

مقایسه مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی اسیدهای آمینه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) با استفاده از تجزیه تقریبی

پریسا سلیمانی رودی^۱ - ابولقاسم گلیان^۲ - محمد صدقی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۹

چکیده

ارزن مرواریدی گیاهی مقاوم در شرایط خشکی است که پروتئین و سطح انرژی قابل متابولیسم دانه آن با ذرت مساوی و بیشتر از سورگوم است و به همین جهت در تغذیه طیور مورد توجه قرار گرفته است. تعیین اسیدهای آمینه مواد خوراکی با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی نیاز به صرف زمان و هزینه بالایی دارد. از این رو یافتن روش‌هایی برای تخمین میزان اسیدهای آمینه دارای اهمیت می‌باشد. از دیر باز مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه (MLR) برای تخمین اسیدهای آمینه برخی مواد خوراکی با استفاده از پروتئین و یا تجزیه تقریبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای تخمین دقیق‌تر میزان اسیدهای آمینه مواد خوراکی با استفاده از ترکیبات شیمیایی می‌تواند نتایج بهتری را به همراه داشته باشد. بنابراین مطالعه‌ای با هدف تخمین سطح اسیدهای آمینه دانه ارزن مرواریدی با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون خطی چندگانه انجام شد. به این منظور از یکی از منابع که تعداد ۵۲ نمونه ارزن مرواریدی را از نظر تجزیه تقریبی و سطح اسیدهای آمینه مورد بررسی قرار داده بود، استفاده شد. در این مدل‌ها، ماده خشک، پروتئین خام، چربی، خاکستر و فیبر خام به عنوان متغیر پیشگو و هر یک از اسیدهای آمینه به عنوان متغیر پاسخ استفاده شدند. نتایج بدست آمده حاکی از این است که بین اسیدهای آمینه دانه‌ی ارزن مرواریدی و ترکیبات شیمیایی آن ارتباط قابل توجهی وجود دارد. ارزیابی آماری نشان داد که مدل ANN در مقایسه با MLR دارای قدرت تخمین بیشتری برای برآورد میزان هر یک از اسیدهای آمینه ارزن مرواریدی با استفاده از روش تجزیه تقریبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزن مرواریدی، اسید آمینه، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

در مقابل سورگوم و ذرت، بیان‌گر این است که ارزن مرواریدی از لحاظ کیفیت و مقدار پروتئین، مقدار بازدهی نسبی پروتئین (PER) و سطح انرژی متابولیسمی (ME) با ذرت مساوی و از سورگوم بالاتر است (۱۱، ۱۴ و ۲۲). سورگوم دارای پلی‌فنل‌هایی مانند تانن می‌باشد که در تغذیه طیور منجر به کاهش قابلیت هضم مواد مغذی می‌شوند، این در حالی است که ارزن مرواریدی فاقد چنین ترکیباتی می‌باشد (۲۰).

پروتئین خام ارزن مرواریدی از سورگوم بیشتر است اما همچنان میزان اسیدهای آمینه ضروری آن کم می‌باشد. گرچه لیزین آن ۳۵ درصد بیشتر از سورگوم است (۱۴ و ۱۹).

تعیین اسیدهای آمینه با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی به دلیل تجزیه شیمیایی در آزمایشگاه و تخریب اسیدهای آمینه در حین تجزیه، نیاز به صرف زمان و هزینه بالایی دارد (۱۵). به همین جهت پژوهشگران به دنبال راه‌های ساده‌تر برای تعیین اسیدهای آمینه در

ارزن مرواریدی با نام علمی *pennisetum glaucum* از دیر باز در بسیاری از کشورهای گرمسیر جهان کشت شده است (۱۹). تحمل این گیاه به خشکی آنقدر بالا است که حتی در مناطقی که بارندگی آن برای کشت سورگوم نامساعد است، می‌توان این گیاه را کشت کرد (۲۰). کشور ایران، پیوسته دچار کم‌آبی و خشکسالی‌های مداوم است. به همین جهت کشت ارزن مرواریدی به عنوان محصول زراعی که در تغذیه طیور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد از اهمیت زیادی برخوردار است.

