

مقاله علمی - پژوهشی

معرفی مدل خطی تخمین انرژی قابل متابولیسم سورگوم علوفه‌ای با استفاده از اجزای الیاف

حسین غلامی^{۱*} - محمد بابایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

چکیده

این پژوهش به منظور تعیین انرژی قابل متابولیسم، ترکیبات شیمیایی و تولید معادلات رگرسیونی تخمین انرژی قابل دسترس سورگوم علوفه‌ای انجام گرفت. برای رسیدن به این مهم، با استفاده از ۵۴ داده انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از ۱۸ رقم سورگوم علوفه‌ای، معادلات خطی، درجه دوم و تابع نمایی حاصل از اجزای بخش الیاف سورگوم علوفه‌ای شامل: درصد ADF، NDF و لیگنین سورگوم علوفه‌ای برازش شدند. کل معادلات حاصل از مقدار NDF و ADF و لیگنین دارای ضریب تعیین قابل قبولی بودند و دقت معادلات در حد متوسط بود. از بین معادلات فوق، معادله خطی حاصل از ADF به دلیل سادگی و تقریب نزدیکتر به ME تعیین شده سورگوم علوفه‌ای از طریق آزمون گاز، برای تخمین انرژی قابل متابولیسم پیشنهاد می‌شود (ADF% = ۳/۳۲۰ - ۰/۰۲۹ × انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در هر کیلوگرم ماده خشک). در مقایسه با معادلات خطی پیشنهادی معتبر بین المللی مانند منک و استین گاس و سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع، معادله منک و استین گاس به انرژی قابل متابولیسم سورگوم علوفه‌ای تعیین شده در این تحقیق نزدیکتر و تفاوت معنی داری نداشت. برای تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم سورگوم علوفه‌ای، معادله خطی بالا به دلیل سادگی و تقریب نزدیکتر به ME سورگوم علوفه‌ای اندازه گیری شده، پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آزمون گاز، تخمین انرژی قابل متابولیسم، سورگوم علوفه‌ای، ADF

مقدمه

(مواد مغذی تشکیل دهنده آن) و قابلیت هضم مواد آلی همبستگی مثبت و بالایی دارد. ترکیبات شیمیایی را به راحتی می‌توان در آزمایشگاه‌های تغذیه با انجام آنالیز تقریبی و قابلیت هضم مواد آلی را از آزمایش‌های درون تنی^۳ و برون تنی^۴ تعیین کرد و از طریق این داده‌ها می‌توان به مقدار انرژی قابل دسترس هر ماده خوراکی برای دام دست یافت (۷، ۱۸، ۲۲). تعیین انرژی قابل دسترس در خوراک‌ها رکن اصلی و مهم در علم تغذیه دام است و برای فرموله کردن یک جیره متوازن و متعادل برای تمام دامهای مزرعه‌ای ضرورت دارد (۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۶).

انرژی قابل سوخت و ساز بیانگر بخشی از انرژی خام خوراک است که پس از کسر مقدار انرژی دفع شده از طریق مدفوع و ادرار و گازهای حاصل از هضم به مصرف حیوان می‌رسد (۳). امروزه از سیستم انرژی قابل متابولیسم که شکل اولیه آن در سال ۱۹۵۶ میلادی توسط شورای تحقیقات کشاورزی انگلستان برای نشخوارکنندگان ابداع شده، استفاده می‌گردد (۱۳). یکی از روشهای آزمایشگاهی تعیین انرژی مواد خوراکی، روش آزمون تولید گاز است.

ضرورت توجه به منابع جدید علوفه‌ای مقاوم به خشکی و نیز افزایش بهره‌وری از آب و خاک در فهرست اهداف بلند مدت وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است. در این راستا سورگوم علوفه‌ای و دانهای گیاهان مناسبی هستند که می‌توان آنها را در برنامه‌ریزیهای کشت قرار داد و به اشکال متفاوت در تغذیه دامها به کار برد (۸). کیفیت علوفه، به مجموع کل مواد مغذی تشکیل دهنده گیاهان علوفه‌ای اطلاق می‌شود که میزان مصرف دام از خوراک یا جیره را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کیفیت علوفه بستگی به ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم آن دارد. کیفیت علوفه همبستگی مثبت و بالایی با انرژی قابل دسترس برای دام دارد (۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۷). میزان انرژی زایی یک ماده غذایی با مقدار ترکیبات شیمیایی

۱- استاد یار پژوهشی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- مربی پژوهشی بازنشسته موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(* - ایمیل نویسنده مسئول: (Email: Ho.gholami@areeo.ac.ir)

DOI:10.22067/ijasr.v12i3.75350

مشترک المنافع^۶ (۲۰۰۷) با استفاده از مدل مینسون (۱۹۹۰) از ADF مواد خوراکی برای رسیدن به انرژی قابل متابولیسم استفاده کرد (۳).

$$ME (Mj/Kg DM) = ۱۶/۶۵۴ - ۰/۰۲۴ (ADF g/Kg DM) \quad (۳)$$

ویز در مقاله " تخمین انرژی قابل دسترس مواد خوراکی"، از اجزای تشکیل دهنده فیبر مواد خوراکی مانند NDF، ADF و لیگنین برای تخمین انرژی مواد خوراکی قابل دسترس دام مانند انرژی قابل متابولیسم، قابل هضم و خالص استفاده کرد. از این معادلات و با استفاده از ADF و NDF به عنوان متغیر مستقل برای تخمین انرژی مواد علوفه ای در آزمایشگاه‌های تغذیه استفاده می‌شوند (۲۲). اوزن و همکاران در یک مقاله جامع مروری نشان دادند که ADF حدود ۶۵ درصد میزان تغییرات انرژی در علوفه‌ها را باعث می‌شود (۲۰).

