تعیین معادلات پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای نیتروژن در سبوس گندم تولید داخل برای تغذیه جوجه‌های گوشتی در دوره رشد

چکیده

این تحقیق به‌منظور تعیین معادلات تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای نیتروژن (AMEn) نمونه‌های سبوس گندم تولیدی در ایران انجام شد. برای این منظور تعداد ۱۲ نمونه سبوس گندم از کارخانه‌های آرد استان‌های مختلف کشور (البرز، خوزستان، همدان، شیراز، آذربایجان، لرستان، کرمان، زنجان، قم) جمع‌آوری و محتوای پروتئین خام، فیبر خام، چربی خام، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر نامحلول در شوینده خنثی آن‌ها اندازه‌گیری شد. انرژی قابل سوخت‌وساز نمونه‌های سبوس گندم با استفاده از نشانگر سلیت (به‌عنوان خاکستر نامحلول در شوینده اسیدی) روی جوجه‌های گوشتی از سن ۲۲ تا ۲۷ روزگی محاسبه شد. جیره‌ی پایه در این تحقیق شامل ذرت و کنجاله‌ی سویا بود و سبوس گندم به میزان ۳۰ درصد جایگزین جیره‌ی پایه شد. داده‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش برای تعیین معادلات تابعیت پیش‌بینی مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز با استفاده از نرم‌افزار SPSS و رویه ENTER تحلیل شدند. معادلات تابعیت پیش‌بینی مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری برای سبوس گندم تولیدشده در ایران به ترتیب AMEn=۲۳/۴۲۱× NFE و AMEn=۱۰۱/۹۷۰× CP و AMEn=۴۰۱/۴۹۹× EE و AMEn=۱۵۶/۸۵۴× CF به دست آمد که با توجه به فرا سنجه‌های P value معادلات، P value ضرایب متغیرهای مستقل، ضریب تبیین معادلات (R^2) و انحراف استاندارد پیش‌بینی معادلات، مناسب‌ترین معادله AMEn=۲۳/۴۲۱× NFE پیشنهاد شد.

کلید واژه‌ها: *انرژی قابل سوخت‌وساز، جوجه گوشتی، سبوس گندم، معادلات تابعیت پیش‌بینی*

Abstract

Development of a Prediction Equation for the Metabolizable Energy of Wheat Bran in the Nutrition of Grower Period in Broiler Chickens

This study was conducted to develop predictive regression equations for the apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AMEn) of wheat bran samples produced in Iran. To this end, twelve wheat bran samples were collected from flour mills across various provinces of the country (Alborz, Khuzestan, Hamedan, Shiraz, Azerbaijan, Lorestan, Kerman, Zanjan, Qom). The samples were analyzed for crude protein, crude fiber, crude fat, acid detergent fiber (ADF), and neutral detergent fiber (NDF) content.The apparent metabolizable energy of the wheat bran samples was determined in broiler chickens aged 22 to 27 days, using the substitution method in the diet and the CELITE marker (used as acid-insoluble ash) for digestibility calculations. The basal diet in this study consisted of corn and soybean meal, with wheat bran substituted at 30% of the basal diet.The data obtained from this experiment were analyzed using SPSS software, applying the ENTER regression procedure to develop predictive equations for AMEn based on the chemical composition of wheat bran samples.The resulting regression equations for predicting AMEn of Iranian wheat bran samples were derived, and among them, the most suitable equation was selected based on criteria including p-values of the equations, p-values of the independent variables' coefficients, the coefficient of determination (R^2), and the standard error of prediction (SEP), the most appropriate equation proposed was: AMEn=23.421×NFE.

Keywords: *Broiler chickens, Metabolizable energy, Prediction equations, Wheat bran.*

مقدمه

سبوس گندم یکی از فراورده‌های جانبی تولید آرد از گندم است که می‌توان از آن حدود ۱۰تا ۱۵ درصد در جیره غذایی مرغ گوشتی استفاده نمود (Leeson & Summers, 2001). با توجه به افزایش قیمت جهانی ذرت و افزایش تقاضا برای این غله در صنایع تولید بیواتانول و همچنین مصرف بالای آن به عنوان خوراک دام و طیور، یافتن مواد خوراکی جایگزین برای ذرت، لازم و ضروری می‌باشد. استفاده از سبوس گندم در تغذیه طیور ضمن اینکه باعث کاهش حجم استفاده از ذرت در جیره می‌شود، می‌تواند مزایایی برای سلامت پرنده و کاهش هزینه‌ی جیره‌ی غذایی داشته باشد.

برای اندازه گیری انرژی قابل سوخت‌وساز روش‌های مختلفی مانند روش های بیولوژیکی سیبالد (Sibbald, 1976)، روش جایگزینی و استفاده از نشانگر (Sibbald & Slinger , 1963)، استفاده از جدول‌های مواد مغذی اقلام خوراک (NRC, Feedsutffs)، استفاده از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک[1] و استفاده از معادلات تابعیت پیش‌بینی وجود دارد. اگر چه روش‌های بیولوژیکی دقیق هستند، اما به دلیل هزینه‌های بالا، زمان‌بر بودن و نیاز به تخصص، برای اکثر پرورش‌دهندگان طیور کاربردی نیستند. استفاده از دستگاه NIR نیز به دلیل نیاز به کالیبراسیون بر اساس نمونه‌های موجود در ایران و همچنین محدودیت تعداد دستگاه‌ها در کشور و استفاده از معادلات قدیمی (از سال ۱۹۸۹) گزینه مناسبی در این زمینه به شمار نمی‌رود. مراجعه به جداول نیز به دلیل قدیمی بودن و تفاوت ژنوتیپ گندم، شرایط کاشت، داشت و برداشت متفاوت و فراوری مختلف گندم در حصول سبوس، برای جیره نویسی در ایران چندان مطلوب نیستند. باتوجه‌به این موارد، به نظر می‌رسد کاربردی‌ترین روش، استفاده از معادلات تابعیت پیش‌بینی چندمتغیره است که بر اساس تحقیقات علمی داخلی و نمونه‌های موجود در کشور به‌دست‌آمده‌اند.

