

پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ارقام رایج جو در استان البرز با استفاده از معادلات تابعیت خطی

رسول اکبری^۱، حسین مروج^{۲*} و کامران رضایزدی^۳

۱ و ۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۲۱)

چکیده

این تحقیق به منظور تعیین معادلات پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح‌شده برای نیتروژن (AMEn) در ۱۱ رقم جو رایج (والفجر، کارون، بهمن، ارس، دشت، افضل، زرجو، کویر، ریحانی، ماکویی و یوسف) در استان البرز تهیه شد. همه این ارقام از لحاظ آنالیز تقریبی، نشاسته، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، تجزیه و تحلیل شدند. این نتایج نشان داد بیشترین ضریب تغییرات مربوط به چربی خام ۲۵/۵ درصد و همچنین کمترین ضریب تغییرات مربوط به عصاره عاری از نیتروژن ۴/۲ درصد بود. اندازه‌گیری انرژی قابل سوخت‌وساز با نشانگر اکسید کروم روی خروس‌های بالغ ردایلند قرمز صورت گرفت. جیره پایه در این تحقیق شامل ذرت، کنجاله سویا و مکمل‌های ویتامینی و معدنی و هریک از جیره‌های آزمایشی نیز حاوی ۳۰ درصد جو به‌عنوان جایگزین ذرت و سویا در جیره پایه و ۷۰ درصد باقیمانده در بین جیره‌ها ثابت بود. نتایج حاصل از تابعیت چندگانه نشان داد که نشاسته برای معادله تخمین انرژی قابل سوخت‌وساز مناسب‌تر از سایر متغیرهاست. معادله پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز بر اساس ترکیب شیمیایی به صورت زیر است:

$$\text{AMEn}_{\text{barley}} (\text{kcal/kg of DM}) = 52 \times \text{Starch} (R^2 = 0.985, P < 0.000)$$

واژه‌های کلیدی: انرژی قابل سوخت‌وساز، جو، خروس‌های بالغ، معادلات تابعیت پیش‌بینی.

مقدمه

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. از دیرباز به عنوان یکی از اقلام جایگزین ذرت و گندم در جیره‌های طیور مطرح بوده است و با توجه به افزایش قیمت جهانی ذرت و افزایش تقاضا برای این غله در صنایع تولید متانول در کنار مصرف بالای آن در صنایع خوراک دام و طیور، یافتن جایگزینی برای آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. مقدار بیشتر از ۲۰-۱۵ درصد جو در جیره با استفاده از آنزیم بدون بروز مشکلات تغذیه‌ای، قابل استفاده است. (Leeson & Summers, 2001) به منظور اطمینان از فرموله‌کردن جیره‌ای متعادل و متوازن لازم است که علاوه بر مواد

مغذی (از قبیل پروتئین، اسیدهای آمینه لیزین و متیونین، کلسیم، فسفر و ...) مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز موجود در ارقام جو نیز مشخص گردد. برای تعیین انرژی قابل سوخت‌وساز موجود در اقلام خوراکی چندین روش وجود دارد، مانند روش‌های بیولوژیکی روش سببالد (Sibbald, 1976) و روش استفاده از نشانگر (Sibbald & Slinger, 1963)، استفاده از جدول‌های مواد مغذی اقلام خوراک (NRC, 1994; Feedstuffs, 2014)، استفاده از دستگاه NIRA^۲ (Losada et al., 2009) و استفاده از فرمول‌های پیش‌بینی حاصل از معادلات تابعیت چندمتغیره. از آنجایی که روش‌های بیولوژیکی عملاً به

مواد و روش‌ها

تعیین AMEn ارقام مختلف جو با استفاده از روش بیولوژیکی (نشانگر)

از سه قطعه خروس ردایلند قرمز در سن ۳۵ هفتگی برای هر رقم جو استفاده گردید که با احتساب سه تکرار برای خوراک آزمایشی و سه تکرار برای خوراک پایه در مجموع ۳۶ قطعه خروس ردایلند رد استفاده شد. جیره‌های مورد استفاده در آزمایش از ۱۲ جیره شامل یک جیره پایه و ۱۱ جیره آزمایشی تشکیل شده بود. ابتدا با روش سیبالد و اسلینگر که به روش جایگزینی معروف است، جیره پایه بدون جو تنظیم شد و با ۰/۵ درصد اکسید کروم به عنوان معرف مخلوط شد و در جیره‌های آزمایشی به روش جایگزینی، ۳۰ درصد جو جایگزین بخش ذرت و کنجاله سویا در جیره پایه شد (Sibald & Sliger, 1963). به منظور جلوگیری از کمبود ویتامین و مواد معدنی، مقدار مکمل ویتامینی و معدنی ثابت در نظر گرفته شد (جدول ۱). در مرحله آزمایش پس از پایان گرفتن ۲ روز مرحله سازگاری، جهت تخلیه دستگاه گوارش، ۲۴ ساعت خروس‌ها گرسنه ماندند، سپس تغذیه آزاد جیره آزمایشی به مدت ۴۸ ساعت انجام گرفت. در همین راستا سینی جمع‌آوری فضولات از مرحله شروع تغذیه در قفس‌ها جاگذاری شده و جمع‌آوری فضولات پس از قطع مصرف غذا تا ۲۴ ساعت بعد ادامه یافت (Choct, 1995). فضولات روزانه جمع‌آوری شده و داخل ظروف سربسته‌ای در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شدند. نمونه‌ها ابتدا در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس برای سردشدن به دسیکاتور منتقل شدند. سپس نمونه‌ها توزین و آسیاب شده و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند.

