Archi of SID

نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان
جلد هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
http://ejrr.gau.ac.ir
۱-۱۵

کاربرد برخی از مدل‌های غیر خطی در پیش‌بینی کینتیک تولید گاز در جیره‌های مختلف گوسفند با تکیه بر دقت این مدل‌ها

سعید مرادی[۱] و *خلیل زابلی[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، [۲]استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: آزمون تولید گاز به منظور بررسی ارزش غذایی مواد خوراکی در تغذیه دام استفاده می‌شود. در آزمون تولید گاز، حجم گاز تولید شده در طول زمان انکوباسیون با استفاده از یک مدل غیر خطی برازش می‌شود و از این طریق برخی فراسنجه‌های مربوط به تخمیر شکمبه‌ای ماده خوراکی پیش‌بینی می‌گردد. در طول سال‌های گذشته، محققین تغذیه دام، انواع مدل‌های غیر خطی را برای این منظور پیشنهاد نموده‌اند. اما گزارش شده است که هر کدام از این مدل‌ها، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای را با دقت متفاوتی پیش‌بینی کرده و نتایج متناقضی را ارایه داده‌اند. هدف از انجام این آزمایش، مقایسه دقت برخی از مدل‌های غیر خطی در پیش‌بینی کینتیک تولید گاز در جیره‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها: برای انجام این آزمایش، تعداد ۵ جیره غذایی با نسبت‌های مختلف علوفه به کنسانتره (۷۰:۳۰، ۶۰:۴۰، ۵۰:۵۰، ۴۰:۶۰ و ۳۰:۷۰) تهیه شدند. مواد خوراکی مورد استفاده برای تهیه این جیره‌ها، شامل علوفه یونجه، کاه گندم، دانه جو، سبوس گندم و کنجاله سویا بودند. جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های آزمایشی از آزمون تولید گاز در ۳ دوره جداگانه استفاده شد. در هر دوره، مایع شکمبه، قبل از خوراک‌دهی صبحگاهی از تعداد ۳ راس گوسفند نر نژاد مهربان مجهز به فیستولای شکمبه‌ای گرفته شد. سپس، مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک از هر کدام از جیره های آزمایشی به همراه ۳۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه بافری شده به داخل هر یک از ویال‌های شیشه‌ای (در ۳ تکرار) منتقل و همه ویال‌ها درپوش گذاری شدند. ویال‌های آماده شده (تعداد ۳ عدد ویال هم به عنوان بلانک در نظر گرفته شد) در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شده و حجم گاز تولید شده در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴ ساعت پس از انکوباسیون ثبت گردید. نتایج به‌دست آمده (حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف انکوباسیون) با استفاده از مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول برازش شدند. نکویی برازش مدل‌ها با استفاده از آماره‌های میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقیمانده، میانگین درصد خطا و کارآیی نسبی انجام شد. از آزمون‌های دوربین-واتسون و معیار اطلاعات آکائیک نیز به‌منظور انتخاب بهترین مدل استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مدل‌ها از نظر پیش‌بینی پتانسیل تولید گاز تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. مدل اکسپونانشیال دارای بیشترین مقدار میانگین مربعات خطا (۳۵/۷۴)، انحراف مطلق میانگین باقیمانده (۴/۶۷)، میانگین درصد خطا (۴/۴۶) و کمترین مقدار ضریب تبیین (۰/۹۷۰) بود (P<۰/۰۵). کمترین مقدار میانگین مربعات خطا (۲/۶۳) و انحراف مطلق میانگین باقیمانده

*نویسنده مسئول: zaboli@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

(۱/۱۳) نیز در مدل ویبول مشاهده شد (P<۰/۰۵). کارآیی نسبی مدل ویبول نسبت به سایر مدل‌ها بالاتر بود. بیشترین (٥٦/۱۸) و کمترین (۲۳/۲۹) مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک به‌ترتیب در مدل‌های اکسپونانشیال و ویبول مشاهده شد. مقدار آماره دوربین–واتسون در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز–اوکاردس و ویبول به‌ترتیب ۰/۲٦۰، ۱/۱۸۷، ۱/۱۸۷، ۰/۹٥٥ و ۱/٦٥۳ بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد که مدل اکسپونانشیال کینتیک تولید گاز جیره‌های مورد آزمایش را با دقت کمتری پیش‌بینی کرد و بالاترین دقت را نیز مدل ویبول داشت.

واژه‌های کلیدی: آکائیک، کارآیی نسبی، کینتیک تولید گاز، مدل‌های غیر خطی، نکویی برازش

