *Journal of Animal and Plant Science*, 21: 5-7.
36. Verhulst, P.F. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique*, 10: 113-121
37. Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology*, 32: 217-231.

Comparison of some Non-Linear Statistical Models to Describe the Growth Curve of Mazandaran Native Chickens

Masih Bararpour¹, Mohsen Gholizadeh², Hasan Hafezian³ and Ayoub Farhadi³

1- M.Sc. Student, Department of Animal Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Animal Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: mh_gholizadeh@yahoo.com)

3- Associate Professor, Department of Animal Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: January 1, 2021

Accepted: March 9, 2021

Abstract

Growth curves are an approach to describe the growth over a specific period of time, so it would be useful to use nonlinear growth functions to measure and predict weight at different times of an animal's life and calculate production profitability. Growth curves actually summarize the relationship between age and weight into a limited number of interpretable parameters. The aim of this study was to determine the best nonlinear model describing the growth curve in Mazandaran native chickens. To achieve this goal, body weight data on different ages of native chickens (hatch, 8 weeks, 12 weeks and sexual maturity) for the first 21 generations collected at the Mazandaran Indigenous Breeding Center were used. Nonlinear models of Gompertz, logistics; Brody, Verhulst, Richards and VonBertalanffy were tested to describe the growth curve. Fitting of nonlinear models was performed using nonlinear least squares (NLIN) procedure of SAS software. To determine the most appropriate growth function and comparison between models, the coefficient of explanation (R^2), corrected coefficient of explanation, Bayesian information criterion (BIC), Akaike information criterion (AIC) and root mean square error (RMSE) were used. Gompertz model with the lowest values for MSE, RMSE, AIC and BIC statistics was detected as the best model describing growth curve and Richards's model as the most inappropriate model describing growth in Mazandaran native chicken. Correlation between parameters obtained using the best nonlinear model (Gompertz) showed that the correlation between parameter a and b was positive (72%) and the correlation between a and k was negative (86%). Also correlation between parameters b and k was negative (95%). The value of coefficient of explanation and adjusted coefficient of explanation for different functions varied between 0.92 to 0.93. In general, the results showed that the Gompertz model was the best function describing the growth curve in Mazandaran native chickens that could be used in herd management to predict the future weight of birds.

Keywords: Growth, Native chicken, Nonlinear model, Prediction