نتایج حاصل از آزمایشات تغذیه طیور با استفاده از ارزن مرواریدی

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشجوی دکتری گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول: Email: mohamad_sedghi1@yahoo.com

این، برای استفاده از این روش، متغیرها باید توزیع نرمال داشته باشند و تغییر آنها از یک رابطه خطی پیروی کند.

رگرسیون چندگانه در حقیقت، ارتباط بین یک سری از متغیرهای پیشگو را با متغیر پاسخ مورد نظر بیان می‌کند (۵). در صورت وجود متغیرهای مستقل x_1, x_2, \dots, x_n اگر بخواهیم ارتباط خطی بین آنها و متغیر y که وابسته به آنهاست ایجاد کنیم، رابطه زیر باید بین آنها برقرار باشد:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + e$$

که در این رابطه، از مقادیر a_1, a_2, \dots, a_n با عنوان ضرایب رگرسیون یاد می‌شود. این ضرایب، ضرایب نامشخصی هستند که در حقیقت، مسؤل برآورد پارامتر پاسخ هستند (۵).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

یک شبکه عصبی مصنوعی، شامل مجموعه‌ای از نرون‌های به هم متصل می‌باشد که به هر مجموعه از این نرون‌ها یک لایه گفته می‌شود. نقش نرون‌ها در شبکه‌های عصبی، پردازش اطلاعات است. این امر، در شبکه‌های عصبی مصنوعی به وسیله پردازشگر ریاضی که همان تابع فعال سازی است، انجام می‌شود. یک تابع فعال‌سازی، براساس نیاز خاص مسئله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود، از سوی طراح انتخاب می‌شود. ساده‌ترین شکل شبکه، فقط دو لایه دارد. لایه ورودی و خروجی شبکه شبیه یک سیستم ورودی و خروجی عمل می‌کند و ارزش نرون‌های ورودی را برای محاسبه ارزش نرون خروجی مورد استفاده قرار می‌دهد. شبکه‌های عصبی با لایه‌های پنهان، دارای توانایی‌های بیشتری نسبت به شبکه‌های عصبی دو لایه هستند (۳).

با توجه به اهداف تحقیق، انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. پرسپترون چند لایه در بین شبکه‌های عصبی بیشترین کاربرد را دارد که در این تحقیق نیز از این شبکه استفاده شده است. پرسپترون چند لایه دارای لایه ورودی، خروجی و لایه یا لایه‌های پنهان می‌باشد که خروجی لایه اول، بردار ورودی لایه دوم به حساب می‌آید. به همین ترتیب خروجی لایه دوم، بردار ورودی لایه سوم را تشکیل می‌دهد (۶). این روند ادامه می‌یابد تا اینکه یک پاسخ در لایه خروجی ایجاد شود. سپس آن پاسخ با پاسخ مطلوب مقایسه می‌گردد (این مقدار برای مسائل پیش‌بینی، مقداری پیوسته می‌باشد). وزن‌های شبکه، سپس برای تصحیح شدن یا کاهش خطا اصلاح می‌شوند و الگوی کاربردی نمایان می‌شود. اصلاح وزن‌ها به طور پیوسته در این روال ادامه می‌یابد تا زمانی که کل خطاها از سطح از پیش تعیین شده کمتر شود تا بتوانیم به مدلی مطلوب برای پیش‌بینی با حداقل خطا برسیم (۱). نحوه عمل پرسپترون چند لایه بدین صورت است که الگویی به شبکه عرضه می‌شود و خروجی آن محاسبه می‌گردد. مقایسه خروجی واقعی و