مقدمه

تعیین ارزش غذایی مواد خوراکی، اطلاعات با ارزشی در مورد خصوصیات کمی و کیفی مواد مغذی موجود در آن ارائه می‌دهد. برای این منظور از روش-های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها آزمون تولید گاز است که اولین بار توسط منک و همکاران (۱۹۷۹) ابداع و معرفی گردید و بعد از آن توسط محققین مختلف بطور گسترده‌ای بکار گرفته شد (۱۲). آزمون تولید گاز اطلاعات با ارزشی در رابطه با کینتیک هضم خوراک ارائه می‌دهد. در این روش، اندازه‌گیری مقدار گاز تولید شده در طول زمان انکوباسیون باعث می‌شود که سرعت هضم خوراک در شکمبه و فراسنجه‌های کینتیک تخمیر شکمبه‌ای آن پیش‌بینی شود (۱۲). برای ارزیابی داده‌های حاصل از آزمون تولید گاز به یک مدل مناسب نیاز است که بتواند تولید گاز را در طول زمان انکوباسیون توصیف کند و با توجه به اینکه منحنی تولید گاز یک شکل لگاریتمی دارد، لذا برازش داده‌های حاصل از آن با استفاده از یک مدل غیر خطی صورت می‌گیرد (۱۹). اولین مدلی که برای توصیف تولید گاز و خصوصیات هضم خوراک مورد استفاده قرار گرفت، مدل اکسپونانشیال[1] بود که توسط منک و همکاران (۱۹۷۹) بکار گرفته شد (۱۲). گزارش شده است که مدل اکسپونانشیال در بیشتر موارد در پیش‌بینی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای در آزمون تولید گاز از دقت کافی برخوردار نیست (۳). زیرا فرآیند تخمیر شکمبه بر پایه فعالیت جمعیت میکروبی آن است و از آنجائیکه منحنی رشد میکروب‌ها بصورت زیگموئیدی است، لذا استفاده از مدل اکسپونانشیال که دارای ساختار غیر زیگموئیدی است، باعث افزایش خطا در آنالیز داده‌های حاصل از آن می‌گردد. لذا در حال حاضر انواع مدل‌های غیر خطی دیگری، برای دستیابی به بهترین کینتیک تولید گاز توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است (١٦). بعنوان مثال می‌توان به مدل-های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر[2]، کورکمز–اوکاردس[3]، میچرلینگ[4] و ویبول[5] اشاره کرد که در دهه‌های گذشته توسط محققین مختلف برای بررسی تکنیک تولید گاز استفاده شده است. مدل میچرلینگ که در ابتدا جهت مطالعات مربوط به رشد گیاه معرفی شده بود، بعدها به وسیله سایر محققین برای پیش‌بینی تولید گاز و تخمیر شکمبه مورد استفاده قرار گرفت (۵ و ۱۹). همچنین مدل کورکمز–اوکاردس با یک ساختار لگاریتمی، برای پیش‌بینی روند تجزیه‌پذیری خوراک‌ها در شکمبه ارائه شد (۷). مدل ویبول که در

1. Exponential

2. Exponential with lag time
3. Korkmaz-Uckardes
4. Mitscherling
5. Weibull

www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا برای توصیف توابع رشد استفاده شده بود، بعدها جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه مورد استفاده قرار گرفت (٦). به‌منظور بررسی دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی و توصیف نتایج آزمون تولید گاز از آماره‌های مختلفی استفاده می‌شود و این آماره‌ها توانایی و انعطاف‌پذیری یک مدل را در مقایسه با مدل دیگر نشان می‌دهند (١٥). از جمله این آماره‌ها می‌توان میانگین مربعات خطا[1]، ضریب تبیین[2]، انحراف مطلق میانگین باقی مانده[3]، میانگین درصد خطا[4] و نیز آزمون‌های دوربین-واتسون[5] و معیار اطلاعات آکائیک[6] را نام برد. با توجه به موارد فوق هدف از پژوهش حاضر بررسی دقت برخی از مدل-های غیر خطی در پیش‌بینی کینتیک تولید گاز بود و برای این منظور از پنج جیره غذایی با سطوح مختلف علوفه به کنسانتره استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های ١٣٩٦ تا ١٣٩٧ و در گروه علوم دامی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. مواد خوراکی مورد استفاده در این آزمایش شامل علوفه یونجه، کاه گندم، دانه جو، سبوس گندم و کنجاله سویا بودند که در قالب تعداد ٥ جیره با نسبت‌های علوفه به کنسانتره (٧٠:٣٠، ٦٠:٤٠، ٥٠:٥٠، ٤٠:٦٠ و ٣٠:٧٠) در نظر گرفته شدند (جدول ١).

ابتدا درصد ماده خشک مواد خوراکی تعیین شد و سپس این مواد با استفاده از آسیاب رومیزی مجهز به الک ٢ میلی‌متری آسیاب شدند و در قالب جیره‌های فوق مورد استفاده قرار گرفتند. درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی اقلام خوراکی (درصد ماده آلی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی) بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شدند (١ و ٢٠). آزمون تولید گاز با استفاده از ویال‌های شیشه‌ای ١٠٠ میلی‌لیتری در ٣ دوره[7] ٦ روزه و به‌طور جداگانه انجام شد (١١). در هر دوره، مایع شکمبه مورد نیاز، قبل از خوراک‌دهی صبحگاهی از سه راس گوسفند نر نژاد مهربان ٥-٤ ساله (با میانگین وزن ٦٠ کیلوگرم) مجهز به فیستولای شکمبه‌ای گرفته شد. این گوسفندان به‌طور روزانه در دو وعده غذایی صبح و عصر با استفاده از علوفه یونجه و کنسانتره (حاوی مواد خوراکی مورد آزمایش) و مطابق پیشنهاد NRC (٢٠٠٧) تغذیه می-شدند. این حیوانات از ١٠ روز قبل به جیره مورد نظر عادت دهی شدند و در طول این مدت به آب آشامیدنی سالم، نمک و آجر معدنی دسترسی آزاد داشتند. مایع شکمبه از هر گوسفند، با استفاده از پمپ خلاء و از طریق دریچه فیستولا گرفته شد و پس از جمع‌آوری، روی هم ریخته شده و با حفظ درجه حرارت و شرایط بی‌هوازی در داخل فلاسک به آزمایشگاه منتقل و سپس با استفاده از پارچه چهار لایه متقال صاف و به نسبت ١ به ٢ با محلول بافر و در مجاورت گاز دی اکسید کربن مخلوط گردید. مقدار ٣٠ میلی‌لیتر از مایع شکمبه بافری شده به داخل هر یک از ویال‌های شیشه‌ای که حاوی ٢٠٠ میلی‌گرم ماده خشک نمونه (در ٣ تکرار) بودند، ریخته شده و درب ویال‌ها با درپوش آلومینیومی پرس شد.