از AME و AMEn جیره‌ها و ارقام مختلف جو طبق معادلات زیر برآورد شدند:

$$\text{AME/g feed} = \text{GEfd} - ((\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ fd} / \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ec}) \times \text{GEec})$$

$$\text{AMEn/g feed} = \text{AME/g feed} - ۸,۷۳ ((\text{Nfd} - (\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ fd} / \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ec}) \times \text{Nec}))$$

سهولت توسط متخصصان تغذیه قابل استفاده نیستند و روش NIRA نیز علاوه بر گران بودن به آسانی قابل دسترس نیست و همچنین اطلاعات جدول‌های اقلام خوراکی علاوه بر قدیمی بودن با توجه به شرایط اقلیمی کشت و داشت متفاوت با ایران تهیه شده است، استفاده از آن‌ها برای جیره‌نویسی در ایران چندان مناسب نیست. بنابراین به نظر می‌رسد کاربردترین و عملی‌ترین روش، استفاده از معادلات پیش‌بینی (معادلات تابعیت چندمتغیره) است که برای این منظور لزوم به‌دست‌آوردن معادلات مرتبط با اقلام خوراک طیور رایج و پرمصرف در ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به اهمیت امکان جایگزینی جو به جای ذرت در جیره غذایی طیور، در این مقاله معادلات پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز با توجه به رایج‌ترین ارقام جو در ایران تعیین و ارائه شد (Janmohammadi *et al.*, 2008). در تحقیقی جهت برآورد معادله پیش‌بینی، انرژی قابل سوخت‌وساز برخی ارقام جو رایج در منطقه آذربایجان شرقی شامل ماکویی، والفجر، سهند، ۷۴CB، ریحانی و یسوی را با استفاده از نشانگر اکسید کروم و خروس‌های بالغ ردایلند برآورد کردند (Ash) = ۹۴۲۲/۵ - ۲۴۹۹/۹ AMEn و $R^2 = 0/۳۲$. همچنین Gheisari *et al.* (2008) در تحقیقی انرژی قابل سوخت‌وساز پنج رقم جو با نام‌های کارون، والفجر، ماکویی، بی‌نام و بدون پوشینه را با استفاده از روش نشانگر اکسید کروم و جوجه‌های گوشتی برآورد کردند که مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز این ارقام به ترتیب ۲۱۵۸، ۲۱۳۶، ۲۲۹۲، ۲۰۴۵ و ۲۳۶۷ کیلوکالری در کیلوگرم بود. مدل پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری جو بر اساس پژوهش Villamid *et al.* (2007) با استفاده از هشت رقم جو و تابعیت چندمتغیره معادله زیر است که تنها از متغیر الیاف خام جهت برازش معادله استفاده شده است (Vilamid *et al.*, 2007).

$$\text{AMEn (Kcal/Kg)} = ۳۲۶۹/۸ - ۵۴ \times \text{CF}$$

Yegani *et al.* (2013) برای هشت رقم گندم با

استفاده از معادلات تابعیت چندمتغیره، رابطه پیش‌بینی زیر را جهت برآورد انرژی قابل سوخت‌وساز ارائه کردند:

$$\text{AMEn} = ۹/۹۲۳۷ + ۰/۲۱۵۴ \times \text{CP}, R^2 = ۰/۸۳$$

تقریبی شامل (الیاف خام، پروتئین خام، چربی خام، خاکستر و رطوبت) طبق دستورالعمل‌های AOAC (1995)، اندازه‌گیری نشاسته بر اساس روش *Rose et al.* (1991) با استفاده از معرف آنترون، اندازه‌گیری اکسید کروم با استفاده از روش *Fenton & Fenton* (1979) و اندازه‌گیری دیواره سلولی (NDF¹) و دیواره سلولی منهای همی سلولز (ADF²) و فیبر خام طبق روش AOCS³ (1993) با استفاده از دستگاه آنکوم (Ankom®, Tech.) ساخت اصفهان، انجام گرفت که آنالیز آن در جدول ۲ ارائه شده است. روش‌های اندازه‌گیری نشاسته، NDF و ADF و الیاف خام به صورت مبسوط در ادامه شرح داده شده است.

اندازه‌گیری نشاسته

به منظور اندازه‌گیری نشاسته، ۰/۲ گرم نمونه توزین و در فالكون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس ۴ میلی‌لیتر استون به آن اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در همان حالت نگهداری شد. سپس ۱۰ دقیقه در دور ۳۵۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ گردید و فالكون حاوی نمونه به منظور تبخیر باقیمانده استون ۲ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در ادامه به محتویات باقیمانده در فالكون ۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد اضافه شد و فالكون حاوی نمونه و اتانول ۱۰ دقیقه داخل حمام آب جوش قرار گرفت تا قندهای محلول موجود در نمونه‌ها در اتانول حل شود. سپس فالكون‌ها بعد از طی زمان مورد نظر از حمام آب جوش خارج و بعد از سرد شدن ۱۰ دقیقه در دور ۳۵۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس محلول قرار گرفته در بالای فالكون که کدر رنگ است خارج شد و این مرحله تا زمانی که محلول بالایی شفاف شود، ادامه یافت. سپس ۶/۵ میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۵۲ درصد به آن اضافه گردید و عمل ورتکس تکرار شد. در ادامه ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه به آن اضافه و دوباره ورتکس شد. بعد از اضافه کردن ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه، ۳۰ دقیقه فالكون‌های حاوی نمونه به حال خود رها شد و سپس سانتریفیوژ گردید (با دور ۳۵۰۰

