



تولیات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۸۷۷-۸۸۸

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

عباس مسعودی^۱، آرش آذفر^{۲*}، حشمت‌اله خسروی‌نیا^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۳. استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۶

چکیده

در این آزمایش، فراسنجه‌های رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج برآورد شد و وزن نهایی این جوجه‌ها با استفاده از مدل‌های غیرخطی، تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. تیمارها شامل تیمار شاهد و تیمارهای حاوی ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد پوسته برنج بود. نتایج نشان داد که وزن نهایی پیش‌بینی شده توسط تمامی مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در جوجه‌های تیمار شاهد بالاتر از جوجه‌های سایر تیمارها بود ($P < 0/05$)، ولی تفاوتی در وزن نهایی پیش‌بینی شده در میان جوجه‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پوسته برنج مشاهده نشد. زمان نقطه عطف منحنی رشد در جوجه‌های گروه شاهد پایین‌تر از جوجه‌های سایر تیمارها بود ($P < 0/05$)، ولی افزایش سطح پوسته برنج در جیره تأثیر معنی‌داری بر این فراسنجه نداشت. بیشترین و کمترین وزن محاسبه شده در نقطه عطف منحنی رشد به ترتیب مربوط به جوجه‌های تغذیه شده با جیره شاهد و جیره حاوی پنج درصد پوسته برنج بود ($P > 0/05$). تغذیه جوجه‌ها با جیره‌های حاوی پوسته برنج شاخص **b** مدل تابعیت اسپلاین را در مقایسه با گروه شاهد کاهش داد ($P < 0/05$)، درحالی‌که شاخص **c** صرفاً در جوجه‌های تغذیه شده با جیره حاوی ۷/۵ درصد پوسته برنج پایین‌تر از گروه شاهد بود ($P < 0/05$). براساس نتایج حاصل، تابعیت اسپلاین برای پیش‌بینی وزن جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده پوسته برنج در سن ۴۲ روزگی کارایی بیشتری از مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی دارد.

کلیدواژه‌ها: پوسته برنج، پیش‌بینی نرخ رشد، جوجه گوشتی، کارایی مدل، وزن نهایی

مقدمه

طی چند دهه گذشته غلظت مواد مغذی، ترکیب و شکل خوراک‌های مورد استفاده در تغذیه طیور با هدف بهبود مصرف خوراک و افزایش بهره‌وری خوراک تغییر کرده است [۱۶]. افزایش غلظت مواد مغذی و قابلیت هضم مواد تشکیل‌دهنده خوراک همراه با کاهش اندازه خوراک جهت بهبود کیفیت پلت از جمله برخی از این تغییرات می‌باشند. انجام این تغییرات در خوراک سبب کاهش فیبر خام جیره و تغییر در ساختار کلی خوراک شده است که به صورت منفی بر توسعه و عملکرد اندام‌های گوارشی از جمله سنگدان اثر می‌گذارد [۲۴]. فیبر خوراک به عنوان یک عامل رقیق‌کننده جیره [۱۹]، اثر منفی بر مصرف خوراک و قابلیت هضم مواد مغذی در طیور دارد [۱۴]. از طرف، وجود فیبر از منابع مختلف در جیره، سبب توسعه دستگاه گوارش [۱۳]، افزایش تولید اسید کلریدریک، اسیدهای صفراوی و ترشح آنزیم‌های گوارشی می‌شود [۲۴]. بروز این تغییرات می‌تواند سبب بهبود قابلیت هضم مواد مغذی [۶]، عملکرد پرنده [۱۳]، سلامت دستگاه گوارش [۱۱] و درنهایت رفاه حیوان شود [۴]. علاوه بر این، باتوجه به نوع و مقدار فیبر خام به عنوان بخشی از جیره پایه می‌تواند الگوی فلور میکروبی انتهای دستگاه گوارش پرنده را تحت تأثیر قرار دهد [۲۴].

در پژوهشی با افزودن ۳ درصد پوسته یولاف و پوسته سویا به یک جیره پایه حاوی ۲/۵ درصد فیبر خام در مقایسه با جیره شاهد حاوی ۱/۵ درصد فیبر خام، مشخص شد که افزودن منابع فیبری به جیره جوجه‌های گوشتی از سن یک تا چهار روزگی، میانگین خوراک مصرفی روزانه را بدون تأثیر بر میانگین افزایش وزن روزانه کاهش داد و در نتیجه ضریب تبدیل غذایی با افزودن فیبر بهبود یافت [۱۳]. در مطالعه‌ای، اثرات رقیق‌سازی یک جیره با فیبر کم (۱/۶ درصد فیبر خام و ۳/۷ درصد الیاف نامحلول در

شوینده خشتی) بر پایه برنج، سویا و چربی با سطوح صفر، ۲/۵ و ۵ درصد از ۳ نوع فیبر (پوسته یولاف، سبوس برنج و پوسته آفتابگردان) بر عملکرد جوجه‌های گوشتی پرورش یافته در قفس و تغذیه شده با دو فرم جیره پلت و آردی از سن صفر تا ۲۱ مشاهده شد که رقیق کردن جیره‌ها با افزایش سطوح منابع فیبری اثری بر فراسنجه‌های عملکردی مورد مطالعه نداشت [۱۵]. رشد به عنوان یک شاخص در سامانه زیستی، عبارت از افزایش توده بدن حیوان در واحد زمان است که تحت تأثیر ترکیبی از اثرات ژنتیکی و محیطی می‌باشد [۱۰]. منحنی‌های رشد موجود، کاربردهای مختلفی نظیر ارزیابی پاسخ به تیمارهای متفاوت در طول زمان، تجزیه اثرات متقابل بین تیمارها و زمان و نیز شناسایی حیوانات سنگین وزن در سنین جوان تر در یک جمعیت دارد [۹ و ۱۲].