1. Mean squares errors
2. Coefficient of determination
3. Residual mean absolute deviation
4. Mean percentage error
5. Durbin Watson test
6. Akaike's Information Criterion
7. Run

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: ترکیب جیره‌های مورد استفاده در آزمایش(برحسب درصد)

Table 1. Composition of studied rations (based on percentage)

30F:70C	40F:60C	50F:50C	60F:40C	70F:30C	مواد خوراکی Feed-stuffs
27.50	36.65	45.83	55.00	64.15	علوفه یونجه Alfalfa hay
61.25	52.50	43.75	35.00	26.25	دانه جو Barley grain
1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	کنجاله سویا Soybean meal
7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	سبوس گندم Wheat bran
2.50	3.35	4.17	5.00	5.85	کاه گندم Wheat straw
2.62	2.50	2.39	2.28	2.17	انرژی قابل متابولیسم Metabolizable energy* (Mcal/kg DM)

*انرژی قابل متابولیسم بر اساس جدول NRC (۲۰۰۷) برآورد گردید (١٤).

* Metabolizable energy was estimated based on NRC (2007).
Forage(F) to concentrate(C) ratio

تعداد ۳ عدد ویال هم به عنوان بلانک (بدون اضافه کردن نمونه خوراک) در نظر گرفته شده و در نهایت، همه ویال‌ها پس از آماده شدن، به داخل حمام بن‌ماری با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و حجم گاز تولید شده در زمان‌های ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱٦، ۲۰، ۲٤، ۳٦، ٤۸، ۷۲، ۹٦، ۱۲۰، ۱٤٤ ساعت پس از انکوباسیون ثبت گردید (مراحل فوق در ۳ دوره ۱٤٤ ساعته و به طور جداگانه انجام گرفت). جهت پیش‌بینی حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف انکوباسیون از ۵ مدل غیر خطی استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲: توصیف مدل های ریاضی غیرخطی استفاده شده در این مطالعه

Table 2. Description of nonlinear mathematical models used in this study

دامنه Domain	فراسنجه‌های ساختاری Shape parameter	معادله Equation	مدل Model
$t \geq 0$	-	$y = A(1 - \exp^{(-c.t)})$	Exponential (EXP)
$t \geq 0$	-	$y = A(1 - \exp^{-c(t-L)})$	Exponential with lag time (EXPL)
$t \geq 0$	b	$y = A(1 - b.\exp^{(-c.t)})$	Mitscherling (MIT)
$t \geq 0$	b	$y = A - b.\ln(\exp^{(-c.t)} + 1)$	Korkmaz-Uckardes (KOR)
$t \geq 0$	b	$y = A(1 - \exp^{(-c.t)})^b$	Weibull (WEB)

y : حجم گاز تولید شده در زمان t، A: پتانسیل تولید گاز، c: سرعت تولید گاز و exp: عدد نپر (...۲/۷۱۸۲۱۸۲۸۸٤)

y: volume of gas at time t, A: asymptotic gas volume, c: rate parameter and EXP: Napier's constant (2.718218284…)

داده‌های به دست آمده (حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف انکوباسیون) با استفاده از رویه رگرسیون غیرخطی[1] در نرم‌افزار SPSS (نسخه ١٦) به مدل‌های مورد نظر برازش داده شدند و نتایج به‌صورت میلی‌لیتر گاز تولید شده به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک بیان شد. به منظور بررسی نکویی برازش مدل‌ها از مقادیر میانگین مربعات خطا،

1. Nonlinear regression

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقی مانده و میانگین درصد خطا به‌دست آمده از هر مدل استفاده شد (۱۵) همچنین برای بررسی دقت مدل‌ها در برازش داده‌ها از آزمون‌های کارایی نسبی (۱۵)، دوربین-واتسون (٤) و معیار اطلاعات آکائیک (۲) استفاده شد. آنالیز آماری فراسنجه‌های پیش‌بینی شده توسط هر مدل (فراسنجه‌های پتانسیل تولید گاز و سرعت تولید گاز) و نیز فراسنجه‌های نکویی برازش مدل‌ها (میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقی‌مانده و میانگین درصد خطا) با استفاده از رویه GLM برنامه SAS (۱۹۹۹، نسخه ۸) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح خطای ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی مواد خوراکی مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق جدول فوق درصد ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، الیاف خام محلول در شوینده خنثی و الیاف خام محلول در شوینده اسیدی در اقلام خوراکی استفاده شده در این آزمایش، تا حدود زیادی مشابه نتایج سایر محققین بود.

جدول ۳: ترکیب شیمیایی مواد خوراکی مورد استفاده در این آزمایش (بر حسب درصد ماده خشک)

Table 3. Chemical composition of feed-stuffs used in this study (based on DM %)

ماده خوراکی Feed-stuff	ماده خشک DM	ماده آلی OM	پروتئین خام CP	ان دی اف NDF	ای دی اف ADF
علوفه یونجه Alfalfa hay	92.67	93.05	13.93	48.31	36.62
کاه گندم Wheat straw	94.36	90.10	3.52	70.11	45.95
دانه جو Barley grain	92.76	97.39	11.51	26.31	5.89
سبوس گندم Wheat bran	90.11	94.00	12.62	41.97	23.89
کنجاله سویا Soybean meal	90.74	92.21	43.39	29.00	6.50

Dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF).