اجزاء خوراک می‌باشند. رگرسیون‌های خطی چند گانه (MLR) برای تخمین اسیدهای آمینه برخی مواد خوراکی با استفاده از پروتئین و یا تجزیه تقریبی به عنوان متغیر پیشگو، در NRC (۱۹۹۴) ارائه شده اند (۱۲). ضریب تعیین (R^2) بدست آمده از این مدل‌ها، متغیر و گاهی پایین می‌باشند (R^2 کمتر از ۰/۵). شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) با دقت و صحت بیشتری می‌توانند رابطه‌ی بین متغیرها را شبیه سازی کنند (۷)، از این رو ممکن است برای تخمین اسیدهای آمینه با استفاده از تجزیه تقریبی موثرتر واقع شوند. سودمندی استفاده از ANN در تخمین اسیدهای آمینه مواد خوراکی با استفاده از مدل - های ANN و MLR در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است (۷، ۸ و ۱۵). راش و کراونر (۱۵)، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی را برای تخمین سطح اسیدهای آمینه برخی مواد خوراکی طیور براساس پروتئین خام و یا تجزیه تقریبی مورد استفاده قرار دادند. با استفاده از دستگاه NIR تخمین سطح اسیدهای آمینه مواد خوراکی امکان‌پذیر است (۲۳). ولی استفاده از این دستگاه نیازمند وجود داده‌های زیادی می‌باشد که با توجه به عدم وجود داده برای کالیبراسیون، با کاربرد این دستگاه نمی‌توان به دقت سطح اسیدهای آمینه ارزن مرواریدی را تخمین زد (۲۳). تاکنون اندازه‌گیری سطح اسیدهای آمینه در ارزن مرواریدی فقط از طریق استفاده از روش‌های آزمایشگاهی صورت گرفته است. بنابراین هدف این مطالعه، بررسی امکان استفاده از مدل‌های ANN و MLR و مقایسه این دو مدل، جهت تخمین سطح اسیدهای آمینه موجود در ارزن مرواریدی از روی ترکیبات شیمیایی دانه (ماده خشک، پروتئین خام، چربی، خاکستر و فیبر خام) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها

جهت انجام این آزمایش از داده‌های مربوط به ۵۲ نمونه دانه ارزن مرواریدی موجود در گزارش دنی ساینق (۲۰)، استفاده شد. میزان ماده خشک، پروتئین خام، چربی، خاکستر، فیبر خام و ۱۸ اسید آمینه مربوط به ۵۲ نمونه مختلف ارزن مرواریدی برای مدل‌سازی با رگرسیون خطی چندگانه، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه این دو روش، استفاده شد.

رگرسیون خطی چندگانه (MLR)

با این روش می‌توان همزمان به تحلیل و بررسی چندین متغیر مختلف پرداخت. برای بدست آوردن نتایج مطلوب‌تر از طریق MLR، نمونه‌ها باید زیاد و دقیق باشند. زیرا این روش در مقابل اطلاعات نادرست، حساسیت بالایی دارد و ورود چنین داده‌هایی ممکن است منجر به بروز خطاهای بزرگی در نتایج بدست آمده شود (۵). علاوه بر

تاکنون گزارشات متعددی مبنی بر تاثیر ترکیبات شیمیایی دانه بر میزان اسید آمینه آن گزارش شده است (۹ و ۱۲). برای تخمین اسیدهای آمینه هم می‌توان از پروتئین به تنهایی به عنوان ورودی استفاده کرد (۹) و هم می‌توان تجزیه تقریبی را مورد استفاده قرار داد (۱۲). در NRC (۱۹۹۴) برای تخمین سطوح اسید آمینه (\hat{y}) برخی اجزای خوراک با استفاده از پروتئین خام از مدل رگرسیونی زیر استفاده شده است:

$$\hat{y} = a + bx$$

در این معادله، x ، پروتئین خام نمونه‌های خوراکی، a ، عرض از مبدا و b ، ضریب رگرسیون می‌باشد. همچنین برای تخمین اسید آمینه با استفاده از تجزیه تقریبی (پروتئین خام، رطوبت، چربی، فیبر خام و خاکستر)، مدل زیر پیشنهاد شده است:

$$\hat{Y} = a + b_1(\text{درصد پروتئین}) + b_2(\text{درصد رطوبت}) + b_3(\text{درصد خاکستر}) + b_4(\text{درصد فیبر}) + b_5(\text{چربی})$$

که در این معادله، b_1 ، ضریب رگرسیون می‌باشد. دقت معادلات رگرسیونی گزارش شده در NRC سال ۱۹۹۴ جهت تخمین میزان اسیدهای آمینه مواد خوراکی، متغیر و در برخی موارد پایین می‌باشد (R2 کمتر از ۰/۵).