از جمله راه‌های پیش‌بینی رشد استفاده از مدل‌های رشد است. معادلات رشد بسیاری برای توصیف و برازش ارتباط سیگموئیدی و غیرخطی بین رشد و زمان ارائه شده است [۱۹]. به‌طور معمول، بیشترین توابعی که برای تخمین رشد حیوانات استفاده می‌شوند، مدل‌های بیولوژیکی نظیر برودی (Broody)، ون برن تالانفی (Von Bertalanffy)، ریچارد (Richard)، لوجستیک (logistic) و گمپرتز (Gompertz) هستند [۱۳، ۱۴، ۱۹ و ۲۰]. پیش‌بینی نرخ رشد در مراحل مختلف پرورش، شناخت مواد مغذی مورد نیاز حیوان را ممکن ساخته و سبب ارائه اقتصادی‌ترین برنامه مدیریت تغذیه می‌شود. رشد باید به وسیله نرخ رشد یا به وسیله افزایش وزن و اندازه در طول مراحل مختلف زندگی ارزیابی شود [۷]. شبکه‌های عصبی مصنوعی جایگزینی مناسب برای آنالیز تابعیت برای تخمین فراسنجه‌های رشد در حیوانات هستند [۲۰]. باتوجه به ترکیب دقت و صحت در روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، عمدتاً این شیوه در برازش داده‌های رشد حیوانات به آنالیز

تولیدات دامی

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

برای ارزیابی فراسنجه‌های رشد، وزن تجمعی بدن پرندگان با استفاده از مدل‌های گمپرتز، لجستیک و ریچارد برازش شدند. در این توابع، W_t وزن مورد انتظار بدن (گرم) در زمان t ، W_0 وزن اولیه بدن (گرم)، b ضریب رشد نسبی و یا شاخص بلوغ (مقادیر کوچکتر b نشان‌دهنده بلوغ زودرس می‌باشد)، t سن پرنده (روز) و W_f وزن زنده بلوغ (گرم) بود. فراسنجه‌های محاسبه شده سپس جهت تخمین نقطه عطف منحنی رشد (T_i ، روز)، وزن بدن در زمان نقطه عطف منحنی رشد (W_i ، گرم) و سرعت رشد (GR، گرم در روز) استفاده شدند. توابع و روابط استفاده شده در جدول ۲ نشان داده شده است. فراسنجه‌های مدل با استفاده از PROC NLIN نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) تخمین زده شدند [۲۲]. برای مقایسه سه مدل مورد بررسی از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (MSE)، ضریب اکایک و تعداد گردش مدل استفاده شد (رابطه ۱):

رابطه (۱)

$$AIC = n \times \ln(SSE/n) + 2P$$

در این معادله، AIC ضریب اکایک، n تعداد داده‌ها و P تعداد فراسنجه‌های مدل است.

مدل تابعیت اسپلاین روشی برای قطعه‌بندی مدل تابعیت غیرخطی به تکه‌های خطی جداگانه است که این قطعه‌ها توسط نقاط شکست (گره x_0) از هم جدا می‌شوند. در این حالت، برای هر قطعه یک تابع $F_i(X)$ رگرسیون خطی با فراسنجه‌های متفاوت وجود دارد.

منحنی تابعیت اسپلاین برای نقاط شکست به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

رابطه (۲)

$$\text{weight}_i = a + b \times \text{age}_i \quad \text{age} \leq x_0 \quad \text{برای}$$

$$\text{weight}_i = (a - cx_0) + (b + c)\text{age}_i \quad e \geq x_0 \quad \text{برای}$$

دو تابع برآورد شده در گره X_0 به هم وصل می‌شوند.

تابعیت برتری دارد [۲۵]. علاوه بر توابع غیرخطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل تابعیت اسپلاین نیز در تخمین رشد حیوانات استفاده شده است. تابعیت اسپلاین یکی از روش‌های تحلیل رگرسیونی است که در آن متغیر مستقل در فواصلی تقسیم و برای هر فاصله، یک خط رگرسیونی جداگانه برازش داده شده و مرز بین قطعات، نقاط شکست (X_0) نامیده می‌شود. به نقاط شکست نقطه تغییر و گره هم گفته می‌شود. مدل تابعیت اسپلاین توسط برخی از محققین برای برازش مدل رشد طیور [۵] و دیگر حیوانات [۸ و ۲۱] استفاده شده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، استفاده از مدل‌های غیرخطی گمپرتز، لجستیک و ریچارد برای برآورد فراسنجه‌های رشد و مقایسه این مدل‌ها با مدل تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی وزن نهایی جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره‌های حاوی پوسته برنج بود.

مواد و روش‌ها

از ۲۴۰ قطعه جوجه گوشتی سویه راس در قالب طرح کاملاً تصادفی ۴ تیمار، ۵ تکرار و ۱۲ قطعه جوجه گوشتی در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره‌های حاوی سطوح صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد پوسته برنج بودند. جیره‌های آزمایشی برای دوره‌های آغازین (یک تا ۲۱ روزگی) و رشد (۲۲ تا ۴۲ روزگی) و برای تأمین نیازهای جوجه گوشتی [۱۸]، بر پایه ذرت و کنجاله سویا با سطوح انرژی و پروتئین یکسان تنظیم شدند (جدول ۱). آب و خوراک به صورت آزاد در اختیار جوجه‌ها قرار گرفت. در روز اول پرورش جوجه‌ها براساس میانگین وزن همسان بین تکرارها تقسیم شدند. جوجه‌های هر تکرار، در سنین ۱، ۳، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۷، ۲۱، ۲۴، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ روزگی توزین شدند.