در یک مطالعه که بر روی ارزش غذایی علوفه یونجه، کاه گندم و دانه جو انجام گرفته بود، درصد ماده آلی، پروتئین خام، الیاف خام محلول در شوینده خنثی و الیاف خام محلول در شوینده اسیدی علوفه یونجه به‌ترتیب ۹۶/۹، ۱۵/٦، ٤٤/۱ و ۳۳/۱ درصد، در کاه گندم ۹۳/۵، ۳/۳۰، ۷۹/۵ و ۵٤/۳ درصد و در دانه جو نیز ۹۷/۵، ۱۲/۱، ۱۷/۸ و ۱۰/۷ درصد گزارش شد که تا حدود زیادی به نتایج ما نزدیک بود (۱٦). نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی کنجاله سویا و سبوس گندم نیز به نتایج سایر محققین بسیار نزدیک بود. بر این اساس، درصد ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، الیاف خام نامحلول در شوینده خنثی و الیاف خام نامحلول در شوینده اسیدی در کنجاله سویا به‌ترتیب ۸۹/۲۵، ۹۳/۳۸، ٤٦/۰۹، ۱۱/٦۹ و ۷/۵۰ درصد و در سبوس گندم نیز به‌ترتیب ۸۹/۷٦، ۹٤/۰۹، ۱۸/۷۵، ٤۰/۲۸ و ۱۰/۵٦ درصد گزارش شد (۹). به طور کلی، ارزش غذایی مواد خوراکی به عوامل بسیار زیادی

www.SID.ir

Archive of SID

بستگی دارد که مهم‌ترین آنها شامل نوع خوراک، واریته و نحوه عمل‌آوری آن می‌باشد (۱۰).

نتایج مربوط به فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مورد مطالعه شامل پتانسیل تولید گاز (A)، فراسنجه ساختاری (b)، سرعت تولید گاز (c) و نیز زمان تأخیر (L) در جدول شماره ٤ ارایه شده است. مطابق جدول فوق، مقدار پتانسیل تولید گاز در مدل‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری نشان ندادند و مقدار آن در دامنه ۱۱۹/۳۳ (در مدل اکسپونانشیال) تا ۱۲٤/٦٤ (در مدل ویبول) میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک خوراک قرار داشت. فراسنجه ساختاری فقط در سه مدل میچرلینگ، کورکمز–اوکاردس و ویبول برآورد شد (مدل‌های اکسپونانشیال و اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر فاقد فراسنجه ساختاری بودند) و مقدار آن با توجه به ساختار ریاضی معادله در هر مدل متفاوت بود. به عبارت دیگر، فراسنجه ساختاری جهت تصحیح ساختار منحنی به مدل اضافه می‌شود و لذا مقدار آن با توجه به نوع معادله هر مدل، در مدل‌های مختلف متفاوت می‌باشد (در دامنه ۰/٦۰۳ در مدل ویبول تا ۱٤٥/۱۷۰ در مدل کورکمز–اوکاردس). گزارش شده است که فراسنجه ساختاری فاقد ارزش بیولوژیکی می‌باشد، لذا مقایسه این فراسنجه در مدل‌های مختلف صحیح نیست. به عبارت دیگر، وجود فراسنجه ساختاری در مدل‌های ویبول، میچرلینگ و کورکمز–اوکاردس از طریق تصحیح ساختار منحنی تولید گاز، سبب افزایش انعطاف‌پذیری این مدل‌ها در مقایسه با مدل اکسپونانشیال شده و در نهایت سبب افزایش دقت آنها در برازش داده‌ها شده است که در ادامه به آن خواهیم پرداخت (٦).

جدول ٤: مقایسه فراسنجه‌های کینتیک تخمیر شکمبه‌ای برآورد شده بوسیله مدل های مورد مطالعه

Table 4. Comparison of the ruminal fermentation kinetic parameters estimated by the studied models

مقدار P	مدل‌ها					فراسنجه‌ها
P-value	WEB	KOR	MIT	EXPL	EXP	Parameters
0.1382	124.64	121.88	123.06	122.670	119.33	A
<.0001	0.036 ^{d}	0.06 ^{b}	0.048 ^{c}	0.050 ^{c}	0.069 ^{a}	c
-	0.603	145.170	0.848	-	-	b
-	-	-	-	3.320	-	L

مدل‌ها به‌ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز–اوکاردس و WEB: ویبول بودند.

A: پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر بر ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک)، b: فراسنجه ساختاری، c: سرعت تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت) و L: فاز تأخیر (ساعت)

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ردیف دارای تفاوت معنی دار در سطح خطای ۵ درصد در آزمون توکی هستند.

Models were EXP: Exponential, EXPL: Exponential with lag time, MIT: Mitscherling, KOR: Korkmaz-Uckardes and WEB: Weibull.

A: asymptotic gas volume (ml/200mg DM), b: shape parameter, c: rate parameter (ml.h^{-1}) and L: lag time (h).

Mean within rows followed by different superscripts are statistically different (P<0.05) by the test of Turkey's.

همچنین، تغییر ساختار منحنی تولید گاز ممکن است سبب تغییر شیب منحنی شده و سرعت تولید گاز را در مدل‌های دارای فراسنجه ساختاری تغییر دهد. بر این اساس، همانطور که در جدول ٤ مشاهده می‌شود، مقدار سرعت تولید گاز در مدل‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معنی‌داری بودند و مقدار آن در مدل اکسپونانشیال بیشترین (۰/۰٦۹ میلی‌لیتر بر ساعت) و در مدل ویبول کمترین (۰/۰۳٦ میلی‌لیتر بر ساعت) مقدار بود (P<۰/۰٥). در بین مدل‌های مورد مطالعه، فقط مدل اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر دارای فراسنجه زمان تأخیر (L) بود. از آنجائیکه سایر مدل‌ها فاقد این فراسنجه بودند، لذا مقایسه این

www.SID.ir

Archive of SID

فراسنجه در مدل‌های مختلف قابل انجام نبود. مشابه نتایج ما، در یک تحقیق که بر روی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای علوفه یونجه به روش آزمون تولید گاز انجام شد، مقدار فراسنجه پتانسیل تولید گاز در طول ۱٤٤ ساعت انکوباسیون و در مدل‌های اکسپونانشیال، ویبول، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. اما مقدار سرعت تولید گاز در مدل اکسپونانشیال (۰/۱۰۵ میلی‌لیتر بر ساعت) به طور معنی‌داری بیشتر از مدل ویبول (۰/۰٦٤ میلی‌لیتر بر ساعت) بود (۲۲). همچنین، مطالعه دیگری که بر روی سیلاژ ذرت در طول ۹٦ ساعت انکوباسیون صورت گرفت، مقدار پتانسیل تولید گاز در مدل‌های اکسپونانشیال، میچرلینگ و ویبول تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (۲۳). مقدار فراسنجه‌های کینتیک تخمیر شکمبه‌ای پیش‌بینی شده (پتانسیل تولید گاز و سرعت تولید گاز) در مواد خوراکی مختلف، به فاکتورهای متعددی وابسته است که مهم‌ترین آن نوع خوراک (ترکیب شیمیایی آن)، سایر اجزای جیره، جمعیت میکروبی مایع شکمبه و مدل غیر خطی استفاده شده می‌باشد. لذا ممکن است که مقدار آن در آزمایشات مختلف و مواد خوراکی مختلف متفاوت باشد.