هدف از این تحقیق سنجش میزان ترکیبات شیمیایی و انرژی قابل متابولیسم سورگوم علوفه‌ای و در نهایت تخمین میزان انرژی قابل متابولیسمی براساس مدل‌های خطی، نمایی و درجه دوم و بر اساس میزان ADF و NDF آنها بود.

مواد و روش‌ها

ارقام آزمایشی سورگوم در خرداد ماه ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی- آموزشی موسسه اصلاح و نهال و بذر در کرج کاشته شدند. سورگوم های آزمایشی در شهریور برداشت شدند. هر رقم در مزرعه در سه ردیف مجزا کاشته شده بودند. از هر رقم سورگوم علوفه ای ۳ نمونه یعنی جمعا حدود ۵۴ نمونه جمع‌آوری شد و به قطعات ۳ تا ۵ سانتی‌متری خرد شدند (۸).

نمونه‌های علوفه در آون تحت جریان هوا با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت (۷۲ ساعت) خشک شدند و پس از آسیاب کردن نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب داری الک یک میلی‌متری آسیاب و جهت انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شدند. در نمونه های آزمایشی بعد از خشک و آسیاب شدن، ترکیبات مغذی شامل: پروتئین خام، خاکستر خام، ADF، NDF، کربوهیدرات‌های محلول در آب، نشاسته و لیگنین تعیین گردیدند. قابلیت هضم نمونه ها با روش آزمون گاز تعیین شد و با استفاده از مقدار گاز تولیدی در ساعت بیست و چهارم و مقدار پروتئین خام میزان انرژی قابل متابولیسم ارقام سورگوم تعیین شد. بعد از تعیین انرژی قابل متابولیسم از درصد NDF، ADF و لیگنین به عنوان متغیرهای مستقل استفاده و انرژی قابل متابولیسم برآورد شدند (۱،۱۴).

نام و کد ارقام آزمایشی در جدول زیر آورده شده است.

این روش بر اساس اندازه گیری مقدار گاز آزاد شده در واحد زمان پایه گذاری شده است. مقدار انرژی تخمینی به دست آمده از این روش (پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون) همستگی بسیار بالایی با مقدار انرژی به دست آمده از روش درون تنی دارد (۱۴).

گناچو و همکاران (۶) نشان دادند که مقادیر انرژی موجود موادخوراکی در آزمایشگاه‌های سراسر دنیا که از آزمون تولید گاز برای تخمین انرژی قابل متابولیسمی استفاده کرده‌اند یکسان نیست و تفاوت‌های وجود دارد. چون تعیین مستقیم انرژی قابل دسترس دام از مواد خوراکی نیاز به صرف زمان و هزینه زیادی دارد و چون انرژی قابل دسترس، رابطه مثبت و بالایی با برخی از ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده مواد خوراکی دارد، متخصصین علم تغذیه دام از اجزای تشکیل دهنده الیاف مانند^۱ NDF، ADF^۲ و لیگنین برای تخمین انرژی مواد خوراکی استفاده کرده‌اند(۴، ۵، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۹، ۲۰ و ۲۲). چون مقدار ADF گیاهان با میزان انرژی قابل متابولیسم رابطه مثبت و مستقیمی دارد، در اکثر منابع معتبر از ADF به عنوان یک متغیر مستقل برای تخمین انرژی قابل متابولیسم استفاده می‌شود. غلامی و همکاران، میزان ADF و انرژی قابل متابولیسم علوفه تازه سورگوم را به ترتیب برابر ۳۷/۴۰ درصد و ۲/۱۳ مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک گزارش کردند (۹،۷). پایگاه فیدی پدیا^۳ وابسته به سازمان فائو^۴ و اینرا^۵ فرانسه متوسط میزان ADF و انرژی قابل متابولیسم علوفه تازه سورگوم را به ترتیب ۳۵ درصد و ۲/۳۶ مگا کالری در هر کیلو گرم ماده خشک ذکر کرده است(۲۳).

$$DE (Mcal/Kg DM) = ۴/۱۲۱ - ۰/۰۴۴۲ (\%ADF) \quad (۱)$$

هارلان و همکاران در یک آزمایش با یونجه، شیدر و ذرت سیلوشده از اجزای تشکیل دهنده الیاف مانند NDF، ADF و لیگنین برای تخمین انرژی قابل هضم مواد خوراکی استفاده کردند و ADF را بهترین متغیر مستقل برای تخمین انرژی قابل هضم یونجه معرفی کردند آنها پیشنهاد کردند که انرژی قابل هضم یونجه را می‌توان با رابطه ۱ واز درصد ADF یونجه به دست آورد (۱۰).

منک و استین‌گاس از ADF برای به دست آوردن انرژی قابل متابولیسم علوفه‌ها از معادله زیر استفاده کردند (۱۴).

$$ME (Mj/Kg DM) = ۱۴/۷۸ - ۰/۰۱۴۷ (ADF g/Kg DM) \quad (۲)$$

آنها مقدار ضریب تعیین (R²) برای برآورد انرژی قابل متابولیسم مواد خوراکی از میزان ADF را از ۰/۵۲ تا ۰/۹۲ گزارش کرده اند(۱۴). و همچنین سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای

- 1-Neutral Detergent Fiber
- 2 -Acid Detergent Fiber
- 3 -Feedipedia
- 4 -Food & Agriculture Organization
- 5 -INRA