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

در این توابع، a، b و c فراسنجه‌های مدل هستند. هر کدام از این فراسنجه‌ها دارای مقدار اولیه‌ای هستند که برای شروع محاسبات به مدل داده می‌شوند و X_0 با استفاده از داده‌ها و توسط نرم‌افزار برآورد و پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱. ترکیب و اجزای مواد مورد استفاده در جیره‌های حاوی سطوح مختلف پوسته برنج

| مواد خوراکی (%) | استارتر | | | | رشد | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ |
| ذرت | ۴۲/۶۹ | ۴۶/۷۴ | ۵۰/۸۰ | ۵۴/۸۶ | ۴۸/۹۷ | ۵۲/۴۲ | ۵۵/۸۷ | ۵۹/۳۲ |
| کنجاله سویا (۴۵٪) | ۴۰/۴۷ | ۳۹/۸۵ | ۳۹/۲۴ | ۳۸/۶۲ | ۳۴/۳۹ | ۳۴/۱۸ | ۳۳/۹۶ | ۳۳/۷۵ |
| روغن سویا | ۴/۷۱ | ۳/۷۰ | ۲/۷۰ | ۱/۷۰ | ۵/۵۴ | ۴/۷۴ | ۳/۹۳ | ۳/۱۲ |
| دی‌کلسیم فسفات ^۱ | ۱/۷۳ | ۱/۸۰ | ۱/۸۶ | ۱/۹۲ | ۱/۳۰ | ۱/۳۶ | ۱/۴۱ | ۱/۴۷ |
| کربنات کلسیم ^۲ | ۱/۲۵ | ۱/۲۳ | ۱/۲۰ | ۱/۱۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ |
| مکمل ویتامینه ^۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ |
| مکمل معدنی ^۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ |
| نمک | ۰/۳۱ | ۰/۳۲ | ۰/۳۲ | ۰/۳۲ | ۰/۲۶ | ۰/۲۶ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ |
| ال-لیزین | ۰/۲۶ | ۰/۲۸ | ۰/۳۰ | ۰/۳۲ | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۰ | ۰/۱۲ | ۰/۱۳ |
| دی‌ال-متیونین | ۰/۳۶ | ۰/۳۵ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ | ۰/۲۵ | ۰/۲۴ | ۰/۲۲ | ۰/۲۱ |
| ترئونین | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۶ | ۰/۱۷ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ |
| بی‌کربنات سدیم | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۸ |
| ترکیبات محاسبه شده (%) | | | | | | | | |
| انرژی قابل سوخت و ساز (کیلوکالری در کیلوگرم) | ۲۹۰۰ | ۲۹۰۰ | ۲۹۰۰ | ۲۹۰۰ | ۳۰۵۰ | ۳۰۵۰ | ۳۰۵۰ | ۳۰۵۰ |
| پروتئین خام (%) | ۲۱/۵ | ۲۱/۵ | ۲۱/۵ | ۲۱/۵ | ۱۹/۵ | ۱۹/۵ | ۱۹/۵ | ۱۹/۵ |
| لیزین قابل هضم (%) | ۱/۲۸ | ۱/۲۸ | ۱/۲۸ | ۱/۲۸ | ۱/۰۳ | ۱/۰۰ | ۱/۰۳ | ۱/۰۳ |
| متیونین + سیستئین قابل هضم (%) | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۸۰ | ۰/۸۰ | ۰/۴۹ | ۰/۸۰ |
| ترئونین قابل هضم (%) | ۰/۸۶ | ۰/۸۶ | ۰/۸۶ | ۰/۸۶ | ۰/۶۹ | ۰/۶۹ | ۰/۶۹ | ۰/۶۹ |
| کلسیم (%) | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۷۹ | ۰/۷۹ | ۰/۷۹ | ۰/۷۹ |
| فسفر کل (%) | ۰/۷۳ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۳ | ۰/۶۹ | ۰/۶۷ | ۰/۶۵ | ۰/۶۳ |

۱ - دی‌کلسیم فسفات مورد استفاده دارای ۲۰ درصد کلسیم و ۱۷/۸ درصد فسفر بود.

۲ - کربنات کلسیم دارای ۳۷ درصد کلسیم بود.

۳ - جهت تهیه دیگر جیره‌های آزمایشی هر یک از منابع تأمین کننده فیبر محلول (تفاله چغندر) و فیبر نامحلول (پوسته برنج) به میزان ۳ درصد جایگزین زئولیت به عنوان ماده خنثی در گروه کنترل شدند.

۴ - مکمل ویتامینه حاوی ۹۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی کوله کلسیفرول، ۲ میلی‌گرم ویتامین K₃، ۰/۰۱۵ میلی‌گرم ویتامین B₁₂، ۱/۸ میلی‌گرم تیامین، ۶/۶ میلی‌گرم ریوفلاوین، ۱ میلی‌گرم اسید فولیک، ۰/۱ میلی‌گرم بیوتین، ۳۵ میلی‌گرم نیاسین، ۴ میلی‌گرم پیریدوکسین و ۲۵۰ میلی‌گرم کولین کلراید در هر کیلوگرم بود.

۵ - مکمل معدنی این مقادیر را در هر کیلوگرم فراهم نمود: سولفات منگنز ۱۰۰، سولفات مس ۱۰، سلنیوم ۰/۲، ید ۱، سولفات روی ۱۰۰ و آهن ۵۰ میلی‌گرم

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

استفاده شد. مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA (نسخه ۱۰) انجام شد و ۲۰۰ ترکیب متفاوت (مدل) با لایه میانی و تعداد نرون مختلف توسط نرم‌افزار ساخته شد [۲۳]. سپس، بهترین مدل به لحاظ شاخص‌های ضریب تبیین و ریشه میانگین حداقل مربعات خطا انتخاب شد.

طراحی شبکه‌های عصبی با تعداد ۲۰۵ سری از داده‌های موجود صورت گرفت. داده‌های مورد استفاده به طور تصادفی به سه دسته آموزش، تست و صحت‌سنجی به ترتیب ۷۰، ۱۵ و ۱۵ درصد اختصاص داده شدند. برای ساخت شبکه‌های عصبی مصنوعی از الگوریتم پرسپترون چند لایه و توابع شعاعی با ۱۱ ورودی و یک خروجی

جدول ۲. توابع غیرخطی و روابط مورد استفاده جهت تخمین فراسنجه‌های رشد جوجه‌های گوشتی

| نام مدل | تابع | T_i | W_i | GR |
|---------|--|---|---------------------------------|--|
| گمپرتز | $w_0 = w_0 \exp \left[(1 - \exp(-bt)) \ln \left(\frac{w_f}{w_0} \right) \right]$ | $T_i = \frac{1}{b} \left[\ln \left(\ln \frac{w_f}{w_0} \right) \right]$ | $w_i = 0.368 w_f$ | $GR = bW \ln \left(\frac{w_f}{W} \right)$ |
| لجستیک | $W_t = w_0 w_f / [(w_0 + (w_f - w_0) \exp(-bt))]$ | $T_i = \frac{1}{b} \ln \left(\frac{w_f - w_0}{w_0} \right)$ | $w_i = 0.5 w_f$ | $GR = bW \left(1 - \frac{w_f}{W} \right)$ |
| ریچارد | $w_t = w_0 w_f / [w_0^n + (w_f^n - w_0^n) \exp(-bt)]^{1/n}$ | $T_i = \frac{1}{b} \ln \left(\frac{w_f^n - w_0^n}{n w_0^n} \right)$ | $w_i = \frac{w_f}{(n+1)^{1/n}}$ | $GR = bW \left(\frac{w_f^n - W^n}{n W^n} \right)$ |