نتایج مربوط به فراسنجه‌های نکویی برازش مدل‌ها در جدول شماره ۵ آورده شده است. مطابق جدول فوق، مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) در مدل اکسپونانشیال بیشترین و در مدل ویبول کمترین مقدار بود (P<۰/۰۵). مقدار ضریب تبیین (R^2) نیز در مدل اکسپونانشیال کمترین و در مدل ویبول بیشترین مقدار بود (P<۰/۰۵) که با نتایج مربوط به میانگین مربعات خطا همخوانی داشت (لازم به ذکر است که بین مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین ارتباط عکس وجود دارد. به عبارت دیگر، هر جا که مقدار میانگین مربعات خطا بیشتر باشد، مقدار ضریب تبیین کمتر است و بر عکس).

جدول ۵: مقایسه مدل‌ها بر اساس فراسنجه‌های نکویی برازش آنها

Table 5. Comparison of the models for their goodness of fit parameters

مقدار P	مدل ها					فراسنجه‌ها
P-value	WEB	KOR	MIT	EXPL	EXP	Parameters
<.0001	2.63^{b}	10.91^{b}	7.18^{b}	7.25^{b}	35.74^{a}	MSE
<.0001	0.998^{a}	0.992^{c}	0.995^{b}	0.994^{b}	0.970^{d}	R^2
<.0001	1.13^{d}	2.31^{b}	1.83^{c}	1.87^{c}	4.67^{a}	RMAD
<.0001	-0.27^{b}	-0.86^{c}	-0.58^{c}	-0.64^{c}	4.46^{a}	MPE

مدل ها به ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز-اوکاردس و WEB: ویبول بودند.

MSE: میانگین مربعات خطا، R^2: ضریب تبیین، RMAD: انحراف مطلق میانگین باقیمانده و MPE: میانگین درصد خطا

میانگین های دارای حروف متفاوت در هر ردیف دارای تفاوت معنی دار در سطح خطای ۵ درصد در آزمون توکی هستند.

Models were EXP: Exponential, EXPL: Exponential with lag time, MIT: Mitscherling, KOR: Korkmaz-Uckardes and WEB: Weibull.

MSE: mean squares errors, R^2: coefficient of determination, RMAD: residual mean absolute deviation, MPE: mean percentage error.

Mean within rows followed by different superscripts are statistically different (P<0.05) by the test of Turkey's.

بر اساس نظر محققین، مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در مدل‌های توصیف کننده آزمون تولید گاز می‌تواند معیار مناسبی برای قضاوت دقت مدل و انتخاب آن باشد و گزارش شده است که اگر مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در یک مدل به‌ترتیب زیاد و کم باشد، نشان‌دهنده دقت پایین‌تر آن مدل می‌باشد. اما اگر این مقادیر به ترتیب کم و زیاد باشند، نشان‌دهنده دقت بالای آن مدل است (۸). با توجه به مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین به‌دست آمده، مشخص شد که مدل

www.SID.ir

Archive of SID

اکسپونانشیال بخاطر داشتن بیشترین مقدار میانگین مربعات خطا و کمترین مقدار ضریب تبیین، کمترین دقت را در بین همه مدل‌ها داشت. همچنین، مدل ویبول به خاطر داشتن کمترین مقدار میانگین مربعات خطا و بیشترین مقدار ضریب تبیین بالاترین دقت را در بین مدل‌های مورد مطالعه از نظر پیش‌بینی کینتیک تولید گاز داشت. مشابه نتایج ما، در بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت مشخص شد که مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در مدل اکسپونانشیال در مقایسه با مدل های ویبول و میچرلینگ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود که نشان دهنده دقت کمتر مدل اکسپونانشیال در مقایسه با سایر مدل‌ها بود (۲۳). در مطالعه دیگری که با استفاده از مدل کورکمز-اوکاردس بر روی تعداد ۱۲ منحنی تولید گاز در علوفه یونجه انجام گرفت، مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین به‌ترتیب ۱۵/۸۵٤ و ۰/۹۸۵۳ گزارش شد که به نتایج ما تا حدودی نزدیک بود (۷). بررسی منحنی‌های تولید گاز در سیلاژ ۱۵ نوع علوفه مختلف نیز نشان داد که مقدار میانگین مربعات خطا در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر و ویبول به‌ترتیب ۲۳/۸، ۳/٤٦ و ۳/۳٤ بود (٦). در تأیید نتایج ما، سایر مطالعات نیز مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین به‌دست آمده از مدل اکسپونانشیال را به‌ترتیب بیشتر و کمتر از سایر مدل‌ها گزارش کردند که نشان دهنده دقت کمتر مدل اکسپونانشیال در مقایسه با سایر مدل‌ها می‌باشد (۱۵ و ۲۱).