جدول ۱- اسامی ارقام سورگوم علوفه ای آزمایشی

Table 1-Names of experimental forage sorghum

شماره رقم	نام رقم	منبع تامین بذر
F1	CSSH.1	NAVAJOSEEDS
F2	اسپید فید	SPII
F3	FGCSI09	Euralis(ES)
F4	FS one BMR	NAVAJOSEEDS
F6	Juicy Sweet BMR SSH.1	NAVAJOSEEDS
F7	Juicy Sweet BMR SSH-.2	NAVAJOSEEDS
F8	تیتان	نگین سبز برنا
F9	سیلو کینگ	نگین سبز برنا
F10	PHFS-27	Pajpal
F11	PFS-21	Pajpal
F12	FGCSI10	Euralis(ES)
F13	FGCSI12	ES
F17	ساکارزختو- بی ام آر	NAVAJOSEEDS
F18	KFS-2	SPII
F19	KFS-18	SPII
F20	پگاه	SPII
17	HFS1	مؤسسه کنترل و گواهی بنر
18	Juicy sweet2	مؤسسه کنترل و گواهی بنر

مخصوص، مقدار ۳۰ میلی لیتر محلول تهیه شده به هرسرنگ وارد شد، با نکه داشتن سرنگ به صورت عمودی و فشار دادن پیستون هوای اضافی سرنگ تخلیه گردید و پس از آن مجدد گیره سرنگ بسته شد. زمان دقیق انجام تزریق هر سرنگ و حجم آن بلافاصله یادداشت و سپس سرنگ در دستگاه انکوباسیون با دمای ۳۹ درجه سلسیوس قرار داده شد. قرائت حجم گاز تولیدی در فاصله های زمانی ۴، ۶، ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت صورت پذیرفت.

برآورد انرژی قابل متابولیسم (ME)

مقدار انرژی قابل متابولیسم، با استفاده از حجم گاز حاصل از تخمیر ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک در طول ۲۴ ساعت و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (۱۴).

$$ME = \frac{2}{2} + \frac{0.1357(GP)}{1000} + \frac{0.0057(XP)}{1000} + \frac{0.0002859(XP)^2}{1000} \quad (4)$$

که در آن ME، انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)، GP، حجم گاز تولیدی (میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک در ۲۴ ساعت انکوباسیون) و XP، پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است.

روش های تجزیه آماری

برای مقایسه نتایج معادلات استاندارد معتبر بین المللی مانند منک و استین گاس و سازمان پژوهش های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع (CSIRO) با معادلاتی که نگارندگان در این مقاله

تعیین ترکیبات شیمیایی

میزان خاکستر خام با سوزاندن نمونه ها در کوره الکتریکی و پروتئین خام با استفاده از روش کلدال تعیین شدند (۱). برای تعیین غلظت ADL و به منظور حل کردن سلولز موجود در ADF، نمونه های ADF به مدت سه ساعت در اسید سولفوریک ۷۲ درصد قرار داده شدند (۱).

کربوهیدرات های محلول در آب (WSC)

هنگامی که کربوهیدرات ها در مجاورت معرف انترون و در اسید سولفوریک حرارت داده شوند، کمپلکسی به رنگ سبز-آبی ایجاد می کنند که می توان به کمک رنگ ایجاد شده و با استفاده از روش اسپکتروفتومتری، غلظت کربوهیدرات های محلول را تعیین کرد. برای تعیین غلظت کربوهیدرات های محلول در نمونه ها، ابتدا عصاره گیری از نمونه ها انجام شد و سپس طبق شرح جزئیات روش کار کربوهیدرات های محلول در آب تعیین شد (۱).

تعیین انرژی قابل متابولیسم با روش تولید گاز (Gas test)

برای انجام این آزمایش، از روش منک و استین گاس^۱ (۱۹۸۸) استفاده شد. شیرابه شکمه از گوسفندان نر فیستوله شده مغانی و قبل از خوراک دهی وعده صبح، گرفته شد (۱۴).

تزریق محلول نهایی به سرنگها و انکوباسیون

گیره هر سرنگ قبل از تزریق باز شد و با استفاده از پمپ

ارایه کرده‌اند از آزمون t جفتی استفاده شد. داده‌های مربوطه به صورت دو به دو با مدل زیر مقایسه آماری شدند.

$$T = D - 0 / SED$$

که در آن:

D = تفاضل هر جفت داده در مقایسه دو روش

SED = خطای معیار تفاضل داده‌ها

T = عدد تی استیودنت با درجه آزادی n-1 که n تعداد جفت داده-

ها می‌باشد.

برای مقایسه روش نمونه‌ای جفت شده از نرم افزار SPSS

استفاده شد (۲۰).

برای برآزش معادلات جهت برآورد انرژی قابل متابولیسم بر

اساس درصد NDF، ADF و لیگنین، با استفاده از نرم افزار SPSS

معادلات خطی، درجه دوم و تابع نمایی برآزش شدند و متغیر مستقلی

که بهترین R² را داشت انتخاب شد (۲۰).

نتایج و بحث

در جدول ۲ آمار توصیفی ترکیبات شیمیایی و انرژی قابل

متابولیسم تعیین شده سورگوم علوفه‌ای آورده شده است. میانگین ماده

خشک ۱۹/۵۴ است، ولی با حداقل مطلوب مورد نیاز برای سیلاژ

مرغوب (۲۵ درصد) فاصله دارد (۲ و ۱۱). مقدار قند نیز که از

بخش‌های مهم برای نشخوارکنندگان و تهیه سیلاژ در علوفه‌ها است

و منابع معتبر در تغذیه دام حداقل ۵ درصد ماده خشک علوفه را ذکر

کرده‌اند (۲ و ۱۳)، در این پژوهش حداقل ۸ درصد بود که برای تهیه

سیلاژ پایدار و مرغوب در حد مناسبی است. انرژی قابل متابولیسم

۲/۴۰ مگا کالری در هر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد که از میزان

اعلام شده توسط غلامی و همکاران (۷ و ۹) و دیری وان (۴) بالاتر

است که دلیل احتمالی آن می‌تواند وجود هیبریدهای سورگوم BMR^۲

در این آزمایش باشد.