مقادیر R^2 ، جذر میانگین مربعات خطا و میزان اریبی برای داده‌های آموزش و ارزیابی به منظور تخمین میزان اسیدهای آمینه با استفاده از تجزیه تقریبی برای مدل‌های ANN و MLR به ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. مقایسه بین مقادیر R^2 و پارامترهای خطا در مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند بیان‌کننده دقت این مدل‌ها جهت برآورد مقادیر خروجی باشد به طوری که مدل دارای بیشترین R^2 و کمترین میزان خطا، از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین مقادیر مثبت اریبی نشان دهنده‌ی این است که مدل ارائه شده، داده‌ها را بیشتر از مقادیر واقعی تخمین زده است و مقادیر منفی اریبی نشان دهنده‌ی این است که داده‌های تخمین زده شده توسط مدل نسبت به داده‌های واقعی کوچکتر می‌باشند. در مقایسه عملکرد بین مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی، بررسی R^2 و معیارهای خطا بین داده‌های ارزیابی نسبت به داده‌های آموزش حاصل از دو مدل از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا مقایسه بین داده‌های ارزیابی در مدل‌های استفاده شده نشان می‌دهد که کدام یک از این مدل‌ها نسبت به تغییرات داده‌ها یا به عبارتی معرفی داده‌های جدید انعطاف پذیری بیشتری نشان می‌دهند.

ارزیابی آماری مدل MLR نشان داد که بین متغیرهای پیشگو و متغیر پاسخ در هر دو گروه آموزش و ارزیابی ارتباط خطی وجود دارد، هر چند برای برخی از اسیدهای آمینه این ارتباط ضعیف به نظر می‌رسد (لبزین، متیونین، ترئونین، تریئوفان، سیستئین، گلايسین). بررسی و مقایسه دقت تخمین بین مدل‌های ANN و MLR برای اسیدهای آمینه نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مصنوعی

خروجی مطلوب، باعث می‌شود که ضریب وزنی شبکه تغییر یابد به طوری که در دفعات بعد خروجی درست‌تری حاصل می‌شود (۲).

طراحی روند آموزش برای شبکه‌های عصبی مصنوعی

به منظور پردازش داده‌ها، از شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با ۵ ورودی (پروتئین خام، خاکستر، چربی، ماده خشک و فیبر خام)، یک خروجی (اسید آمینه) و تابع فعال‌سازی تانژانت هائیربولیک استفاده شد. تعداد نرون مورد استفاده در لایه پنهان برای هر اسید آمینه در جدول ۳ آورده شده است. مدل سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار شبکه‌های عصبی استاتستیکا ۸ انجام شد (۲۱).

به منظور بررسی و ارزیابی شبکه‌های مختلف، داده‌ها به طور تصادفی به دو قسمت آموزش (۷۰ درصد) و ارزیابی (۳۰ درصد) تقسیم شدند. برای پیدا کردن بهترین پیش‌بینی‌ها، شبکه‌های مختلفی بر داده‌های مذکور اعمال شدند. در مرحله ارزیابی، مدل‌های شبکه‌های عصبی آموزش دیده به وسیله مجموعه داده‌های ارزیابی که مستقل از داده‌های آموزش بودند، مورد آزمون قرار گرفتند (۱۰).