مطابق جدول ۵ مقدار انحراف مطلق میانگین باقیمانده (RMAD) در مدل اکسپونانشیال بیشترین و در مدل ویبول کمترین مقدار بود (P<۰/۰۵). مقدار انحراف مطلق میانگین باقیمانده به‌عنوان یک شاخصی از نکویی‌برازش است. هر چقدر مقدار این آماره در یک مدل کوچک‌تر باشد (به صفر نزدیک‌تر باشد)، نشان‌دهنده توانایی بهتر آن مدل در برازش داده‌ها و دقت آن است (۱۵). همچنین مقدار میانگین درصد خطا (MPE) در مدل اکسپونانشیال (با مقدار ٤/٤٦) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر مدل‌ها بود و کمترین مقدار آن هم در مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس به‌دست آمد (P<۰/۰۵).

مقدار آماره میانگین درصد خطا نشان‌دهنده آن است که آیا مقادیر پیش‌بینی شده توسط یک مدل نسبت به مقادیر مشاهده شده، بیش برآورد یا کم برآورد شده است یا خیر. براساس آماره میانگین درصد خطا، اگر مقادیر پیش‌بینی شده توسط یک مدل نسبت به مقادیر مشاهده شده بیشتر باشد (بیش برآورد شده باشد)، مقدار میانگین درصد خطا منفی و در غیر این صورت مثبت است. همچنین، اگر مقدار آماره میانگین درصد خطا به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نکویی‌برازش بهتر و دقت بالاتر آن مدل می‌باشد (۱۵). مقدار میانگین درصد خطا در مدل ویبول در مقایسه با سایر مدل‌ها به عدد صفر نزدیک‌تر بود (۰/۲۷-) و نشان‌دهنده نکویی‌برازش بهتر این مدل نسبت به سایر مدل‌ها بود. مشابه نتایج ما، در تحقیقی که با مقایسه مدل‌های غیر خطی مختلف جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای علوفه یونجه انجام و از آماره‌های انحراف مطلق میانگین باقیمانده و میانگین درصد خطا به‌عنوان ابزار نکویی برازش استفاده شده بود، مقدار انحراف مطلق میانگین باقیمانده در مدل اکسپونانشیال (۲/۲٦۲) بالاترین و در مدل ویبول (۱/۰۰٤) کمترین مقدار بود که نشان داد مدل اکسپونانشیال کمترین و مدل ویبول بالاترین دقت را داشتند. همچنین، مقدار آماره میانگین درصد خطا در تحقیق فوق نیز در مدل‌های اکسپونانشیال، میچرلینگ، ویبول و کورکمز-اوکاردس به‌ترتیب ۲/۷۸٦، ۱/۳۹٤-، ۱/۲۷۹- و ۱/۷٤۵- گزارش و بیان

www.SID.ir

Archive of SID

شد که مدل اکسپونانشیال کمترین دقت را در بین مدل‌های مطالعه شده داشت (۲۲). در مطالعه دیگری هم که به‌منظور بررسی کینتیک تولید گاز در جیره‌های غذایی حاوی ٦٠ درصد یونجه با سطوح مختلف دانه ذرت و گلیسرول انجام گرفت، مقدار آماره‌های انحراف مطلق میانگین باقیمانده و میانگین درصد خطا در مدل اکسپونانشیال به‌ترتیب ٤/٠٣ و ١٥/٤ گزارش شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از مدل‌های دیگر (مدل‌های فرانس، گومپرتز و لجستیک) بود و نشان‌دهنده نکویی‌برازش ضعیف‌تر مدل اکسپونانشیال در مقایسه با مدل‌های مورد مطالعه بود (١٥).

نتایج مربوط به کارایی نسبی (RE) مدل‌ها نسبت به یکدیگر، در جدول ٦ ارائه شده است. آماره کارآیی نسبی بر اساس نسبت میانگین مربعات خطا در مدل j بر میانگین مربعات خطا در مدل i به‌دست آمد. به عبارت دیگر، اگر مقدار کارآیی نسبی به‌دست آمده از مقایسه دو مدل i و j، بزرگتر از ١ باشد ($\frac{MSE_j}{MSE_i} > 1$)، یعنی کارایی نسبی مدل j کمتر از مدل i است و بر این اساس مدل i نسبت به مدل j نکویی‌برازش بهتری دارد (١٥).

جدول ٦: کارآیی نسبی (RE) مدل ها نسبت به یکدیگر

Table 6. Relative efficiency (RE) of the models relative to each other

$Model_i$	$Model_j$				
	EXP	EXPL	MIT	KOR	WEB
EXP	1.000	0.203	0.201	0.305	0.074
EXPL	4.930	1.000	0.990	1.505	0.363
MIT	4.978	1.010	1.000	1.519	0.366
KOR	3.276	0.665	0.658	1.000	0.241
WEB	13.589	1.757	1.730	4.148	1.000

مدل ها به ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز-اوکاردس و WEB: ویبول بودند.

Models were EXP: Exponential, EXPL: Exponential with lag time, MIT: Mitscherling, KOR: Korkmaz-Uckardes and WEB: Weibull.

با توجه به جدول فوق، مقدار کارآیی نسبی مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول نسبت به مدل اکسپونانشیال به‌ترتیب ٤/٩٣٠، ٤/٩٧٨، ٣/٢٧٦ و ١٣/٥٨٩ بود که نشان داد در بین مدل‌های فوق، مدل ویبول بالاترین کارآیی نسبی را داشت (نکویی‌برازش آن $\frac{35.74}{2.63} = 13.589$ برابر بهتر از مدل اکسپونانشیال بود). همچنین، مطابق جدول فوق مقدار کارآیی نسبی مدل اکسپونانشیال نسبت به مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول به‌ترتیب ٠/٢٠٣، ٠/٢٠١، ٠/٣٠٥ و ٠/٠٧٤ بود (کوچک‌تر از ١)، که نشان داد مدل اکسپونانشیال در مقایسه با سایر مدل‌ها، کمترین نکویی‌برازش را داشته است. اما کارایی نسبی مدل ویبول نسبت به مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس به‌ترتیب ١٣/٥٨٩، ١/٧٥٧، ١/٧٣٠ و ٤/١٤٨ بود (بزرگ‌تر از ١) که نشان داد مدل ویبول در مقایسه با سایر مدل‌ها، بالاترین نکویی‌برازش را داشته است. به عبارت دیگر، مدل اکسپونانشیال در مقایسه با سایر مدل‌ها کینتیک تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های مورد آزمایش را با دقت کمتر و مدل ویبول با دقت بیشتری پیش‌بینی کرده است. در یک تحقیق در خصوص بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت با استفاده از مدل‌های ویبول،