که در معادلات بالا Cr₂O₃ fd، غلظت نشانگر در هر گرم خوراک؛ Cr₂O₃ ec، غلظت نشانگر در هر گرم فضولات؛ GEfd، انرژی خام در هر گرم خوراک؛ GEec، انرژی خام در هر گرم فضولات؛ Nfd، غلظت نیتروژن در هر گرم خوراک و Nec، غلظت نیتروژن در هر گرم فضولات هستند.

جدول ۱. اجزای تشکیل‌دهنده جیره پایه (درصد)

اجزای جیره	جیره پایه ^۲	جیره آزمایشی
ذرت	۶۶/۴۶	۴۶/۵۲
کنجاله سویا	۳۰/۲	۲۱
جو	---	۳۰
دی کلسیم فسفات	۱/۰۸	۰/۷۵
کربنات کلسیم	۰/۸۶	۰/۶۰
مکمل ویتامینی ^۱ و معدنی ^۲	۰/۵	۰/۳۵
نمک	۰/۴	۰/۲۸
اکسید کروم	۰/۵	۰/۵
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰

۱. مقدار ویتامین‌ها در هر کیلوگرم جیره: ویتامین A، ۹۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ کوله کلسیفرول، ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین E، ۱۸ واحد بین‌المللی؛ ویتامین B₁₂، ۰/۰۱۵ میلی‌گرم؛ فولاسین، ۱ میلی‌گرم؛ نیاسین، ۳۰ میلی‌گرم؛ پانتوتینک اسید، ۲۵ میلی‌گرم؛ پیریدوکسین، ۲/۹ میلی‌گرم؛ ریبوفلاوین، ۶/۶ میلی‌گرم؛ تیامین، ۱/۸ میلی‌گرم؛ کولین، ۵۰۰ میلی‌گرم و آنتی‌اکسیدان، ۱ میلی‌گرم.

۲. مکمل معدنی در هر کیلوگرم جیره: مس (سولفات مس)، ۱۰ میلی‌گرم؛ ید (یدات کلسیم)، ۰/۹۹ میلی‌گرم؛ آهن (سولفات آهن)، ۵۰ میلی‌گرم؛ منگنز (اکسید منگنز)، ۹۹ میلی‌گرم؛ سلنیوم (سدیم سلنیت)، ۰/۲ میلی‌گرم و روی (اکسید روی)، ۸۴ میلی‌گرم.

۳. مقدار انرژی ۲۹۰۰ کیلوکالری در کیلوگرم، مقدار پروتئین خام ۱۸ درصد، مقدار کلسیم ۱ درصد، فسفر ۰/۴۵ درصد و سدیم ۰/۱۵ درصد بود.

پس از تعیین انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح شده برای جیره‌های پایه و آزمایشی، مقادیر انرژی قابل سوخت‌وساز هر رقم از جو با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Sibald & Sliger, 1963):

$$\text{جیره (AMEn)} - \text{جیره پایه AMEn} = \text{جو AMEn} - \text{پایه AMEn} / (\text{جیره آزمایشی AMEn} - \text{پایه AMEn})$$

ارقام جو استفاده شده در این تحقیق شامل والفجر، کارون، بهمن، ارس، دشت، افضل، زرگو، کویر، ریحانی، ماکویی و یوسف بود که از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. برای همه ارقام، آنالیز

1. Natural Detergent Fibre
2. Acid Detergent Fibre
3. American Oil Chemists' Society

$$\% CF = \frac{W_r - W_i}{W_i} \times 100$$

که در آن W_1 ، وزن نمونه اولیه (یک گرم)؛ W_2 ، وزن کیسه خالی؛ و W_3 ، وزن کیسه بعد از آون است.

اندازه‌گیری NDF و ADF

در این روش نیز آماده‌سازی نمونه برای انتقال به دستگاه آنکوم مانند روش تعیین فیبر خام است. روش تهیه محلول شوینده خنثی به این صورت بود که ۳۰ گرم سدیم لوریل سولفات، ۱۸/۶۱ گرم EDTA، ۶/۸۱ گرم سدیم بورات دکا هیدرات سدیم، ۴/۵۶ گرم هیدروژن فسفات بدون آب و ۱۰ سی‌سی اتوکسی اتانول در یک بالن ژوژه یک لیتری به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. به ازای هر نمونه مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول شوینده خنثی در حال جوش به همراه ۵۰ میکرولیتر آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت اضافه گردید و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای جوش و در فشار بالا در معرض محلول قرار گرفت. بعد از اتمام زمان لازم کیسه‌ها در دو مرحله ابتدا با استون و سپس با آب مقطر شسته و بعد از آگیری به آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد و ۲۴ ساعت بعد از آون خارج گردید و به دسیکاتور منتقل شد و بعد از سرد شدن کیسه‌ها وزن‌کشی شدند. برای اندازه‌گیری ADF مراحل بالا با محلول شوینده اسیدی و بدون آنزیم انجام شد. برای تهیه محلول شوینده اسیدی ۵۵/۶۸ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ در یک بالن ژوژه یک لیتری با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد و سپس معادل ۲۰ گرم استیل تری متیل آمونیوم بروماید به آن اضافه شد. مخلوط حاصل با همزن مغناطیسی یکنواخت شد؛ به طوری که استیل تری متیل آمونیوم بروماید کاملاً حل گردید (Van Soest et al., 1991).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی ارقام مورد مطالعه در این تحقیق با میانگین ارائه‌شده در جدول‌های مرجع از نرم‌افزار آماری SPSS از رویه MEANS و روش تی-تست با یک نمونه و تی-تست جفت‌شده استفاده گردید. همچنین به منظور تعیین معادلات تابعیت پیش‌بینی AMEn از معادلات تابعیت