پیشینه‌ی پژوهش

در پژوهشی با استفاده از شبکه‌ی عصبی، ۳۵ نمونه‌ی سبوس گندم مورد ارزیابی قرار گرفت و برای انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی سبوس گندم معادله ارائه شد (رابطه۱). دامنه‌ی انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی بسیار گسترده بود و از ۱۲۷۳/۸۵ تا ۲۴۹۶/۰۹ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک نوسان داشت. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی نمونه‌های سبوس گندم از خروس بالغ استفاده شد که داده‌ها می‌تواند با جوجه‌های گوشتی در دوران مختلف پرورش متفاوت باشد و لازم است جهت استفاده برای مرغ‌های گوشتی اعتبارسنجی گردد (Lotfi *et al.*, 2020) .

$$TMEn = ٢٣٦٤ + ١٩\ CP + ١/٤٦\ EE\ - ٦٣CF\ - ١/٥١\ Ash\ R^2 = ٨٤/٠$$ رابطه۱)

در پژوهشی دیگر رابطه برای برآورد مقدار انرژی خالص سبوس گندم ارائه شد (رابطه۲). در این پژوهش پنج نمونه مختلف سبوس گندم از مناطق مختلف کشور چین تهیه و آزمایش روی جوجه‌های ۱۲ تا ۱۴ روزه انجام شد. جوجه‌ها در اتاقک‌های تنفسی نگهداری شدند. انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری سبوس‌های گندم که برای نیتروژن تصحیح شده بودند در دامنه‌ی بین ۱۵۹۰ تا ۱۷۹۰ کیلوکالری و دامنه‌ی انرژی خالص نمونه‌های سبوس‌های گندم بین ۱۱۶۰ تا ۱۲۸۰ کیلوکالری اندازه‌گیری شد. معادله‌ی به‌دست‌آمده برای جوجه‌های ۱۲ تا ۱۴ روزه به شرح زیر است:

[1] - Near Infrared Spectroscopy (NIR)

رابطه۲) $NE = ۸۷۰/۲۰ - ۳۸۲/۰ \times CF - ۳۶۲/۰ \times CP - ۲۴۴/۰ \times ADF \quad R^2 = ۸۷/۵$

در این رابطه CF: فیبر خام، CP:پروتئین خام و ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی است. این رابطه انرژی خالص را برآورد می‌کند که اگرچه جیره نویسی با انرژی خالص مزایایی به همراه دارد اما نمی‌تواند در شرایط فعلی کشور ما کاربردی باشد (Ning et al.,2022). باتوجه به تفاوت های ژنوتیپی، شرایط کاشت، داشت و برداشت گندم و نیز شرایط متفاوت تولید سبوس گندم در کارخانجات آرد، تعیین معادلات تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز برای انواع پرندگان صنعتی به خصوص در دوره های مختلف پرورش جوجه‌های گوشتی ضروری می باشد. لذا هدف از این پژوهش ارائه معادلات تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز بر اساس نمونه‌های مختلف سبوس گندم تولیدی در کشور برای جوجه گوشتی است.

روش شناسی پژوهش

در مجموع از تعداد ۱۱۷ قطعه جوجه خروس سویه +AA از سن ۲۲ تا ۲۷ روزگی در این تحقیق استفاده شد. جیره‌های مورد استفاده شامل یک جیره‌ی پایه و ۱۲ جیره‌ی آزمایشی بود (جدول ۱).

جدول ۱. اجزا و ترکیب شیمیایی جیره پایه

مواد خوراکی	مقدار (درصد)	انرژی و مواد مغذی	مقدار
		ماده خشک٪	۸۹/۵۰
ذرت	۶۰/۸۰	انرژی قابل سوخت‌وساز Kcal/Kg	۲۸۵۰
کنجاله سویا	۳۳/۸۲	پروتئین٪	۲۰/۰۹
روغن	۰/۵۰	چربی خام٪	۳/۶۰
سبوس گندم	۰	اسید لینولئیک٪	۱/۶۳
دی کلسیم فسفات	۱/۷۱	فیبر خام٪	۳/۱۶
کربنات کلسیم	۰/۵۷	کلسیم٪	۰/۷۰
مکمل ویتامینی[۱] و معدنی[۲]	۰/۵	فسفر کل٪	۰/۵۹
متیونین (دی ال متیونین)	۰/۳۲	فسفر قابل‌دسترس٪	۰/۳۹
ترئونین	۰/۱۰	پتاسیم٪	۰/۸۷
لیزین هیدروکلراید	۰/۱۸	کلر٪	۰/۲۲
جوش شیرین	۰/۱۶	DCAB(mg/Kg)	۲۳۳/۶۱
نمک	۰/۲۵		
بنتونیت	۰/۲۳		

[۱]پیش مخلوط ویتامینی در هر کیلوگرم جیره: ۱۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۸۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D، ۱۱ میلی‌گرم ویتامین A، ۲ میلی‌گرم ویتامین K۳، ۵/۷ میلی‌گرم ویتامین B۲، ۲ میلی‌گرم ویتامین B۶، ۰/۰۲۴ میلی‌گرم ویتامین B۱۲، ۲۸ میلی‌گرم اسید نیکوتینیک، ۵/۰ میلی‌گرم اسیدفولیک، ۱۲ میلی‌گرم اسید پانتوتنیک، ۲۵۰ میلی‌گرم کولین کلراید.