فراسنجه‌های حاصل از برازش وزن تجمعی جوجه‌ها توسط مدل‌های غیرخطی و مدل تابعیت اسپلاین با استفاده از رابطه (۸) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح $P < 0.05$ مقایسه شدند.

$$y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + e_{ijk} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه، y_{ijk} مشاهده k ام از تیمار i ام و بلوک j ام، μ میانگین کل، t_i اثر تیمار i ام، b_j اثر بلوک j ام و e_{ijk} اثر خطای مرتبط با مشاهده ijk (خطای آزمایشی) بود.

نتایج و بحث

اثر تیمارها بر وزن زنده جوجه‌ها در هفته‌های مختلف آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. در پایان دوره (۴۲ روزگی) پرنده‌گانی که جیره حاوی ۷/۵ درصد پوسته برنج را دریافت کردند، وزن بدن کمتری از پرنده‌گانی داشتند که با جیره شاهد (سطح صفر درصد پوسته برنج) و جیره حاوی ۲/۵ درصد تغذیه شدند ($P < 0.05$).

در مرحله ارزیابی و مقایسه مدل‌های غیرخطی و مدل تابعیت اسپلاین از شاخص‌های ضریب تبیین، ریشه میانگین حداقل مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف مطلق، میانگین درصد خطای مطلق، میانگین مربعات خطا و ارزیابی استفاده شد [۲۰].

میانگین انحراف مطلق (MAD)، درصد خطای مطلق (MAPE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، اریبی (Bias) و ضریب تبیین (R^2) به ترتیب با استفاده از روابط (۳) تا (۷) محاسبه شد:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|}{n} \times 100 \quad (y_t \neq 0) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|^2}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Bias = \frac{\sum_{t=1}^n y_t - \hat{y}_t}{n} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum y_t^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه‌ها، y_t میزان وزن زنده مشاهده شده در زمان t ، \hat{y}_t میزان وزن زنده تخمین زده شده در زمان t و n تعداد مشاهدات است.

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

جدول ۳. اثر تیمارها بر وزن جوجه‌های گوشتی (گرم) در روزهای مختلف آزمایش

| P-value | SEM | پوسته برنج (%) | | | | سن (روز) |
|---------|--------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| | | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ | |
| ۰/۶۰۲ | ۰/۲۷ | ۴۴/۷۵ | ۴۴/۷۲ | ۴۴/۷۷ | ۴۴/۷۷ | روز اول |
| ۰/۰۲۱ | ۲/۵۸۸ | ۱۳۱/۰۴ ^b | ۱۳۲/۰۸ ^b | ۱۲۷/۵۰ ^b | ۱۴۰/۸۳ ^a | ۷ |
| ۰/۰۰۴ | ۶/۶۲۰ | ۳۳۰/۰۰ ^b | ۳۲۶/۵۶ ^b | ۳۲۱/۶۶ ^b | ۳۶۰/۷۱ ^a | ۱۴ |
| ۰/۰۰۲ | ۱۳/۹۱۴ | ۷۱۴/۵۸ ^b | ۷۱۵/۵۲ ^b | ۷۳۴/۰۸ ^b | ۷۹۸/۷۵ ^a | ۲۱ |
| ۰/۰۵۷ | ۲۱/۸۳۱ | ۱۱۷۶/۵۸ | ۱۲۰۵/۶۰ | ۱۲۱۷/۴۱ | ۱۲۷۲/۵۰ | ۲۸ |
| ۰/۳۸۸ | ۳۰/۴۲۸ | ۱۶۴۳/۵۸ | ۱۷۱۹/۷۹ | ۱۷۰۲/۷۳ | ۱۷۱۳/۴۴ | ۳۵ |
| ۰/۰۰۱ | ۱۹/۱۰۷ | ۲۰۹۱/۳۷ ^c | ۲۱۰۹/۷۱ ^{bc} | ۲۱۶۲/۶۶ ^b | ۲۳۲۸/۷۵ ^a | ۴۲ |

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف غیرمشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

مدل‌های غیرخطی مورد استفاده در این پژوهش تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < 0/05$). برآزش وزن بدن جوجه‌ها با مدل‌های گمپرتز و لجستیک نشان داد که جوجه‌های تیمار شاهد وزن اولیه تخمین زده شده بالاتری در مقایسه با جوجه‌های مصرف‌کننده جیره حاوی ۵ درصد پوسته برنج داشتند ($P < 0/05$). فراسنجه وزن اولیه پیش‌بینی شده با مدل ریچارد در جوجه‌هایی که با جیره‌های حاوی پوسته برنج تغذیه شدند، بالاتر از جوجه‌های گروه شاهد بود ($P < 0/05$). وزن نهایی پیش‌بینی شده توسط تمامی مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در جوجه‌های تیمار شاهد بالاتر از جوجه‌های سایر تیمارها بود ($P < 0/05$), ولی تفاوتی در وزن نهایی پیش‌بینی شده در میان جوجه‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پوسته برنج مشاهده نشد (جدول ۴). تغذیه جوجه‌ها با جیره‌های حاوی سطوح ۲/۵ و ۵ درصد پوسته برنج ضریب رشد نسبی را به طور معنی‌داری (در مدل لجستیک به ترتیب ۲۲/۲ و ۳۱/۱