www.SID.ir

Archive of SID

ریچارد، میچرلینگ و اکسپونانشیال مشخص شد که مقدار کارآیی نسبی مدل ویبول ۲/٦۸ برابر بهتر از مدل اکسپونانشیال بوده است. همچنین، نکویی‌برازش مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر و میچرلینگ نیز در مقایسه با مدل اکسپونانشیال بهتر بود و در بین تمامی مدل‌ها، مدل ویبول بهترین نکویی‌برازش را در این خصوص داشت (۲۳). همچنین، در یک تحقیق دیگر که بر روی یک جیره حاوی یونجه و سطوح مختلف دانه ذرت و گلیسرول انجام گرفته بود، مقدار کارآیی نسبی مدل اکسپونانشیال بسیار کمتر از مدل‌های مورد مطالعه بود (۱۵).

نتایج مربوط به آزمون آکائیک در جدول ۷ آمده است. بر اساس جدول فوق، در بین مدل‌های مورد مطالعه، مدل اکسپونانشیال بیشترین (٥٦/۱۸) و مدل ویبول کمترین (۲۳/۲۹) مقدار معیار اطلاعات آکائیک (AIC) را داشتند و این نشان داد که مدل‌های اکسپونانشیال و ویبول به ترتیب کمترین و بیشترین نکویی‌برازش را در بین مدل‌های مورد مطالعه داشتند.

جدول ۷: نتایج مربوط به آزمون آکائیک بعد از برازش مدل ها

Table 7. Results related to Akaike test after fitting the models.

وزن آکائیک	دلتا آکائیک	معیار اطلاعات آکائیک	مجموع مربعات باقیمانده	تعداد فراسنجه‌ها	مدل‌ها
W	AICΔ	AIC	RSS	Number of parameters	Model
1×10^{-7}	32.89	56.18	465.44	2	EXP
3.6×10^{-3}	11.26	34.55	87.58	3	EXPL
5.4×10^{-3}	10.43	33.72	87.07	3	MIT
2×10^{-4}	17.59	40.88	132.54	3	KOR
0.9944	0.00	23.29	31.57	3	WEB

مدل ها به ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز-اوکاردس و WEB: ویبول بودند.
RSS: مجموع مربعات باقیمانده، AIC: معیار اطلاعات آکائیک، ΔAIC: تفاوت بین مدل با کمترین مقدار AIC با سایر مدل‌ها و W: وزن آکائیک

Models were EXP: Exponential, EXPL: Exponential with lag time, MIT: Mitscherling, KOR: Korkmaz-Uckardes and WEB: Weibull.
RSS=Residual Sum of Squares, AIC=Akaike's Information Criterion, ΔAIC = the difference between model with the lowest AIC and the other models, W= Akaike weight.

لازم به ذکر است که آماره معیار اطلاعات آکائیک نشان دهنده کیفیت نسبی یک مدل در مقایسه با سایر مدل‌هاست و مدل با کمترین مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک (با داشتن بهترین نکویی‌برازش) به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود (۱۸ و ۲۱). مشابه نتایج ما، در یک تحقیق که به‌منظور بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت انجام گرفت، مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک در مدل‌های اکسپونانشیال و ویبول به‌ترتیب ۱۸/٦۸٦ و ۱٥/٥۳ بود که نشان داد نکویی‌برازش مدل ویبول بهتر از مدل اکسپونانشیال بود (۲۳). همچنین، در مطالعه‌ای که بر روی تعداد ۲۳ منحنی تولید گاز در مواد خوراکی مختلف صورت گرفت، مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک در مدل اکسپونانشیال بیشتر از سایر مدل‌ها بود (۲۱). دو فراسنجه مرتبط با آزمون آکائیک که در مقایسه بین مدل‌ها استفاده می‌شود، مقدار دلتا آکائیک (ΔAIC) و وزن آکائیک (W) می‌باشند. مطابق جدول ۷، مقدار دلتا آکائیک در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس به‌ترتیب ۳۲/۸۹، ۱۱/۲٦، ۱۰/٤۳ و ۱۷/٥۹ بود. مقدار دلتا آکائیک از تفاوت بین معیار اطلاعات آکائیک مدل i با مدلی که کمترین معیار اطلاعات آکائیک را در بین همه مدل‌ها دارا باشد (در اینجا، مدل AICWEB=23.29)، به‌دست می‌آید