به مدت ۱۰ دقیقه). بعد از سانتریفیوژ محلول بالایی خارج گردید و درون یک بالون ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد. این مرحله یک بار دیگر تکرار و کل مواد موجود در فالكون از صافی عبور داده شد و محلولی که از صافی عبور یافت، به درون بالون اول منتقل گشت و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه به حجم ۵ میلی‌لیتر معرف انترون اضافه گردید و جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد و سپس بر اساس فرمول زیر مقدار نشاسته محاسبه شد.

$$\text{mg of starch/mg of sample (y)} = y_g d_f v h_f / dw$$

y_g ، غلظت گلوکز (جذب خوانده شده با دستگاه اسپکتروفوتومتر)، d_f فاکتور ترقیق (مثال ۱۰ برای ۱:۹ رقیق کردن)، V حجم اصلی عصاره نشاسته (۱۰۰ میلی‌لیتر)، dw وزن خشک نمونه اولیه و h_f فاکتور هیدرولیز نشاسته (۰/۹) است.

اندازه‌گیری فیبر خام، NDF و ADF به روش Ankom^۱ اندازه‌گیری الیاف خام

ابتدا نمونه با آسیاب مجهز به الک ۱ میلی‌متری آسیاب شد و سپس ۱ گرم نمونه به کیسه‌های داکرونی انتقال داده شده و بعد از پرس گرم کیسه‌ها، همه آن‌ها زیر هود با حلال اثر شستشو و به مخزن دستگاه آنکوم منتقل شدند. برای تهیه محلول اسیدی ۱۲/۵ گرم اسیدسولفوریک (۶/۹ میلی‌لیتر از اسیدسولفوریک ۹۸٪) در یک لیتر آب و برای تهیه محلول قلیایی ۱۲/۵ گرم سدیم هیدروکسید (NaOH) در یک لیتر آب حل گردید. کیسه‌های حاوی نمونه طبق روش آنکوم ابتدا ۶۰ دقیقه با محلول اسیدی و سپس ۶۰ دقیقه دیگر با محلول بازی در معرض دمای جوش قرار گرفت. بعد از شستشو با محلول بازی کیسه‌ها ابتدا با استون و سپس با آب شسته شدند و بعد از این مرحله ۲۴ ساعت به آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. کیسه‌ها بعد از این مدت برای سرد شدن به دسیکاتور منتقل و سپس وزن‌کشی شدند و طبق رابطه زیر مقدار فیبر خام نمونه‌ها تعیین شد (AOCS, 1993).

1. ANKOM fiber analyzer (ANKOM Technology, Fairport, New York)

al., 1997; Jeorch & Danicke, 1995; Lesson & Summers, 2001).

حداقل و حداکثر مقدار فیبر خام در ارقام ارس (۲/۳) و یوسف (۳/۸) با ضریب تغییرات ۱۷/۲ درصد، حداقل و حداکثر پروتئین خام مربوط به ارقام والفجر ۹/۶ و افضل ۱۳/۱ درصد با ضریب تغییرات ۱۱/۶ درصد، حداقل و حداکثر چربی مربوط به ارقام کویر و افضل ۱/۳ و ۳/۷ درصد با ضریب تغییرات ۲۵/۵ درصد، حداقل و حداکثر خاکستر مربوط به ارقام والفجر کویر و دشت ۱/۹ و ۳/۷ درصد با ضریب تغییرات ۲۱/۴ درصد، حداقل و حداکثر نشاسته مربوط به ارقام یوسف و ماکویی ۴۴/۵ و ۶۷/۱۴ درصد با ضریب تغییرات ۱۱ درصد، حداقل و حداکثر NFE مربوط به ارقام افضل و کویر با ۶۷/۶ و ۷۷/۳ درصد با ضریب تغییرات ۴/۲ درصد، حداقل و حداکثر ADF بین ارقام ماکویی و یوسف با ۳/۱ و ۵/۶ درصد با ضریب تغییرات ۱۶/۹ درصد، حداقل و حداکثر NDF مربوط به ارقام کویر و یوسف با ۱۱/۷ و ۱۶/۵ درصد با ضریب تغییرات ۱۰/۲ درصد بود. در این تحقیق بیشترین دامنه تغییرات به چربی خام با ۶۴ درصد و کمترین دامنه تغییرات به NFE با ۱۲ درصد مربوط بود. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است تنوع زیادی در محتویات شیمیایی ارقام مختلف جو وجود دارد. به نحوی که در توافق با مطالعات سایر محققان بود (Sibbald, 1976; Scott et al., 1998; Svihus et al., 2002; Jeorch & Danicke, 1995). یکی از دلایل تنوع زیاد در مواد مغذی ارقام مختلف جو، عوامل ضدتغذیه‌ای متنوع و مختلف موجود در این غله است که عبارت از تانن‌ها، پنتوزان‌ها، اسیدفایتیک و بتاگلوکان است (Jeorch & Danicke, 1995). همچنین دوردیفه یا شش‌ردیفه بودن رقم جو یکی دیگر از این عوامل است که این موضوع در دسته تفاوت‌های ژنتیکی قرار می‌گیرد. ارقام دوردیفه به سبب کشت‌شدن در شرایط دیم، مجموع عوامل ضد تغذیه بیشتر و محتوای نشاسته کمتری دارند (Aman et al., 1985) و در این تحقیق نیز رقم بهمن ارزش غذایی پایینی در مقایسه با سایر ارقام داشت زیرا رقم بهمن دوردیفه و سایر ارقام شش‌ردیفه بودند. در رابطه با مقدار پروتئین خام Elwinger et al.