میانگین NDF، ADF، لیگنین و انرژی قابل متابولیسم سورگوم

علوفه‌ای به ترتیب برابر ۶۰/۳۶، ۳۱/۱۶، ۱/۷۸ و ۲/۴۰ تعیین شد.

در جدول ۳ انرژی قابل متابولیسم تعیین شده از طریق روش گاز

(واقعی) سورگوم علوفه‌ای با انرژی قابل متابولیسم تخمینی حاصل

از دو معادله سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک

المنافع (مینسون) و منک و استین گاس به دست آمده از میزان ADF

سورگوم به عنوان متغیر مستقل مقایسه شده است. مقایسه آماری

داده‌های جفتی جدول نشان می‌دهند که معادله منک و استین گاس با

۲/۴۱ انرژی قابل متابولیسم تخمینی بهتری در مقایسه با معادله

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع با

۲/۱۹ انرژی قابل متابولیسم در هر کیلوگرم ماده خشک، تخمین بهتری از انرژی قابل متابولیسم سورگوم علوفه‌ای ارایه می‌دهد و تفاوت بین آنها خیلی معنی دار است.

مقدار تفاوت ۰/۲۱ بین انرژی قابل متابولیسم تعیین شده سورگوم

و تخمینی از معادله مینسون زیاد و معنی دار است و نشان می‌دهد که

این معادله تخمین خوبی از ME سورگوم به دست نمی‌دهد و

برعکس معادله منکی (دومین جفت) نشان می‌دهد که با میانگین

تفاوت ۰/۰۸- تخمین خوبی از انرژی قابل متابولیسم سورگوم

علوفه‌ای می‌دهد که میزان تفاوت هم معنی دار نیست.

در زیر شکل‌های رگرسیونی خطی، درجه دوم و تابع نمایی مربوط

به انرژی قابل متابولیسم بر اساس درصد NDF و ADF نمونه‌های

سورگوم به ترتیب آورده شده‌اند.

میزان R² در توابع خطی، نمایی و درجه دوم حاصل از درصد

NDF سورگوم علوفه‌ای (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) در حد متوسط است

و از معادلات تابعیت ADF (شکل‌های ۴، ۵ و ۶) پائین‌تر است.

NDF حاوی سلولز، همی سلولز، لیگنین است که رابطه منفی با

میزان ME علوفه‌ها دارند و این رابطه رگرسیونی برای بقولات

(لگوم‌ها) و گراس‌ها متفاوت است. در علوفه بقولات قابلیت هضم

ماده خشک، در میزان NDF مساوی، ۰/۱۶ واحد از گراس‌ها کمتر

است.

ADF در بخش فیبری علوفه‌ها شامل سلولز و لیگنین است. در

اکثر علوفه‌های بقولات و گراس‌ها میزان رابطه رگرسیونی قابلیت

هضم ماده خشک (انرژی علوفه) با مقدار ADF رابطه منفی و

مستقیم است (r = -۰/۷۹). عمده‌ترین مزیت ADF نسبت به NDF

به عنوان متغیر مستقل در تعیین انرژی قابل دسترس علوفه‌ها، عدم

وجود تفاوت در رابطه رگرسیونی برای بقولات (لگوم‌ها) و گراس‌ها

است و این سبب می‌شود تا بتوان از یک معادله برای بقولات و

لگوم‌ها استفاده کرد.

از بین متغیرهای مستقل آزمون شده، ADF بهترین تقریب را از

مقدار انرژی قابل متابولیسم نشان داد. معادلات برآزش شده از ADF

سورگوم علوفه‌ای در جدول پنج آورده شده است. ضریب تعیین (R²)

معادلات در برآورد انرژی قابل متابولیسم، برای معادلات خطی، درجه

دو و نمایی متوسط و قابل قبول است و این معادلات در سطح یک

درصد معنی دار هستند. تابع خطی به دلیل سادگی و تقریب نزدیکتر

به ME سورگوم علوفه‌ای اندازه گیری شده، برای تخمین انرژی

قابل متابولیسم پیشنهاد می‌شود.

$$ME (Mcal/Kg DM) = 3/320 - 0/029 (ADF\%)$$

جدول ۲- آمار توصیفی ترکیبات شیمیایی سورگوم علوفه‌ای (درصد)

Table 2- Descriptive statistics of chemical compounds of eighteen forage sorghum cultivars

ترکیب شیمیایی Chemical composition	تعداد number	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	انحراف معیار standard deviation
ماده خشک Dry matter	54	31.64	13.00	19.54	0.53	3.93
پروتئین خام Crude protein	54	7.23	4.49	6.36	0.06	0.41
خاکستر خام Crude ash	54	9.20	4.80	7.20	0.14	1.02
لیگنین lignin	54	4.41	1.00	1.78	0.13	0.93
ADF Acid detergent fiber	54	41.60	3.55	31.16	0.72	5.29
NDF Neutral detergent fiber	54	70.95	53.25	60.36	0.49	3.57
قند (کربوهیدرات های محلول در آب) Water soluble carbohydrate	54	16.73	8.00	11.09	0.30	2.20
نشاسته starch	54	36.86	18.05	26.08	0.60	4.44
انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) Metabolizable energy (Mcal/Kg DM)	54	2.74	1.95	2.40	0.02	0.16

جدول ۳- توصیف آماری مقایسه جفتی انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از آزمایش و انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از معادله سازمان پژوهش های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع (مینسون) و منک و استین گاس

Table 3- Statistical Characteristic Table Comparison of the Pairs of metabolizable energy Derived from Experiment and metabolizable energy Derived from the Mineson and Stein Gus Equation