[۲]پیش مخلوط معدنی در هر کیلوگرم جیره ۱۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۶۵ میلی‌گرم روی، ۵ میلی‌گرم مس، ۲۲/۰ میلی‌گرم سلنیوم، ۵/۰ میلی‌گرم ید و ۵/۰ میلی‌گرم کبالت.

ویراستاری نشده

برای هرکدام از تیمارهای آزمایشی سه تکرار در نظر گرفته شد که هرکدام از تکرارها حاوی سه واحد آزمایشی(جوجه خروس)بودند و میانگین وزن پرندگان در هر تکرار تقریبا مشابه بود. تجزیه شیمیایی نمونه‌های سبوس گندم و فضولات شامل ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام، فیبر خام، خاکستر، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر نامحلول در شوینده خنثی در نمونه های سبوس گندم و فضولات با استفاده از روش های توصیه شده (AOAC, 1990) اندازه گیری شد. برای نمونه‌های سبوس گندم یک تکرار و برای نمونه‌های فضولات سه تکرار در نظر گرفته شد. ندازه‌گیری خاکستر نامحلول در شوینده اسیدی با روش کوکا – سینوا انجام شد (Coca-Sinova *et al.*, 2011). جهت اندازه‌گیری الیاف خام، فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی از دستگاه آنکوم تک ساخت اصفهان استفاده شد. جهت بررسی چربی از دستگاه Soxec مدل Soxec System H.T Tecator ساخت کشور سوئد استفاده شد. برای بررسی پروتئین خام از روش کلدال و توسط دستگاه دیجیتالی اتوماتیک مدل Kejeltec Auto Analyzer 1030 Tecator ساخت کشور سوئد استفاده شد. برای اندازه‌گیری انرژی خام از بمب کالری‌متر مدل EALLENKAMP autobomb ساخت کشور انگلیس استفاده شد. جهت اندازه‌گیری نشانگر خاکستر نامحلول در شویندهٔ اسیدی نیز بر اساس پروتکل اقدام گردید. عصاره‌ی عاری از نیتروژن نیز با فرمول عصاره عاری از نیتروژن = ۱۰۰ – (درصد رطوبت + درصد پروتئین خام + درصد چربی + درصد فیبر خام + درصد خاکستر) محاسبه شد. انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری و تصحیح شده بر اساس ابقای صفر نیتروژن با استفاده از نشانگر سلایت (Celite®) و روابط (۳) و (۴) محاسبه شد (Scott *et al.*, 1998).

$$AME = GE\ Diet - (GE\ Excreta \times MarkerDiet/MarkerExcreta) \quad \text{رابطه۳}$$

$$AMEn = AME - 8/73(NDiet - (MarkerDiet/MarkerExcreta) \times NExcreta) \quad \text{رابطه۴}$$

در معادلات بالا GE Diet انرژی خام در هر گرم خوراک، GE Excreta انرژی خام در هر گرم فضولات، MarkerDiet غلظت نشانگر در هر گرم از جیره، MarkerExcreta غلظت نشانگر در هر گرم از فضولات، NDiet غلظت نیتروژن در هر گرم خوراک و NExcreta غلظت نیتروژن در هر گرم فضولات است. پس از تعیین انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری و تصحیح شده برای جیره‌های آزمایشی و پایه، مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز هر یک از نمونه‌های سبوس گندم با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد (Masood *et al.*, 2011).

$$AMEn_{\text{سبوس گندم}} = AMEn_{\text{جیره آزمایش}} - ((AMEn_{\text{جیره مرجع}} - AMEn_{\text{جیره آزمایش}})/(\text{سطح جایگزینی})) \quad \text{رابطه۵}$$

انرژی قابل سوخت‌وساز و مواد مغذی نمونه‌های سبوس گندم در این تحقیق و جدول NRC 1994 و جدول اوونیک به روش تی – تست با یک نمونه با استفاده از نرم‌افزار SPSS با یکدگیر مقایسه شدند. همچنین مقایسه میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز براورد شده توسط معادله‌های مختلف و روش بیولوژیکی با استفاده از روش کاملا تصادفی و آزمون مقایسه میانگین توکی با نرم‌افزار MINI TAB نسخه‌ی ۱۶ انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های سبوس گندم و استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و رویه Enter، معادله تابعیت پیش‌بینی برآورد شد. معادله تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز با توجه به فراسنجه های P value معادلات و ضرایب متغیرهای مستقل، ضریب تبیین معادلات و انحراف استاندارد پیش‌بینی انتخاب شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه تقریبی و انرژی قابل سوخت و سازنمونه های سبوس در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر مقدار فیبر خام به ترتیب در نمونه شیراز ۶/۵ و کرمان ۱۰/۱ با ضریب تغییرات ۹/۲۸ و میانگین ۸/۷۵ بود. حداقل و حداکثر پروتئین

خام مربوط به نمونه‌های تهیه شده از استان زنجان بود که کمترین مقدار مربوط به آرد کارخانه زنجان ۱۲/۶۱و حداکثر پروتئین خام مربوط به آرد مینو زنجان ۱۴/۳۴ بود.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری نمونه های مختلف سبوس گندم