چندمتغیره از نرم‌افزار آماری SPSS و رویه ENTER استفاده شد. در روش تابعیت خطی چندمتغیره داده‌ها باید دارای توزیع نرمال باشند و تغییر آن‌ها از یک رابطه خطی پیروی کند. تابعیت چندگانه در حقیقت، ارتباط بین یک‌سری از متغیرهای پیشگو را با متغیر پاسخ مورد نظر بیان می‌کند. در صورت وجود متغیرهای مستقل x_1, x_2, \dots, x_n اگر هدف ارتباط خطی بین آن‌ها و متغیر وابسته (y) باشد، رابطه زیر بین آن‌ها برقرار است:

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

که در این رابطه، از مقادیر $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ با عنوان ضرایب تابعیت یاد می‌شود. این ضرایب، ضرایب نامشخصی هستند که نمایانگر برآورد پارامتر پاسخ هستند (Balan et al., 1995). برای مقایسه دقیق‌تر مدل‌های مختلف به دست‌آمده از این تحقیق از خطای استاندارد پیش‌بینی^۱ (SEP) استفاده شد. خطای استاندارد پیش‌بینی با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Yegani et al., 2013):

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{N}}$$

که در این معادله SEP خطای استاندارد پیش‌بینی، Y میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز به دست‌آمده به روش بیولوژیکی هر رقم، Y' انرژی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل برای هر رقم و N تعداد ارقام است. در نهایت معادله‌ای که مقدار SEP کمتری داشته باشد در صورت داشتن ضریب تبیین بالاتر، از دقت بیشتری در تخمین انرژی برخوردار خواهد بود.

نتایج و بحث

همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است تنوع زیادی در محتویات شیمیایی ارقام مختلف جو وجود دارد. به نحوی که دامنه تغییرات موارد اندازه‌گیری شده در این تحقیق، توافق نسبتاً بالایی با دامنه تغییرات این موارد در مطالعات سایر محققان داشت که به نظر می‌رسد این تفاوت‌ها علاوه بر تفاوت در بحث ژنوتیپ بیانگر تفاوت در محیط کشت و شرایط آب‌وهوایی مختلف نیز باشد (Zhang et al., 1994; Villamide et al., 1994).

1. Standard Error of Prediction

و محیط کاشت، داشت و برداشت با یکدیگر دارند. مقایسه آماری به روش تی-تست با یک نمونه در جدول ۳ نشان داده شده است. این مقایسه نشان داد که از لحاظ آماری تفاوت میانگین ماده خشک، عصاره عاری از ازت، فیبر خام و عصاره اتری در تحقیق حاضر و جدول فیداستاف معنادار است ($P < 0.01$). همچنین تفاوت میانگین پروتئین خام، انرژی قابل سوخت‌وساز و خاکستر از لحاظ آماری معنادار نیست. در مقایسه با جدول NRC (1994) نیز میانگین تفاوت ماده خشک، فیبر خام و چربی معنادار است ($P < 0.01$) ولی برای پروتئین خام و عصاره عاری از ازت معنادار نیست.

(1977) گزارش کردند که این پارامتر تحت تأثیر کود نیتروژن قرار می‌گیرد؛ به این ترتیب که با کوددهی ۳۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار پروتئین خام ۱۱/۶ درصد بود و با کوددهی ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۵/۳ درصد افزایش یافت. همچنین افزایش مقدار پروتئین از طریق افزایش کوددهی باعث افزایش مقادیر بتاگلوکان می‌شود. در تحقیق Jeorch *et al.* (1995) بیشترین دامنه تغییرات در آنالیز شیمیایی برای فیبر خام (۶۹ درصد) و کمترین دامنه تغییرات برای خاکستر (۲۲ درصد) گزارش شد. این تفاوت‌ها در نتایج آنالیز شیمیایی به سبب تفاوتی است که این ارقام در ژنوتیپ

جدول ۲. نام ارقام زراعی مورد آزمایش به همراه آنالیز شیمیایی (بر حسب درصد ماده خشک)