مقایسه جفتی انرژی قابل متابولیسم Comparison of the Pairs of metabolizable energy	توصیف آماری نمونه‌های جفت شده Statistical Characteristic of paired samples				
	تعداد نمونه Number of sample	میانگین mean	اشتباه معیار Standard error	عدد t T value	سطح معنی داری P_ value
انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از آزمایش Metabolism energy obtained from the experiment	54	2.40	0.02	5.747	<0.0001
اولین جفت first pair انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از معادله سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع (مینسون) Metabolized energy obtained from the Mineson equation	54	2.19	0.04	5.747	<0.0001
دومین جفت Secound pair انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از آزمایش Metabolism energy obtained from the experiment	54	2.40	0.02	-0.0333	0.740
انرژی قابل متابولیسم به دست آمده بر اساس معادله منکی و استین گاس Metabolism energy derived from Menke and Steingass equation	54	2.41	0.02	-0.0333	0.740

جدول ۴- مقایسه میزان تفاوت دو میانگین درمقایسه جفتی انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از آزمایش و انرژی قابل متابولیسم به دست آمده از معادله معادله سازمان پژوهش های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع (مینسون) و منک و استین گاس

Table 4- Difference between the two mean values and the significance level of the differences in the comparison of the metabolizable energy obtained from the experiment and the metabolizable energy obtained from the Minson and Stein Gus equations

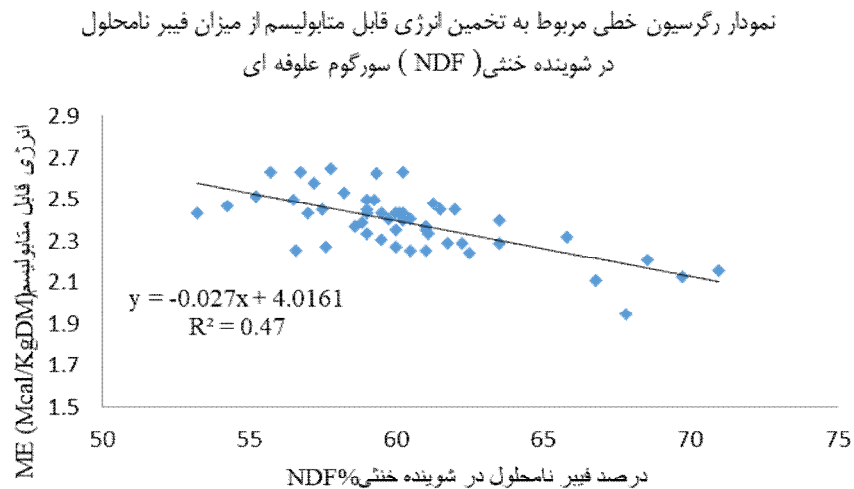
مقایسه میزان تفاوت دو میانگین درمقایسه جفتی انرژی قابل متابولیسم Difference between the two mean values and the significance level of the difference	فاصله اطمینان ۹۵ درصدی تفاوتها 95% confidence interval of the Difference				t	سطح معنی دار شدن Significant level
	میانگین تفاوت Mean	اشتباه معیار تفاوت Standard error of mean	بالا upper	پائین Lower		
انرژی قابل متابولیسم تعیین شده- انرژی قابل متابولیسم مینسون اولین جفت first pair	0.21	0.03	0.28	0.14	5.75	0.000
انرژی قابل متابولیسم تعیین شده- انرژی قابل متابولیسم منک و استین گاس دومین جفت Secound pair	-0.008	0.02	0.04	-0.05	-0.33	0.74

جدول ۵ - معادلات برازش شده برای تخمین انرژی قابل متابولیسم بر اساس ADF نمونه‌های سورگوم علوفه‌ای
Table 5- Fitted Equations for estimating metabolizable energy Based on ADF Forage Sorghum Samples

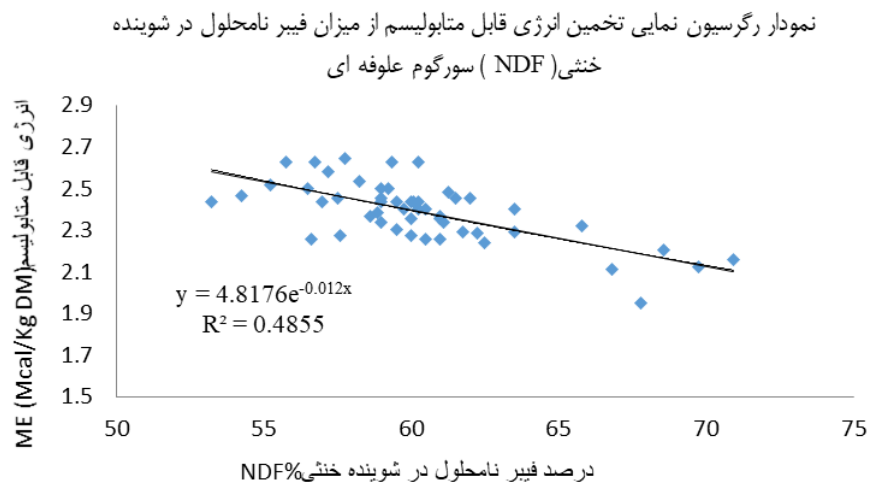
نام تابع برازش شده Fitted Equations	درجه معنی داری Significant level	ضریب تبیین Coefficient of determination	معادلات برازش شده بر اساس درصد ADF Fitted Equations Based on ADF%
خطی Linear	0.001	0.592	ME (Mcal/Kg DM) = 3.320 - 0.029(ADF%)
درجه دوم Quadratic	0.001	0.624	ME (Mcal/Kg DM) = 5.1012 - 0.1349 (ADF%) + 0.0015(%ADF) ²
تابع نمایی Exponential	0.001	0.602	ME (Mcal/Kg DM) = 3.561 * e ^{-0.013 ADF%}