نام نمونه	DM[10] %	CP[9] %	EE[8] %	Ash[7] %	NFE[6] %	CF[5] %	ADF[4] %	NDF[3] %	GE[2] (Kcal/Kg)	AMEn[1] (Kcal/Kg)
ستاره البرز	۹۰/۹	۱۳/۲	۳/۸	۵/۶	۵۹/۲	۹	۱۲/۷	۳۶	۳۷۶۶	۱۳۷۸
خوزستان	۹۲/۰	۱۴/۵	۳/۲	۵/۷	۵۹/۳	۹/۱	۱۱/۶	۴۲/۸	۴۰۴۰	۱۳۰۴
امید لرستان	۹۰/۵	۱۳/۵	۳/۵	۴/۸	۶۰/۶	۸/۱	۹/۶	۴۰/۳	۳۷۹۰	۱۴۵۰
قم	۹۱/۴	۱۴/۳	۳/۶	۵/۴	۵۹/۲	۸/۹	۱۱/۰	۴۱/۱	۳۹۳۲	۱۶۷۳
مینو زنجان	۹۲/۱	۱۴/۳	۳	۴/۹	۶۰/۷	۹/۱	۱۰/۶	۳۷/۹	۴۰۲۰	۱۱۷۲
همدان	۹۲/۵	۱۴/۳	۳/۶	۵/۶	۵۹/۲	۹/۸	۱۰/۱	۴۱/۳	۳۹۶۰	۱۴۱۹
زرین خوشه البرز	۹۰/۰	۱۳/۷	۳/۶	۵/۸۶	۵۸/۰	۸/۸	۱۰/۳	۴۰/۳	۳۶۹۴	۱۵۷۸
کرمان	۹۱/۴	۱۳/۸	۴/۳	۵/۰	۵۸/۲	۱۰/۱	۱۱/۸	۴۴/۴	۳۸۱۵	۱۳۷۷
ایران عشایر لرستان	۸۹/۴	۱۳/۲	۳/۷	۴/۲	۶۰/۵	۷/۷	۸/۴	۳۸/۲	۳۶۱۱	۱۳۱۴
شیراز	۹۱/۳	۱۳/۸	۲/۹	۴/۴	۶۳/۶	۶/۵	۷/۸	۳۲/۵	۳۷۹۸	۱۴۴۷
آذربایجان	۹۱/۲	۱۳/۳	۳/۱	۶/۸	۵۸/۸	۹/۱	۱۱/۰	۳۸/۲	۳۹۱۴	۱۲۳۲
آرد زنجان	۹۱/۸	۱۲/۶	۳/۳	۴/۹	۶۱/۱	۹/۹	۱۲/۴	۴۳/۰	۳۸۵۶	۱۵۰۰
میانگین	۹۱/۲	۱۳/۷	۳/۴	۵/۲	۵۹/۸	۸/۷	۱۰/۸	۳۹/۵	۳۸۴۶	۱۴۰۴

۱–انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای نیتروژن ۲–انرژی خام ۳–فیبر شوینده خنثی ۴–فیبر شوینده اسیدی ۵–فیبر خام ۶–عصاره عاری از نیتروژن ۷–خاکستر ۸–چربی خام ۹–پروتئین خام ۱۰–ماده خشک

حداقل و حداکثر درصد چربی خام مربوط به نمونه های شیراز ۲/۹ و کرمان ۴/۳ بود. حداقل و حداکثر درصد خاکستر به ترتیب مربوط به نمونه های ایران عشایر لرستان ۴/۲۶ و آذربایجان ۶/۷۹ بود. حداقل و حداکثر درصد NFE مربوط به نمونه های زرین خوشه البرز ۵۸/۰۲ و شیراز ۶۷/۶۳ بود. حداقل و حداکثر درصد ADF به ترتیب برای نمونه های شیراز ۷/۸ و ستاره البرز ۷/ بود. حداقل و حداکثردرصد NDF به ترتیب برای شیراز ۳۲/۵و کرمان۴۴/۴ بود. بیشترین انرژی قابل سوخت‌وساز مربوط به نمونه استان قم (۱۶۷۳/۳۷۹کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک) و کمترین انرژی قابل سوخت‌وساز مربوط به نمونه‌ی مینو زنجان (۱۱۷۲ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک) بود. به نظر می‌رسد تفاوت‌هایی که در آنالیز تقریبی و نتایج فوق مشاهده می‌شود به عواملی مانند ژنوتیپ ، شرایط کاشت، داشت و برداشت گندم و نحوه فراوری سبوس گندم مرتبط باشد (Lasek *et al*., 2020) .

همان‌طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، تنوع قابل‌توجهی در میزان انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی بین نمونه‌های مختلف سبوس گندم وجود دارد. این یافته با نتایج مطالعات سایر پژوهشگران نیز همخوانی دارد (Nadeem *et al*., 2005). در پژوهشی دامنه انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی سبوس گندم بین ۱۶۶۳ تا ۳۱۷۸ کیلوکالری در هر کیلوگرم ماده خشک گزارش گردید. پژوهشگران علت مقادیر بالای انرژی در برخی نمونه‌ها را وجود جنین دانه گندم در ضایعات جانبی دانسته‌اند که موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای نمونه‌ها شده است (Allen, 1990). همچنین، در تحقیقی با استفاده از روش سیبالد و بهره‌گیری از خروس‌های بالغ، انرژی قابل سوخت‌وساز حقیقی سبوس گندم ۲۲۷۴ کیلوکالری در هر کیلوگرم ماده خشک اعلام شد (Lasek *et al*., 2020) . همچنین، پژوهشگران در مطالعه‌ای دیگر میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز سبوس گندم را ۱۶۰۰ کیلوکالری در هر کیلوگرم ماده خشک گزارش کردند که این مقدار حدود ۲۰۰ کیلوکالری بیشتر از میانگین اندازه‌گیری‌شده در پژوهش حاضر است. این تفاوت می‌تواند به دلیل میزان بالاتر پروتئین (میانگین ۱۸/۱ درصد) و تفاوت در سایر مواد مغذی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده باشد (Hill *et al*., 1960).