نام رقم	ماده خشک	پروتئین خام	چربی خام	خاکستر	نشاسته	NFE	فیبر خام	ADF	NDF	AMEn (Kcal/Kg)
کارون	۹۲/۲	۱۲/۰۱	۲/۹	۳/۱	۵۲/۲۵	۷۱/۳	۲/۹	۵	۱۳/۸	۳۲۷۷
زرگو	۹۲/۶	۹/۸۹	۱/۷	۲/۱	۵۵/۲۷	۷۶	۲/۸	۴/۱	۱۲/۴	۳۱۱۷
کوبر	۹۳/۴	۱۰/۴۹	۱/۳	۱/۹	۵۸/۲۷	۷۷/۴	۲/۳	۳/۴	۱۱/۷	۳۲۱۱
ماکویی	۹۱/۹	۱۲/۳۳	۲/۵	۲/۶	۵۲/۹۷	۷۲	۲/۴	۳/۱	۱۲/۶	۲۵۸۳
ریحانی	۹۳/۵	۱۱/۵۳	۲/۳	۲/۵	۵۰/۳	۷۴	۳/۱	۴/۷	۱۴/۲	۲۹۳۹
بهمن	۹۲/۲	۱۰/۰۸	۲/۷	۲/۶	۵۰/۸۱	۷۳/۶	۳/۲	۴/۳	۱۴/۱	۲۱۱۷
ارس	۹۳/۴	۱۰/۵۹	۳/۱	۲/۷	۵۸/۵۱	۷۴/۷	۲/۳	۳/۹	۱۲/۹	۳۰۸۷
والفجر	۹۳/۱	۹/۶۱	۲/۸	۱/۹	۶۷/۱۴	۷۶/۴	۲/۴	۳/۸	۱۱/۸	۳۰۸۷
دشت	۹۳	۱۳/۱۴	۲/۶	۳/۷	۴۹/۰۳	۷۰/۹	۲/۶	۴	۱۳/۷	۲۰۴۱
افضل	۹۰/۶	۱۳/۱۷	۳/۷	۲/۸	۵۴/۶۳	۷۶/۶	۳/۳	۴/۱	۱۴/۱	۲۸۴۷
یوسف	۹۰/۶	۱۲/۵۷	۳/۱	۲/۱	۴۴/۵۸	۶۹/۴	۳/۸	۵/۶	۱۶/۵	۲۶۵۰
میانگین	۹۲/۴	۱۱/۴	۲/۶	۲/۴	۵۳/۹۸	۷۳	۲/۸	۴/۲	۱۳/۴	۲۸۱۴,۲
ضریب تغییرات (درصد)	۱/۰۸	۱۱/۶	۲۵/۵	۲۱/۴	۱۱/۰۳	۴/۲	۱۷/۲	۱۶/۹	۱۰/۲	۱۵/۰۴

جدول ۳. مقایسه ترکیب شیمیایی و انرژی قابل سوخت‌وساز ارقام جو موجود در جدول فیداستاف (۲۰۱۴)، NRC (1994) و تحقیق حاضر

میانگین تحقیق حاضر	درصد ماده خشک	درصد پروتئین خام	درصد چربی	درصد خاکستر	درصد نشاسته	درصد NFE	درصد فیبر خام	AMEn (Kcal/Kg)
میانگین تحقیق حاضر	۹۲/۴	۱۱/۴	۲/۶	۲/۴	۵۳/۹۸	۷۳	۲/۸	۲۸۱۴
فیداستاف	۸۹	۱۱/۵	۱/۹	۲/۵	-	۶۸/۱	۵	۲۷۵۰
۲۰۱۴ معناداری	**	ns	**	ns	-	**	**	NS
NRC میانگین (1994)	۸۹	۱۱	۱/۸	-	-	-	۵/۵	۲۶۴۰
معناداری	**	ns	**	-	-	-	**	NS

** $(P < 0.01)$ ، ns: عدم معناداری

ضریب متغیر مستقل از معناداری بالایی برخوردار است. در صورت حذف نشاسته از روند آنالیز، فاکتور عصاره عاری از ازت جهت برآزش انرژی قابل سوخت‌وساز انتخاب می‌شود. در مدل ۲ از عصاره عاری از ازت جهت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز استفاده شده است.

جزئیات معادلات تابعیت مورد ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است. توجه به این نکات برای انتخاب بهترین مدل تابعیت پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز ضروری است؛ در مدل ۱ نشاسته برای پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز پیشنهاد شده است که هم معادله و هم

نتایج آنالیزهای مربوط به ارقام مختلف جو) مقایسه شده است. مقایسه‌ها نشان می‌دهد که در مدل ۱ بیشترین و کمترین اختلاف پیش‌بینی با مقدار بیولوژیکی به ترتیب مربوط به ارقام کارون (۵۵۹ Kcal/Kg) و ارس (۴۰- Kcal/Kg) است. در مدل ۲ بیشترین و کمترین اختلاف پیش‌بینی با مقدار بیولوژیکی به ترتیب مربوط به ارقام بهمن (۷۵۳ Kcal/Kg) و ریحانی (۵۰ Kcal/Kg) است. در مدل NRC (1994) بیشترین و کمترین اختلاف پیش‌بینی با مقدار بیولوژیکی به ترتیب مربوط به ارقام بهمن (۱۲۵۱ Kcal/Kg) و کارون (۲۰ Kcal/Kg) است. مقایسه بین همه مدل‌ها (مدل‌های حاصل از این تحقیق و مدل NRC 1994) نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف پیش‌بینی با مقدار بیولوژیکی مربوط به رقم بهمن (۱۲۵۱ Kcal/Kg) است که توسط مدل NRC (1994) پیش‌بینی شده است و همچنین کمترین اختلاف پیش‌بینی مربوط به رقم کارون (۲۰ Kcal/Kg) است که باز هم توسط مدل NRC (1994) پیش‌بینی شده است (NRC, 1994).