جدول ۶ - معادله خطی برازش شده برای تخمین انرژی قابل متابولیسم از NDF مربوط به سورگوم علوفه‌ای
Table 6- Fitted Equations for estimating metabolizable energy Based on NDF Forage Sorghum Samples

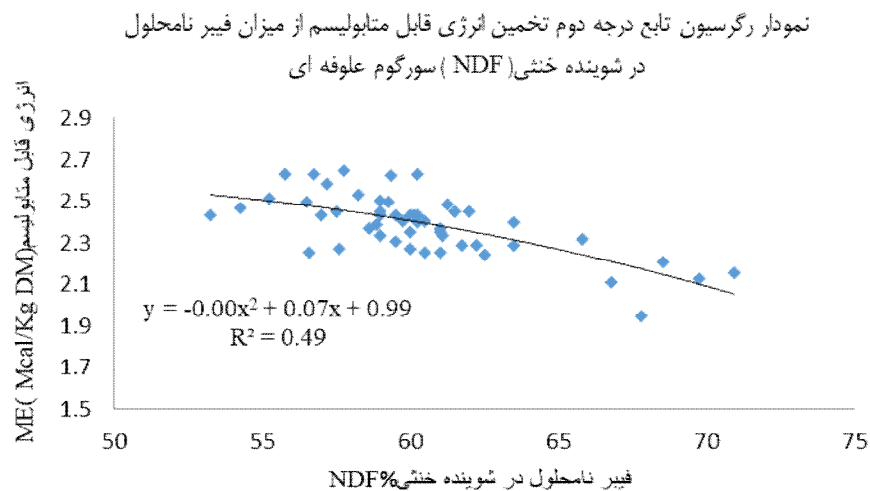
نام تابع برازش شده Fitted Equations	درجه معنی داری Significant level	ضریب تبیین Coefficient of determination	معادلات برازش شده بر اساس درصد NDF Fitted Equations Based on NDF%
خطی Linear	0.001	0.470	ME (Mcal/Kg DM) = 4.016 - 0.027(NDF%)
درجه دوم Quadratic	0.001	0.490	ME (Mcal/Kg DM) = 0.990 + 0.070 (NDF%) - 0.0008(%NDF) ²
تابع نمایی Exponential	0.001	0.485	ME (Mcal/Kg DM) = 4.818 * e ^{-0.012 NDF%}



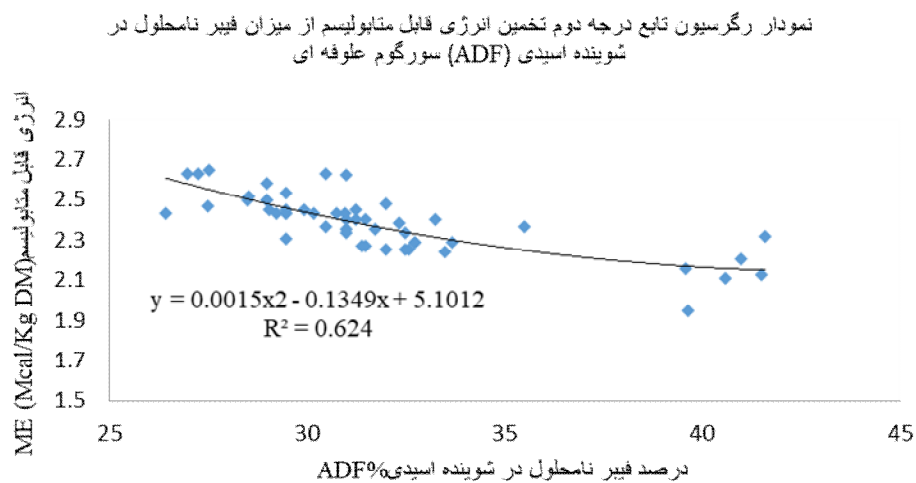
شکل ۱- نمودار رگرسیونی خطی برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان NDF سورگوم
Figure 1- Fitted linear regression curve and model for estimating metabolizable energy value of sorghum NDF



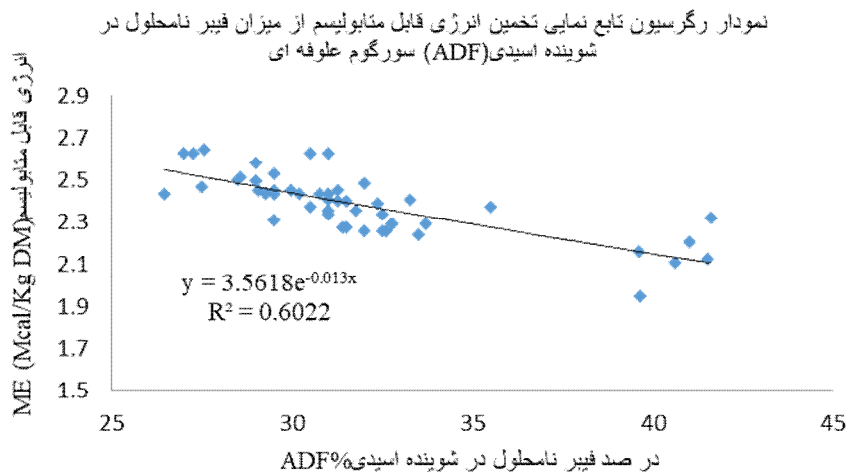
شکل ۲- نمودار رگرسیونی نمایی برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان NDF سورگوم علوفه‌ای
Figure 2. Fitted exponential regression curve and model for estimating the amount of metabolizable energy from NDF forage sorghum