بحث

مقایسه‌ی آماری نتایج آنالیز تقریبی و انرژی قابل سوخت وساز حاصل از این تحقیق و جدول NRC 1994 و داده های NIR به روش تی – تست با یک نمونه، در جدول شماره ۳ نشان‌داده‌شده است.

جدول ۳. مقایسه نتایج آنالیز تقریبی و انرژی قابل سوخت وساز حاصل از این تحقیق و جدول NRC 1994 و داده های NIR

منبع داده	ماده خشک	AMEn[1](Kcal/Kg)	%CP[2]	%CF[3]	%EE[4]	%ADF[5]	%NDF[6]	خاکستر٪	%NFE[7]
عدد جدول NRC1994	۸۹**	۱۳۰۰(NS)	۱۵/۷**	۱۱**	۳**	----	----	-----	-----
داده های NIR	۸۸**	۱۹۱۳**	۱۴/۴۱**	۸/۵۶(NS)	۳/۹۵**	۱۱/۲۶(NS)	۳۸/۰۲(NS)	۴/۹۶(NS)	۵۵/۸۶**
میانگین تحقیق حاضر	۹۱/۲۹	۱۴۰۴	۱۳/۷۵	۸/۷۵	۳/۴۶	۱۰/۸۶	۳۹/۵۶	۵/۲۹	۵۹/۸۹

۱-انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای نیتروژن۲-پروتئین خام۳-فیبر خام۴-چربی خام۵-فیبر شوینده اسیدی۶-فیبر شوینده خنثی۷-عصاره عاری از نیتروژن

** نشان دهنده‌ی معنی داری در سطح یک درصد و نماد (NS) به معنی عدم معنی داری است.

میانگین ماده خشک نمونه‌های این تحقیق ۹۱/۲۹٪ بود که اندکی بالاتر از مقادیر گزارش شده در دو منبع دیگر یعنی NRC ۸۹٪ و NIR ۸۸٪ است. میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز نمونه‌ها در این مطالعه ۱۴۰۴ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک است که نسبت به NRC (۱۳۰۰ کیلوکالری) بیشتر و نسبت به داده‌های NIR (۱۹۱۳ کیلوکالری) کمتر می‌باشد؛ لازم به ذکر است که تفاوت انرژی قابل سوخت‌وساز بین NRC و میانگین تحقیق معنی‌دار نبود، اما تفاوت داده‌های NIR نسبت به سایر منابع معنادار گزارش شده است. در مورد ترکیبات پروتئین خام(CP)، میانگین این تحقیق ۱۳/۷۵٪ است که کمتر از NRC (۱۵/۷٪) و NIR (۱۴/۴۱٪) بوده و تفاوت‌ها در این مورد معنی‌دار است. فیبر خام (CF) در نمونه‌های این تحقیق ۸/۷۵٪ است که با داده‌های NIR تفاوت معنی‌داری ندارد، اما اختلاف قابل توجهی با مقدار مندرج در NRC (۱۱٪) دارد. درصد ماده چربی (EE) در این تحقیق ۳/۴۶٪ گزارش شده که در مقایسه باNRC ۳٪ تفاوت معنی‌داری دارد و نسبت به NIR ۳/۹۵٪ کمتر است. همچنین بین درصد های فیبر محلول در شوینده اسیدی (ADF)، NDF و خاکستر در میانگین این پژوهش و داده های NIR تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. میانگین عصاره عاری از نیتروژن (NFE) در این تحقیق به طور معنی‌داری بیشتر از داده های NIR است. تفاوت‌های مشاهد شده می‌تواند ناشی از تفاوت در منابع نمونه‌برداری، روش نمونه‌برداری، شرایط محیطی کاشت و پرورش گندم و فرآوری سبوس باشد. این امر اهمیت توجه به شرایط بومی و استفاده از داده‌های داخلی را برای فرموله کردن جیره‌های دقیق‌تر تأکید می‌کند.

معادلات تابعیت خطی پیش‌بینی: برای برآوردکردن معادلات در نرم‌افزار SPSS پس از ثبت داده‌ها، دستور ایجاد معادلات با عرض از مبدأ داده شد؛ اما معادله‌ای به همراه عرض از مبدأ با توجه به شاخص‌هایی مانند *Pvalue* معادله و ضرایب متغیر مستقل، ضریب تبیین (R^2) معادله، خطای استاندارد پیش‌بینی (SEP^2) برازش نشد. در نهایت چهار معادله بر اساس فاکتورهای نام‌برده با رویه‌ی ENTER برآورد شدند که چهار معادله تابعیت خطی پیش‌بینی برآورد شد که در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. معادله اول بر اساس عصاره عاری از نیتروژن، معادله دوم بر اساس پروتئین خام، معادله سوم بر اساس چربی خام و معادله چهارم بر اساس فیبر خام برآورد شدند. جزئیات معادلات تابعیت مورد ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است، با اینکه تمامی معادلات تابعیت معنی‌دار شدند؛ اما توجه به نکات زیر جهت انتخاب بهترین معادله تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ضروری است.