فراسنجه‌های رشد جوجه‌های تغذیه شده با سطوح مختلف پوسته برنج که توسط مدل‌های غیرخطی گمپرتز، لجستیک و ریچارد برآورد شد در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین وزن اولیه (۸۶ گرم) توسط مدل لجستیک و کمترین (۱۱/۸۶ گرم) آن توسط مدل ریچارد برآورد شد، اما وزن بلوغ برآورد شده روند متفاوتی نشان داد و بیشترین وزن بلوغ (۷۸۴۱ گرم) توسط مدل ریچارد و کمترین وزن بلوغ (۲۹۶۱ گرم) توسط مدل لجستیک برآورد شد. ضریب رشد برآورد شده نیز توسط مدل‌های مختلف متفاوت بود، به نحوی که از ۰/۰۲۲ (مدل ریچارد) تا ۰/۱۲۸ (مدل لجستیک) برآورد شد. بیشترین و کمترین سن و وزن در نقطه عطف به ترتیب توسط مدل ریچارد و گمپرتز محاسبه شد. مدل ریچارد سن در نقطه عطف را ۴۲ روز و وزن در این سن ۲۲۷۸ گرم برآورد کرد، درحالی‌که سن و وزن در نقطه عطف برآورد شده توسط مدل گمپرتز به ترتیب ۲۸ روز و ۱۳۱۰ گرم بود. نتایج نشان داد تمامی فراسنجه‌های برآورد شده توسط

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

فراسنجه نداشت (جدول ۴). بیشترین و کمترین وزن محاسبه شده در نقطه عطف منحنی رشد به ترتیب مربوط به جوجه‌های تغذیه شده با جیره شاهد و جیره حاوی پنج درصد پوسته برنج بود (جدول ۴). این امر نشان‌دهنده آن است که افزودن پوسته برنج به جیره جوجه‌های گوشتی سبب شده است تا جوجه‌ها در سن پایین‌تری وارد مرحله کاهش رشد شوند.

درصد، در مدل گمپرتز به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۶/۳ درصد، در مدل ریچارد به ترتیب ۱/۸ و ۲/۵ برابر) نسبت به جوجه‌های تیمار شاهد افزایش داد ($P < 0/05$)، ولی افزایش سطح پوسته برنج تأثیر بر این فراسنجه نداشت (جدول ۴). زمان نقطه عطف منحنی رشد در جوجه‌های گروه شاهد پایین‌تر از جوجه‌های سایر تیمارها بود ($P < 0/05$)، ولی افزایش سطح پوسته برنج در جیره تأثیر معنی‌داری بر این

جدول ۴. اثر تیمارها بر فراسنجه‌های رشد جوجه گوشتی برآورد شده با مدل گمپرتز، لجستیک و ریچارد

| P-Value | SEM | پوسته برنج (%) | | | | تابع | فراسنجه |
|---------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------|----------------|
| | | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ | | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۲/۱۸۸ | ۲۳/۶۵ ^b | ۱۵/۹۶ ^c | ۱۹/۰۴ ^{bc} | ۳۶/۶۲ ^a | گمپرتز | W ₀ |
| ۰/۰۰۰۱ | ۲/۴۸۸ | ۶۷/۷۲ ^b | ۵۹/۳۳ ^c | ۶۳/۱۹ ^{bc} | ۸۶/۰۰ ^a | لجستیک | |
| ۰/۰۰۰۶ | ۱/۸۹۰ | ۲۵/۴۹ ^a | ۲۸/۷۳ ^a | ۲۲/۷۳ ^a | ۱۱/۸۶ ^b | ریچارد | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۱۲۱/۱۸۲ | ۳۲۷۸ ^b | ۳۲۷۸ ^b | ۳۵۶۲ ^b | ۴۴۸۴ ^a | گمپرتز | W _f |
| ۰/۰۰۰۱ | ۳۹/۶۲۶ | ۲۵۰۹ ^b | ۲۴۵۷ ^b | ۲۵۷۴ ^b | ۲۹۶۱ ^a | لجستیک | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۳۱۵/۳۰۹ | ۴۳۳۲ ^b | ۳۱۰۸ ^b | ۳۵۳۸ ^b | ۷۸۴۱ ^a | ریچارد | |
| ۰/۰۱۸۰ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۵۲ ^{ab} | ۰/۰۵۹ ^a | ۰/۰۵۵ ^a | ۰/۰۴۵ ^b | گمپرتز | B |
| ۰/۰۰۶۴ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۱۹ ^{ab} | ۰/۱۲۸ ^a | ۰/۱۲۳ ^a | ۰/۱۱۰ ^b | لجستیک | |
| ۰/۰۰۳۴ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۵۵ ^a | ۰/۰۷۸ ^a | ۰/۰۶۱ ^a | ۰/۰۲۲ ^b | ریچارد | |
| ۰/۰۱۲۵ | ۰/۸۸۸ | ۳۰/۵۸ ^b | ۲۸/۶۴ ^b | ۳۰/۲۵ ^b | ۳۴/۲۳ ^a | گمپرتز | T _i |
| ۰/۰۱۶۷ | ۰/۴۵۶ | ۳۰/۰۱ ^b | ۲۸/۹۷ ^b | ۲۹/۸۹ ^b | ۳۱/۸۹ ^a | لجستیک | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۱/۱۷۴ | ۳۰/۴۶ ^b | ۲۹/۱۸ ^b | ۳۰/۵۱ ^b | ۴۲/۵۹ ^a | ریچارد | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۴۴/۵۹۵ | ۱۲۸۹ ^b | ۱۲۰۶ ^b | ۱۳۱۰ ^b | ۱۶۵۰ ^a | گمپرتز | W _i |
| ۰/۰۰۰۱ | ۱۹/۸۱۳ | ۱۲۵۴ ^b | ۱۲۲۸ ^b | ۱۲۸۷ ^b | ۱۴۸۰ ^a | لجستیک | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۶۸/۱۱۱ | ۱۲۸۱ ^b | ۱۲۴۲ ^b | ۱۳۲۸ ^b | ۲۲۷۸ ^a | ریچارد | |

W₀: وزن اولیه بدن (گرم)، b: ضریب رشد نسبی و یا شاخص بلوغ، W_f: وزن زنده بلوغ (گرم)، T_i: نقطه عطف منحنی رشد (روز)، W_i: وزن بدن در زمان نقطه عطف منحنی رشد (گرم)

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف غیرمشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

باتوجه به ضریب اکائیک، میانگین مربعات خطا و تعداد گردش پایین‌تر جهت رسیدن به همگرایی در مقایسه با سایر مدل‌های مورد استفاده کارایی بالاتری جهت پیش‌بینی وزن ۴۲ روزگی جوجه‌های گوشتی در این آزمایش داشت.