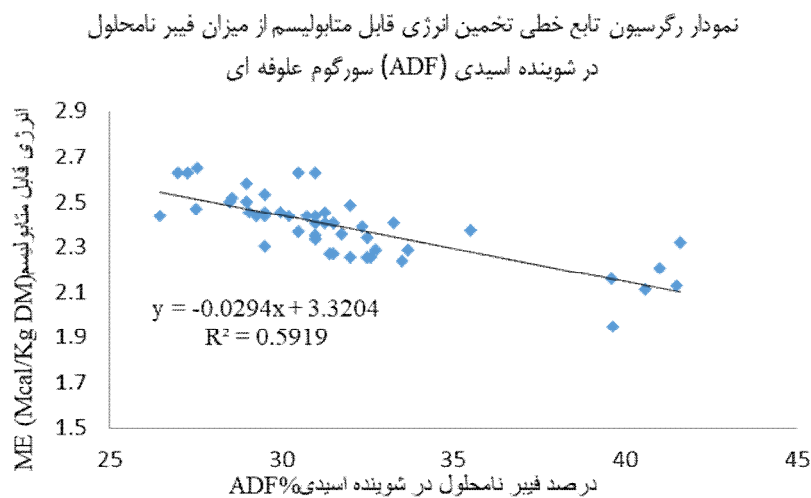
شکل ۳- نمودار رگرسیونی درجه دوم برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان NDF سورگوم علوفه‌ای
Figure 3. Fitted quadratic regression curve and model for estimating the amount of metabolizable energy from NDF forage sorghum



شکل ۴- نمودار رگرسیونی درجه دوم برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان ADF سورگوم علوفه‌ای
Figure 6. Fitted quadratic regression curve and model for estimating the amount of metabolizable energy from ADF forage sorghum



شکل ۵- نمودار رگرسیونی نمایی برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان ADF سورگوم علوفه‌ای
Figure 7. Fitted exponential regression curve and model for estimating the amount of metabolizable energy from ADF forage sorghum



شکل ۶- نمودار رگرسیونی خطی برازش شده و مدل مربوط به تخمین مقدار انرژی قابل متابولیسم از میزان ADF سورگوم علوفه‌ای
Figure 8. Fitted linear regression curve and model for estimating the amount of metabolizable energy from ADF forage sorghum

قرار دارند (۲/۴۱) ولی مدل سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع با تخمین ۲/۱۹ مگا کالری، انرژی قابل متابولیسم سورگوم‌های آزمایشی در این پژوهش راکمتر از مقدار واقعی و تعیینی آن (۲/۴۰) برآورد می‌کند.

نتیجه گیری کلی

نتایج تجزیه شیمیایی و تعیین ME سورگوم‌های آزمایشی با روش آزمون گاز نشان دادند که میزان ADF و ME سورگوم به

معادله فوق رابطه درصد ADF با انرژی قابل متابولیسم در سورگوم علوفه‌ای را نشان می‌دهد و در آن از تابع خطی استفاده شده است و ضریب تعیین آن در حد خوب و قابل قبول است ($R^2 = 0.592$). در نمودار رگرسیونی یک رابطه مستقیم و صعودی بین انرژی قابل متابولیسم و درصد ADF مشاهده می‌شود. میانگین‌های به دست آمده از سه مدل، غلامی (۸)، منک و استین گاس (۱۴) و سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشورهای مشترک المنافع (۳) نشان می‌دهند که انرژی قابل متابولیسم تخمینی سورگوم علوفه‌ای از ADF در مدل غلامی و منکی و استین گاس تقریباً در یک محدوده

$$ME \text{ (Mcal/Kg DM)} = ۳/۳۲۰ - ۰/۰۲۹ \text{ (ADF\%)}$$

ترتیب ۳۱/۱۶ درصد و ۲/۴۱ مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک است و بهترین رابطه رگرسیونی برای تخمین ME در سورگوم علوفه‌ای و با استفاده از متغیر مستقل ADF، رابطه پیشنهادی زیر است.

منابع

- 1- AOAC International. 2012. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
- 2- Church, D. C., and W. C. Pond. 1988. Basic Animal Nutrition and Feeding. Third Edition. Jhon Wiley & Sons.
- 3- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. (CSIRO). 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Australia. Colling wood VIC 3066.
- 4- Dairy One. 2009. Feed composition library. <http://www.dairyone.com/Forage/FeedComp/disclaimer.asp> Accessed Sep. Interactive Feed Composition Library . sorghum.
- 5- Detmann, E., S. C. Valadares Filho, D. S. Pina, L. T. Henriques, M. F. Paulino, K. A. Magalhães, P. A. Silva, and M. L. Chizzotti. 2008. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143:127-147.
- 6- Getachew, G., G.M. Crovetto., M. Fondevila., U. Krishnamoorthy., B. Singh., M. Spanghero., H. Steingass., P.H. Robinson. and M.M. Kailas. 2002. Laboratory variation of 24 h in vitro gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 102: 169-180.
- 7- Gholami, H. 2014. Estimation of metabolizable energy and net nutrients available in Iranian feedstuffs, based on chemical compounds and prediction equations. Final report of research project. National Animal Science Research Institute of Iran. P. 43(In Persian).
- 8- Gholami, H. 2018. Determination of nutritional value of different varieties of forage sorghum in Alborz province. Final report of research project. National Animal Science Research Institute of Iran. Pp 23-43 (In Persian).
- 9- Gholami, H., H. fasaeli., S. A. Mir Hadi., K. Reza Zadi., M. Rezae., M. Zahedi Far., A. grami., N. Timour nejad. and M. Babaie. 2018. Nutrient tables of Iranian feedstuffs. First Edition. Agricultural Research, Training and Promotion Organization. Animal Science Research Institute. Karaj, Iran pp 42-43 (In Persian).
- 10- Harlan, D. W., J. B. Holter, and H. H. Hayes. 1991. Detergent Fiber Traits to Predict Productive Energy of Forages Fed Free Choice to Nonlactating Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 74:1337-1353.
- 11- Harris, L. E. and L. C. Kearl. 1976. In Feed Composition, Animal Nutrient Requirements and Computerization of Diets. Utah agricultural Experimental station. Utah State University, Logan. Utah. USA. pp.44-46
- 12- Lee, M., J. Hwang, S. Wen-Shyg, and P. Chiou. 2000. Metabolizable energy of roughage in Taiwan. *Small Ruminant Research*, 36: 251-259.
- 13- Macdonald, P., R.A. Edwards, and J. F. D. Greenhalgh. 1995. *Animal Nutrition*. 5th Edition. Copublished in the United States with Johan Wiley & Sons Inc. New York. pp. 273-311
- 14- Menke, K. H. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas Production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28:7 -55.
- 15- Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press, Washington DC. USA. Pp. 150-161
- 16- National Research Council. 2007. Nutrient Requirments of small ruminants. Washington DC. USA. Pp.39-81
- 17- National Research Council. 1959. United States and Canadian Tables of Feed Composition: Nutritional Data for United States and Canadian Feeds. Washington, D. C. : National Academy Press. Washington DC. USA. Pp.5-18
- 18- National Forage Testing Association (NFTA). 2007. Estimates of energy availability. Appendix A3. http://www.foragetesting.org/lab_procedure/appendix/A/EnergyEstimates.htm Accessed Sep. pp1-15
- 19- Owens, F. N., D. A., Sapienza, and A. T., Hassen, 2010. Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 88; 151-159.
- 20- SPSS. 2009. Statistical Package for the Social Sciences. Longproduced by SPSS Inc.
- 21- Weiss, W. P. 1993. Predicting Energy Values of Feeds. *Journal of Dairy Science*, 76:1802-1811.
- 22- www.feedipedia.org/node/703.