تخمین اسیدهای آمینه با استفاده از روش MLR

نتایج رگرسیون خطی با استفاده از تجزیه تقریبی (پروتئین خام، خاکستر، چربی، ماده خشک و فیبر خام)، به عنوان متغیرهای پیشگو و هر یک از اسیدهای آمینه به عنوان متغیر پاسخ بدست آمدند. مدل سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد (۱۷). جهت تخمین اسیدهای آمینه با استفاده از MLR، از همان ۷۰ درصد داده‌های استفاده شده در آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. همچنین جهت مقایسه‌ی داده‌های ارزیابی دو مدل با یکدیگر، داده‌های ارزیابی استفاده شده در ANN نیز در مدل رگرسیونی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ارزیابی آماری مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌ها می‌توان از ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (۱۶) و روش اریبی (۱۶) استفاده کرد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ مدل‌های رگرسیونی بدست آمده در رابطه با داده‌های آموزش برای تخمین هر اسید آمینه با استفاده از تجزیه تقریبی نشان داده شده است. بررسی این مدل‌ها نشان داد که بین تجزیه تقریبی و میزان اسید آمینه موجود در ارزن مرواریدی، یک رابطه خطی وجود دارد. گرچه گاهی این روابط به صورتی نه چندان قوی مشاهده شد.

احمدی و همکاران (۴)، نشان دادند که ANN نسبت به مدل‌های MLR می‌تواند TME_n پودر پر و ضایعات کشتارگاهی طیور را براساس ترکیبات شیمیایی، با دقت بیشتری پیش‌بینی کند. همچنین پیرای و همکاران (۱۳)، صحت عملکرد مدل‌های ANN نسبت به MLR را جهت تخمین مقادیر TME_n پودر گوشت و استخوان گزارش کردند. صدقی و همکاران (۱۸)، از مدل‌های MLR و ANN جهت تخمین میزان TME_n دانه سورگوم با استفاده از ترکیبات شیمیایی (ترکیبات فنلی، پروتئین خام، چربی خام، فیبر خام و خاکستر) استفاده کردند. نتایج این محققین نیز نشان داد که TME_n سورگوم توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با صحت و دقت بیشتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی قابل تخمین می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که میزان اسیدهای آمینه دانه‌ی ارزن مرورایدی می‌تواند با استفاده از ترکیبات شیمیایی آن تخمین زده شود. بعلاوه نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل ANN در مقایسه با MLR جهت برآورد میزان هر یک از اسیدهای آمینه ارزن مرورایدی بر اساس ترکیبات شیمیایی (ماده خشک، پروتئین خام، چربی، خاکستر و فیبر خام) دارای قدرت تخمین بیشتری می‌باشد.

می‌توانند ارتباطات بین ورودی و خروجی را در مورد این اسیدهای آمینه بهتر بیان نموده و قابلیت و دقت تخمین مقادیر خروجی را بهبود بخشند (جدول ۳). نتایج بدست آمده در این آزمایش موافق با نتایج گزارشات قبلی بود که نشان دادند تخمین اسیدهای آمینه کنجاله سویا، ذرت، پودر گوشت و استخوان و گندم (۸،۷ و ۱۵)، با استفاده از ANN دارای دقت بالاتری نسبت به MLR می‌باشند. راش و کراونر (۱۵)، قدرت تخمین مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی را جهت تخمین سطح اسیدهای آمینه گندم، کنجاله سویا، پودر گوشت و استخوان و پودر ماهی بر اساس پروتئین خام و یا تجزیه تقریبی (به عنوان متغیرهای پیشگو) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌توانند به عنوان یک روش جایگزین نسبت به مدل‌های رگرسیونی جهت تخمین مواد مغذی اقلام خوراکی به کار روند. قابلیت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین میزان اسیدهای آمینه مواد خوراکی توسط کراونر و راش (۸)، نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش این محققین نیز نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند جهت برآورد دقیق‌تر میزان اسیدهای آمینه اقلام خوراکی استفاده شوند.

جدول ۱- مدل‌های رگرسیونی بدست آمده با داده‌های آموزشی، برای تخمین هر اسید آمینه با استفاده از آنالیز تقریبی^۱