جدول ٤. مشخصات معادلات تابعیت براورد شده

معادله (بر حسب ماده خشک)	*P value* معادله	*P value* متغیر مستقل	SEP(Kcal/Kg)	ضریب تبیین(٪)
AMEn=۲۳/٤۲۱NFE	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۴۱/۸	۹۹

[2] Standard Error of Prediction

AMEn=۱۰۱/۹۷۰CP	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۵۰/۰	۹۸/۹
AMEn=٤٠١/٤٩٩EE	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۷۲/۷	۹۸/۵
AMEn=۱٥٦/۸٥٤CF	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۰۸/۴	۹۷/۸

کلمات SEP: standard eror prediction به معنی انحراف استاندارد پیش‌بینی و p value:probability value به معنی سطح معنی داری هستند.

در معادله اول عصاری عاری از نیتروژن برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز پیشنهاد شده است که هم معادله و هم ضریب متغیر مستقل از معنی‌داری بالایی برخوردار است. اگر عصاره عاری از نیتروژن از روند براورد حذف شود، پروتئین خام برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز انتخاب می‌شود که در معادله شماره‌ی دو از پروتئین خام برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز استفاده شده است. پس از حذف پروتئین خام از روند براورد، چربی خام برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز انتخاب می‌شود که در معادله سوم از چربی خام برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز استفاده شده است. در نهایت با حذف چربی خام از براورد، فیبر خام برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز انتخاب شد. اگر چه هر چهار معادله بالا ضریب تبیین مطلوبی دارند و هم معادله و هم ضرایب متغیرهای مستقل موجود در معادله معنی‌دار شده‌اند؛ اما انحراف استاندارد پیش‌بینی در بین این چهار معادله با یکدیگر متفاوت است. انحراف استاندارد پیش‌بینی نشان می‌دهد که مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز برآورد شده در هر معادله چقدر می‌تواند با انرژی قابل سوخت‌وساز تعیین شده به روش بیولوژیکی تفاوت داشته باشد.

هر چقدر که مقدار انحراف استاندارد پیش‌بینی در یک معادله کمتر باشد، معادله دقت بالاتری در برآورد خواهد داشت و اختلاف مقدار برآورد شده با مقدار حقیقی کمتر خواهد بود. پس می‌توان گفت که معادله اول که بر مبنای عصاره‌ی عاری از نیتروژن ایجاد شده است در کنار ویژگی‌هایی مانند ضریب تبیین بالا و معنی‌دار بودن معادله و متغیر مستقل، کمترین مقدار انحراف استاندارد پیش‌بینی را داشته و برآوردهای این معادله به واقعیت نزدیک‌تر است. اما عصاره‌ی عاری از نیتروژن یک خصوصیت خوراک است که به‌واسطه‌ی محاسبات ریاضی به دست می‌آید و عملاً روش مستقیمی بر ارزیابی آن وجود ندارد. به‌دست‌آوردن این کمیت وابسته به‌اندازه گیری ماده خشک و چهار فاکتور دیگر فیبر خام، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر است. در نتیجه استفاده از این معادله اگرچه دقت بالایی دارد اما برآورد انرژی قابل سوخت‌وساز با این معادله هزینه و زمان بالاتری نیاز دارد. اما در خصوص سه معادله دیگر با توجه به انحراف استاندارد پیش‌بینی و هزینه و زمان صرف شده برای اندازه‌گیری متغیر مستقل، معادله دوم که دارای متغیر مستقل پروتئین خام است با کمترین انحراف استاندارد پیش‌بینی می تواند از دقت بالاتری در براورد انرژی قابل سوخت و ساز برخوردار باشد.

مقایسه آماری بین دقت و عملکرد معادلات مختلف در جدول شماره ۵ مشاهده می شود، مقایسه میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز براورد شده توسط معادله‌های مختلف و روش بیولوژیکی با استفاده از روش کاملا تصادفی و آزمون مقایسه میانگین توکی نشان می‌دهد که بین معادلات مختلف این تحقیق از نظر میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز تخمین زده شده و روش بیولوژیکی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما بین مقدار پیش‌بینی‌شده توسط معادله NRC ۱۹۹۴ (MEn = 40.1 × DM - 40.1 × ash - 165.39 × CF) و معادلات این تحقیق و روش بیولوژیکی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. معادله براورد شده بر مبنای CP از لحاظ میانگین پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز بر حسب کیلوکالری بر کیلوگرم (۱۴۰۱) اختلافی حدود کمتر از ۰/۰۰۲درصد نسبت به میانگین مقادیر بیولوژیک دارد. درحالیکه این اختلاف برای معادله تهیه شده بر مبنای NFE با سطح انرژی ۱۴۰۲کیلوکالری بر کیلوگرم حدود ۰/۰۰۱- درصد است. معادله تهیه شده بر مبنای EE از لحاظ میانگین پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز بر حسب کیلوکالری بر کیلوگرم با سطح انرژی ۱۳۹۱ اختلافی حدود ۰/۰۰۹- درصد دارد و معادله تهیه شده بر مبنای CF نیز با سطح انرژی ۱۳۸۶ کیلوکالری بر کیلوگرم اختلافی حدود ۰/۰۱۲- درصد دارد. همانطور که در جدول شماره ۵ مشاهده می گردد به‌کاربردن معادله‌ی پیشنهادی۱۹۹۴ NRC باعث برآورد بیش از ۴۱ درصد انرژی قابل سوخت‌وساز نمونه‌های مختلف سبوس گندم در این تحقیق شده است. دلایل این امر ممکن است به