Introducing a linear model for estimating forage sorghum metabolizable energy by using fiber components

H. Gholami^{1*}- M. Babaei²

Submitted: 12-09-2018

Accepted: 06-10-2019

Introduction: The metabolizable energy represents a part of the gross energy of the feed, which after the deduction of the amount of feces and urine energy and the gases. One of the laboratory methods for determining the metabolizable energy of feedstuff is the gas method. This method is based on the measurement of the amount of released gas at the specified time. The estimated energy obtained from this method has a very high correlation with the amount of energy derived from the live animal method (*in vivo*). The direct determination of the energy available of feeds requires a great deal of time and cost, and since the available energy has a positive and high relationship with some of the chemical constituents of the feed, livestock nutritionists use fiber components such as NDF, ADF and lignin to estimate the available energy of feeds. Another approach is using equations to obtain the ADF for metabolizable energy of forages. It was reported that the amount of determination coefficient (R^2) for estimating the metabolizable energy of forages from ADF levels was from 0.52 to 0.92. This study conducted to determine the nutritional value and introduce regression equations for estimating the available energy of some forage sorghum.

Materials and Methods: Eighteen sorghum varieties planted in May 2016 at the research and educational farm in Karaj province of IRAN. Experimental varieties were harvested in September. Three samples of each sorghum forage cultivar, which planted in three separate rows, after crushing into 3 to 5 cm pieces, totaling about 54 samples, collected. Nutrient compositions including crude protein, crude ash, ADF, NDF, water-soluble carbohydrates, starch and lignin analyzed by AOAC official methods. The amount of crud ash determined by burning samples in an electric furnace and crude protein. To determine the concentration of ADL and to dissolve cellulose present in ADF, ADF samples placed in 72% sulfuric acid for three hours. The digestibility of the samples determined by gas test method. The amount of ME calculated using the volume of gas produced from fermentation of 200 mg of dry matter over a period of 24 hours. $ME = 2/2 + 1357/0 (GP) + 0057/0 (XP) + 00002859/0 (XP)^2$, Where ME is the metabolizable energy (MJ per kg of dry matter), GP, the volume of produced gas (ML in 200 mg dry matter per 24 hours incubation) and XP, crude protein (g / kg dry matter). For fitting the equations for estimating metabolizable energy based on NDF, ADF and lignin, SPSS software used to fit the linear, quadratic and exponential equation, and selected the independent variable that had the best R^2 .

Results and Discussion: The average dry matter of total 54 experimental samples is 19.54, and it is less than minimum required for high-grade silage (25%). The amount of sugar and starch are enough, which is an important part for the preparation of stable and quality silage. Determined metabolism energy was 2.40, which is higher than that announced by researchers, which could be the reason for the presence of BMR hybrids in this experiment. The mean of NDF, ADF, lignin and metabolizable energy of forage sorghum was determined to be 60.36, 31.16, 1.78 and 2.40, respectively. The whole equations obtained from NDF, ADF, lignin had an acceptable coefficient of determination, but the equations obtained from the ADF value, as an independent factor, have a higher coefficient of determination and the accuracy of the equations is moderate and acceptable. Among the equations, the linear equation derived from ADF suggested for estimating metabolizable energy due to the simplicity and approximation closer to actual ME of forage sorghum measured. Compared to the international linear equations, which ADF were independent factor, the Menke

1-Assistant professor of animal nutrition department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Animal Science research Institute, Karaj, Iran.

2-Assistant professor of animal nutrition department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Animal Science research Institute, Karaj, Iran.

(* - Corresponding Author Email: Ho.gholami@areeo.ac.ir)

and Steingas metabolizable energy from ADF equations do not have any significant difference with the estimated ME of forage sorghum in this study.

Conclusion: The results of chemical analysis and determination of ME of sorghum by gas test showed that the amount of ADF and ME of sorghum was 31.16% and 2.41 Mcal/kg of dry matter, respectively. The best correlation for estimating ME, which ADF was as independent factor, was the following proposed linear equation. ME (Mcal/Kg DM) = 3.320 - 0.029 (ADF %).

Keywords: ADF, estimation of Metabolizable energy, forage sorghum, gas testing.