شاخص‌های کارایی سه مدل غیرخطی گمپرتز، لجستیک و ریچارد در جدول ۵ نشان داده شده است. مدل گمپرتز دارای کمترین ضریب اکائیک، میانگین مربعات خطا و تعداد گردش بود (جدول ۵)، اما ضریب تبیین مدل گمپرتز و مدل ریچارد یکسان بود. در مجموع مدل گمپرتز

جدول ۵. مقایسه کارایی مدل‌های غیرخطی گمپرتز، لجستیک و ریچارد

| مدل | ضریب تبیین | ضریب اکائیک | میانگین مربعات خطا | تعداد گردش جهت رسیدن به همگرایی |
|--------|------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| گمپرتز | ۰/۹۹۷۶ | ۲۲۳/۶۲ | ۳۸۳۹ | ۵ |
| لجستیک | ۰/۹۹۷۰ | ۲۲۸/۳۸ | ۴۸۷۰ | ۱۰ |
| ریچارد | ۰/۹۹۷۶ | ۲۲۵/۶۳ | ۳۸۵۳ | ۱۰ |

۴۲ روزگی بیشترین نرخ رشد به جوجه‌های تیمار شاهد تعلق داشت که اختلاف معنی‌داری با جوجه‌های تیمارهای مصرف‌کننده پوسته برنج داشت، اما بین جوجه‌های تیمارهای مصرف‌کننده پوسته برنج با هم دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). استفاده از پوسته برنج سبب کاهش نرخ رشد جوجه‌های گوشتی به‌ویژه در سنین بعد از سه‌هفتگی گردید.

اثر مصرف سطوح مختلف پوسته برنج بر نرخ رشد جوجه‌های گوشتی برآورد شده با مدل گمپرتز که دارای کارایی بالاتری در پیش‌بینی وزن زنده جوجه‌های گوشتی در مقایسه با دو مدل لجستیک و ریچارد بود، در جدول ۶ آورده شده است. نرخ رشد در سن ۷، ۱۴ و ۲۱ روزگی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما در سن ۲۸، ۳۵ و ۴۲ روزگی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد ($P < 0.05$). در سنین ۲۸، ۳۵ و

جدول ۶. اثر تیمارها بر افزایش وزن (گرم در روز) جوجه‌های گوشتی برآورد شده با مدل گمپرتز

| P-value | SEM | پوسته برنج (%) | | | | سن (روز) |
|---------|--------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------|
| | | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ | |
| ۰/۲۱۹۹ | ۰/۷۱۷۳ | ۲۲/۶۶ | ۲۵/۱۲ | ۲۳/۴۸ | ۲۲/۳۷ | ۷ |
| ۰/۵۱۳۹ | ۱/۳۵۱ | ۴۱/۰۵ | ۴۴/۴۴ | ۴۲/۶۹ | ۴۱/۷۲ | ۱۴ |
| ۰/۳۰۶۴ | ۱/۵۱۹ | ۵۹/۸۰ | ۶۳/۸۴ | ۶۳/۵۸ | ۶۳/۲۰ | ۲۱ |
| ۰/۰۰۰۸ | ۰/۷۳۲۸ | ۶۷/۶۰ ^c | ۶۰/۸۴ ^{ab} | ۷۱/۰۴ ^b | ۷۳/۴۳ ^a | ۲۸ |
| ۰/۰۰۱۷ | ۱/۴۲۱ | ۶۵/۴۸ ^b | ۶۲/۷۷ ^b | ۶۷/۳۹ ^b | ۷۵/۴۳ ^a | ۳۵ |
| ۰/۰۰۱۶ | ۲/۰۴۸ | ۵۶/۷۸ ^b | ۵۲/۷۱ ^b | ۵۷/۸۲ ^b | ۶۹/۷۵ ^a | ۴۲ |

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف غیرمشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

به‌طور معنی‌داری در جوجه‌های تیمار شاهد بالاتر از جوجه‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی پوسته برنج بود. نتایج نشان داد که شاخص c صرفاً در نتیجه گنجاندن ۷/۵ درصد پوسته برنج به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر جوجه‌ها کاهش یافت.

تأثیر سطوح مختلف پوسته برنج بر فراسنجه‌های مدل تابعیت اسپلاین در جدول ۷ آورده شده است. تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های b و c مدل تابعیت اسپلاین داشتند ($P < 0.05$)، اما گره X_0 و شاخص a در این مدل تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. شاخص b

جدول ۷. اثر تیمارها بر فراسنجه‌های رشد جوجه گوشتی با استفاده از مدل تابعیت اسپلاین

| P-Value | SEM | پوسته برنج (%) | | | | فراسنجه‌ها |
|---------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| | | ۷/۵ | ۵ | ۲/۵ | ۰ | |
| ۰/۴۱۲ | ۲/۴۷ | ۳۰/۷۶ | ۳۴/۵۶ | ۳۰/۶۹ | ۲۸/۲۸ | A |
| ۰/۰۰۲ | ۰/۶۴ | ۱۹/۱۹ ^b | ۱۷/۶۹ ^b | ۱۸/۴۹ ^b | ۲۱/۹۵ ^a | B |
| ۰/۰۲۹ | ۰/۸۱ | ۴۴/۵۸ ^b | ۴۷/۴۵ ^a | ۴۸/۴۷ ^a | ۴۷/۵۸ ^a | C |
| ۰/۸۲۳ | ۰/۳۹ | ۱۳/۹۶ | ۱۳/۶۹ | ۱۳/۹۵ | ۱۴/۲۵ | X_0 |

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف غیرمشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

سن ۴۲ روزگی (هفته ششم) بود. در لایه مخفی و لایه خروجی این مدل به‌ترتیب از توابع گوسین و نمایی استفاده شد. با ادامه روند برازش مدل از آموزش تا ارزیابی، همبستگی بین داده‌های حقیقی و مقادیر پیش‌بینی شده افزایش یافت. ترتیب بیشترین و کمترین میزان همبستگی در مرحله آزمون (۰/۶۷۳۶) و ارزیابی (۰/۹۹۹۹) مدل مشاهده شد. میزان خطای مدل با ادامه برازش مدل کاهش پیدا یافت و کمترین میزان خطا با ۱۴۵/۵۳ مختص به مرحله ارزیابی مدل بود.