آرژنین	$0.477CF + 0.396fat + 0.211CF - 0.452Ash - 0.258DM + 0.244 =$
لیزین	$0.69CP + 0.32fat - 0.42CF + 0.307Ash - 0.556DM + 0.463 =$
CP	$0.16 + 0.12fat - 0.18CF - 0.15Ash - 0.2DM + 0.1723 =$
ایزولوسین	$0.35CP + 0.07fat + 0.45CF - 0.2Ash - 0.17DM + 0.1417 =$
لوسین	$0.82CP + 0.08fat + 0.1CF - 0.12Ash - 0.45DM - 0.3698 =$
والین	$0.4CP + 0.1fat + 0.49CF - 0.16Ash - 0.46DM - 0.379 =$
متیونین	$0.25CP + 0.35fat + 0.7CF - 0.06Ash - 0.4DM + 0.1598 =$
ترئونین	$0.55CP + 0.35fat + 0.71CF - 0.06Ash - 0.42DM + 0.304 =$
تریپتوفان	$0.15CP + 0.09fat - 0.21CF - 0.33Ash - 0.11DM + 0.924 =$
فنیل آلانین	$0.47CP + 0.1fat + 0.59CF - 0.3Ash - 0.2DM + 0.1734 =$
سیستئین	$0.16CP + 0.07fat + 0.26CF + 0.04Ash - 0.3DM - 0.289 =$
گلیسین	$0.22CP + 0.35fat + 0.36CF - 0.1Ash - 0.5DM - 0.4 =$
سرتین	$0.37CP + 0.11fat + 0.25CF - 0.12Ash - 0.4DM - 0.372 =$
گلوتامین	$0.78CP + 0.155fat - 0.42CF - 0.1Ash - 0.283DM + 0.2336 =$
آلانین	$0.457CP + 0.3fat + 0.36CF - 0.12Ash - 0.84DM - 0.688 =$
آسپارتات	$0.184CP + 0.284fat - 0.93CF - 0.8Ash + 0.408DM + 0.107 =$
پرولین	$0.49CP + 0.09fat + 0.5CF - 0.1Ash - 0.46DM - 0.3832 =$
تیروزین	$0.23CP + 0.11fat + 0.36CF - 0.2Ash - 0.32DM + 0.187 =$

۱- مقادیر ترکیبات شیمیایی و اسیدهای آمینه بر اساس درصد ماده خشک بیان شده اند.

DM = ماده خشک، Ash = خاکستر، CF = فیبر خام، Fat = چربی و CP = پروتئین خام

جدول ۲- نتایج حاصل از عملکرد رگرسیون برای تخمین مقادیر اسیدهای آمینه دانه ارزن مرواریدی بر اساس ترکیبات شیمیایی

بایاس		RMSE		R ²		اسید آمینه
مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش	مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش	مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش	
-۰/۰۳۶	۰/۰۰۰	-۰/۷۳۹۳	-۰/۸۵۷۸	۰/۷۳	۰/۷۰	آرژنین
۰/۲۲۶	۰/۰۰۰	-۰/۴۸۱۶	-۰/۲۷۴۴	۰/۱۵	۰/۵۴	لیزین
-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۸۲	-۰/۰۲۴۸	۰/۷۹	۰/۷۸	هیستیدین
-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	-۰/۲۹۷۸	-۰/۰۴۷۷	۰/۸۸	۰/۸۰	ایزولوسین
-۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۴۳	-۰/۱۰۴۹	۰/۹۰	۰/۸۲	لوسین
-۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۵۶	-۰/۰۵۴۷	۰/۷۷	۰/۸۲	والین
۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۶۸۹	-۰/۰۴۴۴	۰/۳۱	۰/۵۱	متیونین
-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۵۵	-۰/۴۹۵۴	۰/۶۸	۰/۶۶	ترئونین
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۱۷	-۰/۰۳۰۵	۰/۸۰	۰/۵۹	تریپتوفان
-۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۳۶۵	-۰/۰۶۸۴	۰/۸۶	۰/۷۸	فنیل آلانین
-۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	-۰/۳۰۲۰	-۰/۰۳۵۶	۰/۵۶	۰/۴۶	سیستئین
۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۳۵۵	-۰/۰۴۷۶	۰/۶۸	۰/۶۶	گلایسین
-۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۸۰	-۰/۰۴۰۱	۰/۸۲	۰/۸۶	سرین
-۰/۱۴۴	۰/۰۰۰	-۰/۲۳۵۱	-۰/۱۲۰۹	۰/۷۷	۰/۸۰	گلوتامین
-۰/۰۳۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۱۵	-۰/۰۵۷۷	۰/۸۰	۰/۸۲	آلانین
-۰/۹۰۵	۰/۰۰۰	-۰/۹۱۴۰	-۰/۷۷۷۸	۰/۷۷	۰/۵۷	آسپاراتات
-۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	-۰/۰۳۳۳	-۰/۰۵۳۹	۰/۹۱	۰/۸۶	پرولین
-۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۹۶	-۰/۰۳۷۷	۰/۸۷	۰/۷۰	تیروزین