اما عصاره عاری از ازت یک خصوصیت خوراکی است که با محاسبات ریاضی به دست می‌آید و عملاً روش مستقیمی برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد؛ بنابراین به دست آوردن کمیت عصاره عاری از ازت ملزوم به اندازه‌گیری پنج فاکتور دیگر از قبیل فیبر خام، پروتئین خام، خاکستر، عصاره اتری و رطوبت نمونه‌هاست. در نتیجه استفاده از این مدل با وجود دقت خوب در برآزش انرژی قابل سوخت‌وساز، به هزینه بیشتری جهت اندازه‌گیری متغیرهای مستقل موجود در فرمول نیاز دارد. گرچه از نظر آزمایشگاهی اندازه‌گیری این پنج فاکتور رایج‌تر است؛ البته می‌توان جهت مقایسه این دو مدل به فاکتور انحراف استاندارد خطای پیش‌بینی^۱ نیز توجه کرد که با توجه به SEP، به نظر می‌رسد مدل اول برای برآزش انرژی قابل سوخت‌وساز به معادله دوم ارجح باشد. در جدول ۵ انرژی قابل سوخت‌وساز تخمینی به وسیله فرمول‌های ارائه شده در این تحقیق و NRC (1994) با مقدار اندازه‌گیری شده به روش بیولوژیکی (بر اساس

جدول ۴. مقایسه آماری بین معادلات برآزش شده حاصل از تحقیق حاضر

ردیف	عوامل	مدل	R ²	P Value Regression	P Value predictor	SEP
۱	STA	Y=۵۲ STA	۰/۹۸۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۳۵۰
۲	NFE	Y =۳۸/۶ NFE	۰/۹۸۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۳۷۴

Y= انرژی قابل سوخت‌وساز تصحیح شده بر اساس ازت (کیلوکالری بر کیلوگرم)، STA= نشاسته (درصد)، NFE= عصاره عاری از ازت + CP + CF) - 100 = NFE
SEP= Standard Error of Prediction, EE + Moisture + ASH)

جدول ۵. مقایسه انرژی قابل سوخت‌وساز اندازه‌گیری شده به روش بیولوژیکی با مدل‌های حاصل از این تحقیق و NRC (1994)

نام رقم	بیولوژیکی Kcal/Kg	مدل ۱ Kcal/Kg	مدل ۲ Kcal/Kg	1994* NRC Kcal/Kg
کارون	۳۲۷۷	۲۷۱۸	۲۷۸۰	۳۲۹۶
زر جو	۳۱۱۷	۲۸۷۴	۲۹۶۷	۳۳۳۱
کوبر	۳۲۱۱	۳۰۳۰	۳۰۱۸	۳۴۰۴
ماکویی	۲۵۸۳	۲۷۵۴	۲۸۱۰	۳۳۴۶
ریحانی	۲۹۳۹	۲۶۱۵	۲۸۸۷	۳۲۵۸
بهمن	۲۱۱۷	۲۶۴۲	۲۸۷۰	۳۲۵۳
ارس	۳۰۸۷	۳۰۴۲	۲۹۱۳	۳۴۰۷
والفجر	۳۰۸۷	۳۴۹۲	۲۹۸۷	۳۴۷۷
دشت	۲۰۴۱	۲۵۵۰	۲۷۶۶	۳۲۹۱
افضل	۲۸۴۷	۲۸۴۱	۲۶۳۷	۳۲۸۱
یوسف	۲۶۵۰	۲۳۱۸	۲۷۰۲	۳۱۴۲
میانگین	۲۸۱۴	۲۸۰۷	۲۸۴۸	۳۳۱۷

درصد دارد؛ درحالی که این اختلاف برای مدل ۲ با سطح انرژی (۲۸۴۸) حدود $+1/2$ درصد است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد به کاربردن معادله پیشنهادی NRC ۱۹۹۴ باعث برآورد بیش از حد ($+17/9$ درصد) انرژی قابل سوخت‌وساز ارقام مختلف جو در این تحقیق شده است. این امر ممکن است به علت تفاوت‌های ژنوتیپی و ساختاری ارقام جو در این تحقیق با ارقام جو به کار برده شده برای معادله NRC ۱۹۹۴ باشد.