مشخصات مدل شبکه عصبی برازش شده با استفاده از داده‌های افزایش وزن جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده سطوح مختلف پوسته برنج در جدول ۸ آورده شده است. این مدل از نوع توابع شعاعی (RBF) با ۱۱ ورودی، ۶ لایه مخفی و ۱ خروجی بود. ورودی‌های این مدل شامل وزن جوجه‌های گوشتی در سنین ۱، ۳، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۷، ۲۱، ۲۴، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ روزگی بود. تعداد لایه‌های مخفی توسط نرم‌افزار پس از آزمون تعداد متفاوتی از لایه‌های مخفی پیشنهاد شد و خروجی مدل وزن جوجه‌های گوشتی در

جدول ۸. خصوصیات و ساختار شبکه عصبی ساخته شده با استفاده از داده‌های جوجه‌های گوشتی

مصرف‌کننده سطوح مختلف پوسته برنج

| نام | عملکرد | | | خطا | | | تابع |
|-----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | آموزش | تست | ارزیابی | آموزش | تست | ارزیابی | |
| ۱-۶-۱۱RBF | ۰/۸۶۶۱ | ۰/۶۷۳۶ | ۰/۹۹۹۹ | ۱۱۸۱/۷۲ | ۵۱۲۰/۲۸ | ۱۴۵/۵۳ | SOS گوسین نمایی |

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

برابر ۳۸/۴۵ بود. میزان باقیمانده مدل‌ها نیز دارای اختلاف بود و بیشترین باقیمانده مربوط به مدل ریچارد و کمترین آن مربوط به شبکه عصبی مصنوعی بود. در کل بهترین مقدار ضریب تبیین برابر یک و برای سایر معیارهای صفر می‌باشد. بنابراین، نتایج این مقایسه نشان‌دهنده کارایی بیشتر تابعیت اسپلاین نسبت به مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده سطوح مختلف پسته برنج در سن ۴۲ روزگی بود.

مقدار ضریب تبیین برای تابعیت اسپلاین بالاتر از مقدار این شاخص برای مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی بود. بالاترین و کمترین میزان ضریب تبیین به ترتیب در تابعیت اسپلاین و مدل ریچارد مشاهده شد (جدول ۹). از طرف دیگر، مقادیر میانگین قدر مطلق انحرافات تابعیت اسپلاین کمتر از مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی و معادل ۲۸/۸۵ بود. همچنین، ریشه میانگین مربع خطا برای تابعیت اسپلاین نیز کمتر از مقدار آن برای مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی و

جدول ۹. مقایسه کارایی مدل گمپرتز، شبکه عصبی مصنوعی و تابعیت اسپلاین در پیش‌بینی وزن جوجه‌های گوشتی

| مدل‌ها | | | | | شاخص‌ها |
|-----------------|------------------|--------|--------|--------|-------------------------|
| رگرسیون قطعه‌ای | شبکه عصبی مصنوعی | لجستیک | ریچارد | گمپرتز | |
| ۰/۹۹۹۳ | ۰/۹۹۸۹ | ۰/۹۷۶۵ | ۰/۹۷۶۰ | ۰/۹۷۶۴ | ضریب تبیین |
| ۱۴۷۹ | ۳۲۳۴ | ۵۶۸۳ | ۵۸۸۴ | ۵۸۶۶ | میانگین مربعات خطا |
| ۳۸/۴۵ | ۵۶/۸۶ | ۷۵/۳۸ | ۷۶/۷۱ | ۷۶/۵۹ | ریشه میانگین مربعات خطا |
| ۲۸/۸۵ | ۴۲/۳۸ | ۷۱/۹۵ | ۷۲/۷۶ | ۷۲/۲۲ | میانگین انحراف مطلق |
| ۱/۲۹ | ۱/۹۸ | ۳/۲۸ | ۳/۳۱ | ۳/۲۹ | میانگین درصد خطای مطلق |
| ۱۱/۹۲ | -۱۵/۹۹ | ۷۱/۹۵ | ۷۲/۷۶ | ۷۲/۲۲ | اریبی |

رشد جوجه‌های گوشتی را توصیف نمایند [۳]. در بررسی شاخص‌های رشد در موش با استفاده از مدل تابعیت و شبکه عصبی مشخص شد که اگرچه هر دوی این مدل‌ها وزن بدن را به‌خوبی توصیف کردند، ولی مدل شبکه عصبی از لحاظ دقت و صحت برتری داشت [۲۵]. دو مدل گمپرتز و شبکه عصبی در رشد جوجه‌های گوشتی مقایسه و مشخص شد که مدل گمپرتز مقادیر وزن بدن را کمتر از شبکه عصبی تخمین زد [۲۰]. برای پیش‌بینی وزن جوجه‌های گوشتی با استفاده از دو مدل گمپرتز و شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل‌های مورد استفاده جهت پیش‌بینی رشد در طیور عمدتاً از نوع توابع غیرخطی همانند گمپرتز، ریچارد و لجستیک می‌باشند [۱۶]. برای برآورد فراسنجه‌های رشد بلدرچین ژاپنی از مدل‌های غیرخطی گمپرتز، ریچارد، لجستیک، برتالانفی، برودی، تابع نمایی منفی و ۳ مدل غیرخطی هایپربولستیک استفاده شد و در بین این مدل‌ها، مدل گمپرتز بهترین و مناسب‌ترین مدل جهت برآورد فراسنجه‌های رشد بلدرچین ژاپنی بود [۱۷]. مدل‌های رشد هایپربولستیک با دقت بالاتر و خطای کمتری نسبت به مدل‌های کلاسیک از جمله گمپرتز و ریچارد می‌توانند

تولیدات دامی

مقایسه مدل‌های غیرخطی با تابعیت اسپلاین و شبکه عصبی مصنوعی برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با پوسته برنج

مصنوعی جهت تخمین فراسنجه‌های رشد جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده عصاره کنگر فرنگی از طریق آب آشامیدنی. علوم دامی ایران. ۴۶(۱): ۹-۱۶.