جدول ۳- نتایج حاصل از عملکرد مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین مقادیر اسیدهای آمینه ارزن مرواریدی بر اساس ترکیبات شیمیایی

بایاس		RMSE		R ²		تعداد نرون	اسید آمینه
مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش	مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش	مجموعه ارزیابی	مجموعه آموزش		
-۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	-۰/۰۵۶۷	-۰/۰۶۰۹	۰/۸۴۱	۰/۸۱۷	۴	آرژنین
۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۱۵	-۰/۰۱۴۰	۰/۸۲۴	۰/۸۵۵	۴	لیزین
-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۰۶	-۰/۰۰۸۷	۰/۹۰۵	۰/۹۶۳	۴	هیستیدین
-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۱۰	-۰/۰۳۰۰	۰/۹۴۱	۰/۹۰۷	۴	ایزولوسین
۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۲۹	-۰/۰۵۹۵۱	۰/۹۵۳	۰/۹۳۰	۴	لوسین
-۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	-۰/۳۹۴۴	-۰/۰۴۷۲	۰/۸۳۸	۰/۸۳۸	۴	والین
۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	-۰/۳۵۳۵	-۰/۰۲۶۱	۰/۸۲۶	۰/۷۹۷	۴	متیونین
۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	-۰/۰۳۴۸	-۰/۰۲۶۳	۰/۸۸۶	۰/۸۸۵	۴	ترئونین
-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۰۰	-۰/۰۱۹۵	۰/۸۲۵	۰/۷۹۸	۵	تریپتوفان
۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۹۵	-۰/۰۳۵۳	۰/۹۱۴	۰/۹۳۰	۵	فنیل آلانین
-۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۵۵	-۰/۰۱۲۵	۰/۸۰۰	۰/۹۲۰	۶	سیستئین
-۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۸۸۴	-۰/۰۳۸۱	۰/۸۲۸	۰/۷۴۳	۴	گلایسین
۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۳۴	-۰/۰۲۰۲	۰/۹۱۵	۰/۹۵۶	۴	سرین
-۰/۱۵۴	۰/۰۰۵	-۰/۲۱۶۷	-۰/۰۷۸۲	۰/۸۶۸	۰/۹۰۲	۵	گلوتامین
-۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۷۲۰	-۰/۰۴۹۱	۰/۸۶۹	۰/۸۴۵	۴	آلانین
-۰/۰۸۰	۰/۰۰۰	-۰/۱۰۰۰	-۰/۰۴۱۲	۰/۸۲۴	۰/۸۰۲	۴	آسپاراتات
-۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	-۰/۰۳۳۰	-۰/۰۴۶۴	۰/۹۲۳	۰/۸۷۳	۴	پرولین
-۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۹۱	-۰/۰۱۴۸	۰/۹۵۷	۰/۹۴۵	۴	تیروزین