مقایسه‌ها به روش تی-تست جفت شده در جدول ۶ نشان می‌دهد که بین مدل‌های مختلف این تحقیق از نظر میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز تخمینی و روش بیولوژیکی تفاوت معناداری وجود ندارد، اما بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل NRC ۱۹۹۴ و مدل‌های این تحقیق و روش بیولوژیکی اختلاف معناداری وجود دارد. مدل ۱ از لحاظ میانگین پیش‌بینی انرژی قابل سوخت‌وساز بر حسب کیلوکالری بر کیلوگرم (2807) با میانگین بیولوژیکی (2814) اختلافی حدود $-0/22$

جدول ۶. مقایسه میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز تخمینی بین مدل‌های مختلف و روش بیولوژیکی با استفاده از روش تی-تست جفت‌شده

مدل	میانگین انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلوکالری بر کیلوگرم)	درصد اختلاف با روش بیولوژیکی
بیولوژیکی	$2814^a \pm 127/9$	۰
مدل ۱	$2807^b \pm 93/3$	$-0/22$
مدل ۲	$2848^b \pm 36/2$	$+1/2$
مدل NRC 1994*	$3317^a \pm 27/46$	$+17/9$

حروف غیرمشترک a, b در هر ستون نمایانگر اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست ($P \text{ value} < 0/0001$).

$$\text{AMEn (kcal/kg of DM)} = 3/078 - 9/4 \times \text{CF} + 9/2 \times \text{STA}$$

CF: الیاف خام، STA: نشاسته

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از اعضای هیئت علمی و کارکنان مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج، بخش غلات) و جناب آقای مهندس ناظری برای مساعدت ایشان در فراهم کردن ارقام مختلف جو کمال تشکر را دارند.

نتیجه‌گیری کلی

در نهایت به نظر می‌رسد با توجه به مؤلفه‌های ضریب تبیین (R^2) و سطح معناداری معادله تابعیت و فاکتور SEP در دو معادله ارائه شده، معادله زیر قابل پیشنهاد است.

$$\text{AMEn}_{\text{barley}} \text{ (kcal/kg of DM)} = 52 \times \text{Starch}$$

REFERENCES

1. Pourreza, J., Sadeghi, G. & Mehri, M. (2005). *Scott's nutrition of the chicken*.
2. Gheisari, A., Pourabadeh, A., Pourreza, J., Mahlooji, M. & Hadran, R. (2008). *Evaluate of Chemical Content's Barley Cultivare Metabolizable Energy in Broiler Chickens*.
3. Janmohammadi, H., Taghizadeh, A., Yasan, P., Shoja, J. & Nikkhah, A. (2008). Evaluation of Some ingredient use in animal nutrition at Azarbayejan sharghi.
4. Åman, P., Hesselman, K. & Tilly, A. C. (1985). The variation in chemical composition of Swedish barleys. *Journal of Cereal Science*, 3(1), 73-77.
5. AOCS. (1993). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (5th ed.) Crude Neutral Detergent Fiber in Feeds Filter Bag Technique. Ba 6-84 Champaign, IL: AOCS Press.
6. Balan, B., Mohaghegh, S. & Ameri, S. (1995). State-of-the-art in permeability determination from well log data: part 1-A comparative study, model Development. *Society of Petroleum Engineers*, 30978, 17-21.
7. Batal, A. & Dale, N. (2014). Ingredient analysis table: 2014 Edition. *Feedstuffs*
8. Choct, M. (1995). Non-starch polysaccharide-degrading enzymes increase the performance of broiler chickens fed wheat of low apparent metabolizable energy. *The Journal of Nutrition*, 125(3), 485-492.
9. Elwinger, K. (1977). Effect of nitrogen fertilization on the nutritional value of barley, 1: Experiments with laying hens. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 7, 99-103.

10. Fenton, T. & Fenton, M. (1979). An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Canadian Journal of Animal Science*, 59(3), 631-634.
11. Intl, A. (1995). Official methods of analysis, Arlington, Va.: AOAC Intl.
12. Jeroch, H. & Danicke, S. (1995). Barley in poultry feeding: a review. *World's Poultry Science Journal*, 51(3), 271-292.
13. Leeson, S. & Summers, J. D. (2001). *Scott's nutrition of the chicken*, University books Ontario.
14. Losada, B., Garcia Rebollar, P., Cachaldora, P., Álvarez, C., Méndez, J. & Blas, C. D. (2009). A comparison of the prediction of apparent metabolisable energy content of starchy grains and cereal by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near-infrared reflectance spectroscopy. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 813-823.
15. Nutrition, N. R. C. S. o. P. (1994). Nutrient requirements of poultry, *National Academies Press*.
16. Rose, R., Rose, C. L., Omi, S. K., Forry, K. R., Durall, D. M. & Bigg, W. L. (1991). Starch determination by perchloric acid vs enzymes: evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(1), 2-11.
17. Scott, T., Silversides, F., Classen, H., Swift, M. & Bedford, M. (1998). Effect of cultivar and environment on the feeding value of western canadian wheat and barley samples with and without enzyme supplementation. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(4), 649-656.
18. Sibbald, I. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry Science*, 55(1), 303-308.
19. Sibbald, I. & Price, K. (1976). Relationships between metabolizable energy values for poultry and some physical and chemical data describing Canadian wheats, oats and barleys. *Canadian Journal of Animal Science*, 56(2), 255-268.
20. 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.
21. Svihus, B. & Gullord, M. (2002). Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 102(1), 71-92.
22. Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
23. Villamide, M., Fuente, J., de Ayala, P. P. & Flores, A. (1997). Energy evaluation of eight barley cultivars for poultry: effect of dietary enzyme addition. *Poultry Science*, 76(6), 834-840.
24. Yegani, M., Swift, M. L., Zijlstra, R. T. & Korver, D. R. (2013). Prediction of energetic value of wheat and triticale in broiler chicks: A chick bioassay and an in vitro digestibility technique. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1-2), 40-50.