علت تفاوتهای ژنوتیپی، شرایط مربوط به کشت، داشت، برداشت گندم و فراوری های مختلف تهیه سبوس گندم در نمونه‌های این تحقیق با نمونه‌های به‌کاربرده شده برای معادله NRC۱۹۹۴ باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز تخمینی بین معادله‌های مختلف و روش بیولوژیکی

معادله	میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری (کیلوکالری بر کیلوگرم ماده خشک)	درصد اختلاف نسبت به روش بیولوژیکی	میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری (کیلوکالری بر کیلوگرم as fed)	درصد اختلاف نسبت به روش بیولوژیکی
بیولوژیک	۱۴۰۴^{a}	۰	۱۲۸۱^{a}	۰
معادله تهیه شده بر مبنای CP	۱۴۰۱^{a}	-۰/۰۰۲	۱۲۷۹^{a}	-۰/۰۰۲
معادله تهیه شده بر مبنایNFE	۱۴۰۲^{a}	-۰/۰۰۱	۱۲۸۰^{a}	-۰/۰۰۱
معادله تهیه شده بر مبنایEE	۱۳۹۱^{a}	-۰/۰۰۹	۱۲۷۰^{a}	-۰/۰۰۹
معادله تهیه شده بر مبنایCF	۱۳۸۶^{a}	-۰/۰۱۲	۱۲۶۶^{a}	-۰/۰۱۲
معادله NRC 1994[1]	۱۹۸۴^{b}	+۴۱	۱۷۶۶^{b}	+۴۱
SEM[2]	۳۷/۷۳		۳۴/۱۸	
CV[3] (٪)	۹/۳		۹/۲	
Pvalue	۰/۰۰۱		۰/۰۰۱	

^{a,b} حروف غیرمشترک در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است (P<0/01).

[1] $MEn = 40.1 \times DM - 40.1 \times ash - 165.39 \times CF$

[2] Standard error of the mean:خطای استاندارد میانگین

[3] Coefficient of variation:ضریب تغییرات

نتیجه گیری و پیشنهاد ها

در نهایت به نظر می‌رسد باتوجه به مولفه‌های ضریب تبیین R^2 و میزان معنی‌داری معادلات تابعیت خطی پیش‌بینی و همچنین معنی‌داری متغیرهای مستقل و مقدار SEP، معادله‌ی تابعیت خطی پیش‌بینی زیر (رابطه ۶) برای تخمین انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده بر اساس نیتروژن نمونه‌های سبوس گندم به کار رفته در کشور ایران مناسب و قابل پیشنهاد باشد.

$$AMEn\ wheat\ bran\ (kcal/kg\ of\ DM) = 23/421NFE \quad R^2 = 0/99 (P<0/01)$$ رابطه ۶)

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان این مقاله وجود ندارد.

منابع

Allen, R. D. (1990). Ingredient analysis table: 1990 edition. *Feedstuffs*, *62*, 24–37.

Association of Official Analytical Chemists. (1990). Official methods of analysis (Vol. 2, 15th ed., pp. 69–88). Arlington, VA: AOAC.

ویراستاری نشده

De Coca-Sinova, A., Mateos, G. G., González-Alvarado, J. M., Centeno, C., Lázaro, R., & Jiménez-Moreno, E. (2011). Comparative study of two analytical procedures for the determination of acid insoluble ash for evaluation of nutrient retention in broilers. *Spanish Journal of Agricultural Research, 9*(3), 761–768. https://doi.org/10.5424/sjar
Hill, F. W., Anderson, D. L., Renner, R., & Carew, L. B., Jr. (1960). Studies of the metabolizable energy of grain and grain products for chickens. *Poultry Science, 39*(3), 573–579. https://doi.org/10.3382/ps.0390573
Lasek, O., Barteczko, J., Barć, J., & Micek, P. (2020). Nutrient content of different wheat and maize varieties and their impact on metabolizable energy content and nitrogen utilization by broilers. *Animals, 10*(5), 907. https://doi.org/10.3390/ani10050907
Leeson, S., & Summers, J. D. (2001). *Scott's nutrition of the chicken*. University Books, Ontario.
Lotfi, M., Shariatmadari, F., Ahmadi, H., & Sharafi, M. (2020). Estimation and prediction of metabolizable energy contents of wheat bran for poultry. *Journal of Agricultural Science and Technology, 22*(4), 965–976.
Masood, W., Khan, S. H., Bhatti, S. A., & Parveen, A. (2011). Comparison of sample source (excreta or ileal digesta) and age of broiler chick on measurement of apparent metabolisable energy of local feed ingredients. *Journal of Applied Animal Research*, 39(4), 359-366. https://doi.org/10.1080/09712119.2011.621534
Martínez, Y., Carrión, Y., Rodríguez, R., Valdivié, M. I. I. I., Olmo, C., Betancur, C., ... & Duraipandiyan, V. (2015). Growth performance, organ weights and some blood parameters of replacement laying pullets fed with increasing levels of wheat bran. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 17(3), 347-354. https://doi.org/10.1590/1516-635X1703347-354
Nadeem, M. A., Gilani, A. H., Khan, A. G., & Mahr-un-Nisa, M. U. N. (2005). True metabolizable energy values of poultry feedstuffs in Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 990–994.
Ning, R., Cheng, Z., Liu, X., Ban, Z., Guo, Y., & Nie, W. (2022). Evaluating and predicting net energy value of wheat and wheat bran for broiler chickens. *Animal Bioscience, 35*(11), 1760. https://doi.org/10.5713/ab.21.0501
Scott, T. A., Silversides, F. G., Classen, H. L., Swift, M. L., Bedford, M. R., & Hall, J. W. (1998). A broiler chick bioassay for measuring the feeding value of wheat and barley in complete diets. *Poultry Science, 77*, 449–455. https://doi.org/10.1093/ps/77.3.449
Sibbald, I. R. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry science*, 55(1), 303-308. https://doi.org/10.3382/ps.0550303
Sibbald, I., & Slinger, S. (1963). A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. *Poultry Science, 42*(2), 313–325. https://doi.org/10.3382/ps.0420313