منابع

- ۱- جورابیان، م. و ط. زارع. ۱۳۸۴. شبکه‌های عصبی مصنوعی. اهواز. مرکز نشر دانشگاه شهید چمران.
- ۲- رحیمی، ا. و م. صدر موسوی. ۱۳۸۸. مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه با رگرسیون چندگانه در پیش‌بینی غلظت ازن در شهر تبریز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۱: ۷۲-۶۵.
- ۳- منہاج، م. ب. ۱۳۷۷. هوش محاسباتی، مبانی شبکه‌های عصبی. تهران. مرکز نشر پرفسور حسابی.
- 4- Ahmadi, H., A. Golian, M. Mottaghtalab, and N. Nariman-Zadeh. 2008. Prediction model for true metabolizable energy of feather meal and poultry offal meal using group method of data handling-type neural network. *Poult. Sci.* 87:1909-1912.
- 5- Balan, B., S. Mohaghegh, and S. Ameri. 1995. State-of-Art in permeability determination from well log data: Part 1- A comparative study, Model development. *SPE.* 30978:17-25.
- 6- Chelani, A. B., R. C. V. Chalapati, K. M. Phadke, and M. Z. Hasan. 2002. Prediction of sulphur dioxide concentration using artificial neural networks. *Environ. Modell. Softw.* 17:161-168.
- 7- Cravener, T. L., and W. B. Roush. 1999. Improving neural network prediction of amino acid levels in feed ingredients. *Poult. Sci.* 78:983-991.
- 8- Cravener, T. L., and W. B. Roush. 2001. Prediction of amino acid profile in feed ingredients: Genetic algorithm calibration of artificial neural networks. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 90:131-141.
- 9- Degussa Corporation. 1990. The Amino Acid Composition of Feedstuffs, Degussa Corp., Allendale, NJ.
- 10- Demuth, H., and M. Beale. 2003. Neural Network Toolbox for Matlab- Users Guide Version 4.1. The Mathworks Inc. Natick. USA.
- 11- Hosney, R. C., D. J. Andrews, and H. Clark. 1987. Sorghum and pearl millet. In "Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and genomic improvement. *Agron. Monogr.* 28:397-456.
- 12- National Research Council. 1994. Nutrient Requirements for Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC. USA.
- 13- Perai A. H., H. Nassiri Moghaddam, S. Asadpour, J. Bahrapour, and Gh. Mansoori. 2010. A comparison of artificial neural networks with other statistical approaches for the prediction of true metabolizable energy of meat and bone meal. *Poult. Sci.* 89:1562-1568.
- 14- Rooney, L. W., and C. M. McDonough. 1987. Food quality and consumer acceptance in pearl millet. *Proceedings, International Pearl Millet Workshop.* edited by Witcombe R. S., and J. R. Beckerman, pp.43-61. ICRISAT, Patancheru, India.
- 15- Roush, W. B., and T. Cravener. 1997. Artificial neural network prediction of amino acid levels in feed ingredients. *Poult. Sci.* 76:721-727.
- 16- Roush, W. B., W. A. Dozier III, and S. L. Branton. 2006. Comparison of Gompertz and neural networks models of broiler growth. *Poult. Sci.* 85:794-797.
- 17- SAS Institute. 2003. SAS/STAT software version 9. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- 18- Sedghi, M., M. R. Ebadi, A. Golian, and H. Ahmadi. 2011. Estimation and modeling true metabolizable energy of sorghum grain for poultry. *Poult. Sci.* 90:1138-1143.
- 19- Singh, D. N., R. Perez-Maldonado, P. F. Mannion, and D. Robinson. 2000. Pearl millet (*Pennisetum americanum*) an alternative feed grain for layers. *Proceedings 2000 Australian Poultry Science Symposium* pp. 133-136.
- 20- Singh, D. 2004. Evaluation of new millet varieties as a poultry feed ingredient. *Rural Industries res. dev. Corp. Australia*, ISBN 1 74151 082 1.
- 21- StatSoft. 2009. Statistica. Data Analysis Software System. Version 8.0. StatSoft Inc., Tulsa, OK.
- 22- Sullivan, T. W., J. H. Douglas, D. J. Andrews, P. L. Bond, J. D. Hancock, P. J. Bramel-Cox, W. D. Stegmeier, and J. R. Brethour. 1990. Nutritional value of pearl millet for food and feed. *Proceedings International Conference in Sorghum Nutritional Quality.* pp. 83-94. Purdue University, Lafayette, Indiana. USA.
- 23- Xiccato, G., Trocino, A., De Boever, J. L., Maertens, L., Carabano, R., Pascual, J.J., et al. 2003. Prediction of chemical composition, nutritive value and ingredient composition of European compound feeds for rabbits by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Anim. Feed Sci. Tech.* 104:153-168.