۳. نیکخواه م، متقی‌طلب م و زواره م (۱۳۸۸) مقایسه مدل‌های رشد هایپربولستیک با مدل‌های رشد کلاسیک در توصیف منحنی رشد جوجه‌های نر گوشتی سویه راس. علوم دامی ایران. ۴۰(۴): ۷۱-۷۸.

4. Aerni V, El-Lethey H and Wechsler B (2000) Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. *British Poultry Science*. 41: 16-21.

5. Aggrey SE (2002) Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science*. 81: 1782-1788.

6. Amerah AM, Ravindran V and Lentle RG (2009) Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *British Poultry Science*. 50: 366-375.

7. Arango JA and Van Vleck LD (2002) Size of beef cows: Early ideas, New developments. *Genetics and Molecular Research*. 1: 51-63.

8. Bahreini Behzadi MR and Aslaminejad AA (2010) A comparison of neural network and nonlinear regression predictions of sheep growth. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9(16): 2128-2131.

9. Bathaei SS and Leroy PL (1996) Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research* 22: 155-162.

10. Carrijo SM and Duarte FAM (1999) Description and comparison of growth parameters in Chianina and Nelore cattle breeds. *Genetics and Molecular Research*. 22(2): 187-196.

وزن جوجه‌های گوشتی را در پایان دوره پرورش با دقت بیشتری در مقایسه با مدل گمپرتز برآورد نمود [۱ و ۲]. مقایسه سه مدل غیرخطی ریچارد، گمپرتز و لجستیک با تابعیت قطعه‌ای جهت توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوشتی نشان داد که مدل‌های غیرخطی با دقت بالاتری روند رشد جوجه‌های گوشتی را نسبت به تابعیت اسپلاین توصیف می‌کنند [۴]. از بین سه مدل غیرخطی، مدل ریچارد با دقت بالاتری روند رشد جوجه‌های گوشتی را برازش نمود [۴]. همچنین، جهت برازش منحنی رشد اردک از مدل‌های غیرخطی و تابعیت اسپلاین استفاده شد و در مغایرت با پژوهش حاضر گزارش شد که مدل‌های غیرخطی با دقت بالاتری نسبت به مدل تابعیت اسپلاین منحنی رشد اردک را برازش کردند [۲۴].

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مدل گمپرتز با کارایی بالاتری وزن جوجه‌های را در مقایسه با مدل لجستیک و ریچارد برآورد می‌نماید و نرخ رشد برآورد شده توسط مدل گمپرتز در دوره رشد با افزودن پوسته برنج به جیره‌ها کاهش می‌یابد. با مقایسه مدل‌های مختلف، بیانگر کارایی بیشتر تابعیت اسپلاین نسبت به مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی وزن جوجه‌های گوشتی مصرف‌کننده سطوح مختلف پوسته برنج در سن ۴۲ روزگی می‌باشد.

منابع

۱. چاجی م، مسعودی ع، دمیری ح، بوجارپور م و آذر فر (۱۳۹۳) استفاده از مدل گمپرتز برای تخمین فراسنجه‌های رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با بنتونیت سدیم و مقایسه آن با شبکه عصبی مصنوعی. تحقیقات دام و طیور. ۳(۲): ۱۲-۲۱.
۲. میردریکوندی م، مسعودی ع، آذر فر ا و کیانی ع (۱۳۹۴) مقایسه مدل ریاضی گمپرتز و شبکه عصبی

تولیدات دامی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵

11. Correa-Matos NJ, Donovan SM, Issacson RE, Gaskins HR, White BA and Tappenden KA (2003) Fermentable fiber reduces recovery time and improves intestinal function in piglets following Salmonella typhimurium infection. *Journal of Nutrition*. 133: 1845-1852.
12. Freitas AR (2005) Curvas de crescimento na producao animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34: 786-795.
13. González-Alvarado JM, Jiménez-Moreno E, Lázaro R and Mateos GG (2007) Effects of type of cereal, heat processing of the cereal and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*. 86: 1705-1715.
14. Janssen WMMA and BCarré B (1985) Influence of fiber on digestibility of broiler feeds. In: Cole, DJA and Haresign W (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworths, London, UK. Pp. 78-93.
15. Jiménez-Moreno E, González -Alvarado JM, Bonilla AP, Lzaro R and Mateos GG (2007) Influence of feed form and fiber inclusion in the diet on performance of broilers from one to twenty-one days of age. *Poultry Science* 86(1): 68 (Abstract).
16. Mateos GG, Lázaro R and Gracia MI (2002) The feasibility of using nutritional modifications to replace drugs in poultry feeds. *Journal of Applied Poultry Research*. 11: 437-452.
17. Narinc D, karaman E, Ziya Firat M and Aksoy T (2010) Comparison of Nonlinear Growth models to describe the growth in Japanese Quail. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9(14): 1961-1966.
18. National Research Council (1994) Nutrient requirement of poultry. 9th Review Edition. National Academy Press. Washington. D.C.
19. Roush WB and Branton SL (2005) A Comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. *Poultry Science*. 84: 494-502.
20. Roush WB, Dozier WA and Branton SL (2006) Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poultry Science*. 85: 794-797.
21. Sánchez JP, Misztal I, Aguila I and Bertrand JK (2008) Genetic evaluation of growth in a multi breed beef cattle population using random regression-linear spline models. *Journal of Animal Science*. 86: 267-277.
22. SAS Institute (2001) SAS Users Guide. Version 9.1. Review edition. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
23. StatSoft Inc. STATISTICA (2011) Data analysis software system. Version 10 [cited 2016 April 26]. Available from: www.statsoft.com.
24. Vitezica ZG, Marie-Etancelin C, Bernadet MD, Fernandez X and Robert-Granie C (2010) Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. *Poultry Science*. 89: 1778-1784.
25. Yee D, Prior MG and Florence LZ (1993) Development of predictive models of laboratory animal growth using artificial neural networks. *Computer Applications in Biosciences*. 9: 517-522.