Introduction

Wheat bran is a major by-product of the flour milling industry and has garnered increasing attention as a partial substitute for corn in poultry nutrition. The global surge in corn prices, coupled with escalating demand for corn in bioethanol production and animal feed, has intensified the search for alternative feed ingredients. Wheat bran, with its rich content of insoluble fiber and betaine, not only offers a cost-effective alternative but also confers several health benefits to poultry, such as improved gut health, enhanced antioxidant status, and reduced risk of coccidiosis. Its high levels of betaine and phenolic compounds have been linked to improved mucosal integrity and antioxidant capacity, respectively, while its insoluble fiber content supports digestive enzyme secretion and beneficial gut microbiota. Despite these advantages, the metabolizable energy (ME) content of wheat bran is highly variable, influenced by wheat genotype, agronomic conditions, and processing methods. Accurate estimation of the nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (AMEn) of wheat bran is therefore essential for precise feed formulation, optimal broiler performance, and economic efficiency in poultry production.

Materials and Methods

This study aimed to develop robust prediction equations for the AMEn of wheat bran samples produced in Iran, tailored for use in broiler chicken diets. For each experimental treatment, three replicates were considered, with each replicate consisting of three experimental units (male broiler chicks). A total of 21 wheat bran samples were collected from flour mills in diverse provinces, including Alborz, Khuzestan, Hamedan, Shiraz, Azerbaijan, Lorestan, Kerman, Zanjan, and Qom. Each sample underwent proximate analysis to determine dry matter (DM), crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE), ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and nitrogen-free extract (NFE), following AOAC (1990) protocols.

To determine AMEn, a biological assay was conducted using 120 AA+ strain broiler cockerels aged 22 to 27 days. The experimental design included a basal diet (corn-soybean meal-based) and 11 test diets, each formulated by replacing 30% of the basal diet with a different wheat bran sample. After a three-day adaptation period, 2% Celite® (acid-insoluble ash) was added as an indigestible

marker to all diets. Each diet was fed to three replicates of three birds each. Excreta were collected over three days, dried, ground, and analyzed for gross energy and nitrogen content. The AMEn of each wheat bran sample was calculated using the substitution method and the following equations:

AME = GE_Diet – [GE_Excreta × (Marker_Diet / Marker_Excreta)]

AMEn = AME – 8.73 × [N_Diet – (Marker_Diet / Marker_Excreta) × N_Excreta]

where GE is gross energy, N is nitrogen, and Marker refers to the concentration of acid-insoluble ash. Statistical analyses, including regression modeling, were performed using SPSS (ENTER procedure) to derive prediction equations for AMEn based on the chemical composition of the wheat bran samples.

Results and Discussion

The proximate analysis revealed considerable variation among the wheat bran samples: CP ranged from 12/61% to 14/57%, CF from 6/5% to 10/1%, EE from 2/9% to 4/6%, ash from 4.24% to 6.97%, NFE from 58/02% to 63/67%, ADF from 7.8% to 12/4%, and NDF from 32/5% to 44/4%. The AMEn values of the samples ranged from 1271 to 1973 kcal/kg DM, highlighting the influence of regional and processing differences.

Regression analysis yielded several prediction equations for AMEn, with the following being the most notable:

AMEn = 23/421 × NFE

AMEn = 101/97 × CP

AMEn = 104/99 × EE

AMEn = 156/854 × CF

Among these, the equation based on NFE (AMEn = **23/421** × NFE) demonstrated the highest predictive accuracy, as indicated by the highest coefficient of determination (R^2), lowest standard error of prediction (SEP), and statistically significant p-values. This finding underscores the pivotal role of NFE as a single, robust predictor of the metabolizable energy content of wheat bran for broilers. The results align with previous studies, such as those by Lotfi et al. (2020) and Ning et al. (2022), though differences in absolute values and relationships are attributable to local wheat varieties, environmental conditions, and processing techniques. The study also highlights the limitations of relying on outdated feed tables or equations derived from foreign datasets, emphasizing the necessity of locally validated prediction models for Iranian wheat bran.

The observed variability in wheat bran composition and energy content underscores the importance of routine chemical analysis and the use of updated, locally relevant prediction equations in feed formulation. The inclusion of wheat bran at appropriate levels can reduce feed costs, improve gut health, and potentially enhance immune function in broilers, provided that its energy contribution is accurately estimated. The study further suggests that periodic reassessment of prediction equations is warranted, given ongoing changes in wheat cultivation and processing practices.

Conclusion

This research successfully established a practical and accurate prediction equation for the nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (AMEn) of wheat bran produced in Iran, based on its chemical composition. The equation **AMEn (kcal/kg) = 23/421 × NFE (%)** is recommended for use in broiler diet formulation to ensure precise energy supply and optimal performance. The significant variability in wheat bran composition observed in this study reinforces the importance of regular chemical analysis and the use of locally derived prediction models. Future research should focus on validating these findings across different broiler strains, production systems, and wheat genotypes, as well as exploring the broader effects of wheat bran inclusion on poultry health and productivity.

The authors' contributions to this article are equal.