www.SID.ir

Archive of SID

($\Delta AIC=AICi-AICMin$). مطابق یک قاعده کلی، اگر $\Delta AIC< ۲$ باشد، کیفیت نسبی مدل i قابل قبول است. اگر بین $۲ < \Delta AIC< ۱۰$ باشد، کیفیت نسبی مدل i نسبتاً ضعیف و اگر $\Delta AIC > ۱۰$ باشد، کیفیت نسبی مدل i غیر قابل قبول می‌باشد. به عبارت دیگر، هیچکدام از مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز–اوکاردس در مقایسه با مدل ویبول (به‌عنوان بهترین مدل) از کیفیت قابل قبول در نکویی‌برازش داده‌ها برخوردار نبودند. مطابق جدول شماره ۷، مقدار وزن آکائیک ($w = \frac{\Delta AIC}{\sum \Delta AIC}$) در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز–اوکاردس و ویبول به‌ترتیب $۱۰^{-۷}$، $۳/٦\times۱۰^{-۳}$، $۵/٤\times۱۰^{-۳}$، ۲×۱۰^{-٤} و ۰/۹۹٤٤ به‌دست آمد. به عبارت دیگر، مدل ویبول در بین مدل‌های مورد بررسی با احتمال ۹۹/٤٤ درصد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. همچنین، شانس مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز–اوکاردس به‌عنوان بهترین مدل نیز به‌ترتیب $۱۰^{-۵}$، ۰/۳٦، ۰/۵٤ و ۰/۰۲ درصد بود. مشابه نتایج ما، در مطالعه‌ای که بر روی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت در آزمون تولید گاز و با استفاده از مدل‌های اکسپونانشیال، ویبول و میچرلینگ انجام گرفت، مقدار دلتا آکائیک در مدل‌های فوق به‌ترتیب ٤/٤٦۵، ۱/۲۸۱ و ٤/۲۳۹ گزارش شد که نشان داد کیفیت نسبی مدل ویبول قابل قبول بود. و شانس این مدل در انتخاب شدن به‌عنوان بهترین مدل نیز ۳۰ درصد بود (۲۳).

نتایج مربوط به آزمون دوربین– واتسون (DW) در جدول ۸ ارائه شده است. لازم به ذکر است که به صورت یک قاعده کلی، مقدار آماره دوربین–واتسون در دامنه ۰ تا ٤ قرار دارد و هر چقدر مقدار آماره دوربین–واتسون به عدد ۲ (مرکز دامنه دوربین–واتسون) نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده وجود پراکندگی مستقل در مقادیر باقیمانده (خطاها) بوده و لذا مدل مورد نظر دارای دقت بیشتری در برازش داده‌هاست. اما اگر مقدار آماره دوربین–واتسون به اعداد صفر و یا ٤ (مرز دامنه دوربین–واتسون) نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهند وجود نوعی خود همبستگی بین مقادیر باقیمانده (خطاها) و ضعف مدل در برازش داده‌هاست (۲۲). مطابق جدول شماره ۸، مقدار آماره دوربین–واتسون در مدل ویبول، ۱/٦۵۳ (نزدیک به مرکز دامنه) و در مدل اکسپونانشیال، ۰/۲٦۰ (در مرز دامنه) بود که نشان داد مدل‌های ویبول و اکسپونانشیال به‌ترتیب بیشترین و کمترین دقت را از نظر نکویی‌برازش داده‌ها (پیش‌بینی تولید گاز) داشتند. مطابق جدول شماره ۸ ، در بین تمامی منحنی‌های تولید گاز بررسی شده در این مطالعه و در مدل‌های مختلف، آماره دوربین–واتسون در مدل اکسپونانشیال در مقایسه با سایر مدل‌ها در تعداد منحنی بیشتری (٤۵ منحنی) معنی‌دار شد (ضعف مدل اکسپونانشیال در برازش داده‌ها، به دلیل عدم وجود پراکندگی مستقل در بین مقادیر باقیمانده در مدل). اما در مدل ویبول در هیچکدام از ٤۵ منحنی تولید گاز بررسی شده، آماره دوربین–واتسون معنی‌دار نشد (دقت بالاتر مدل ویبول در برازش داده‌ها). سایر مدل‌های مورد مطالعه (اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز–اوکاردس) شرایط متفاوت‌تری داشتند. در این مدل‌ها در تعدادی از منحنی‌های تولید گاز، آماره دوربین–واتسون معنی‌دار و در تعداد دیگر غیر معنی‌دار شد که برآیند کلی آنها نشان‌دهنده دقت بهتر این مدل‌ها در مقایسه با مدل اکسپونانشیال و دقت کمتر اینها در مقایسه با مدل ویبول بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: نتایج آزمون دوربین–واتسون در مورد خود همبستگی بین خطاها

Table 8. Durbin Watson (DW) test results for autocorrelation of the errors

WEB	KOR	MIT	EXPL	EXP	
1.653	0.955	1.187	1.187	0.260	آماره دوربین–واتسون DW value
0.916	0.635	0.681	0.681	0.192	کمترین مقدارآماره دوربین–واتسون Minimum of DW
2.823	1.544	2.673	2.673	0.415	بیشترین مقدار آماره دوربین–واتسون Maximum of DW
0	22	11	11	45	معنی‌دار significant
29	23	30	31	0	غیر معنی دار Non-significant
16	0	4	3	0	بی نتیجه inconclusive

توزیع منحنی های تولید گاز بر اساس معنی دار بودن و یا معنی دار نبودن آماره دوربین–واتسون (تعداد کل منحنی=٤٥)

مدل ها به ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز–اوکاردس و WEB: ویبول بودند.

Distribution of the gas test curves according to the significant (P<0.05) and non-significant (P>0.05) DW values (total curve=45)

Models were EXP: Exponential, EXPL: Exponential with lag time, MIT: Mitscherling, KOR: Korkmaz-Uckardes and WEB: Weibull.

به‌عبارت دیگر، با وجود اینکه بین مقادیر باقیمانده (خطاها) در این مدل‌ها (اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز–اوکاردس) نوعی خود همبستگی مشاهده شد، اما این مدل‌ها قابلیت نسبتاً خوبی در برازش داده‌ها در مقایسه با مدل اکسپونانشیال داشتند. گزارش شده است که وجود خود همبستگی بین مقادیر باقیمانده در یک مدل، به تنهایی نمی‌تواند ملاک ارزشیابی یک مدل از نظر نکویی‌برازش آن قرار گیرد و نیاز است تا سایر شاخص‌های نکویی‌برازش از قبیل میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین نیز بررسی گردد (۲۱). مشابه نتایج ما در تحقیقی که بر روی علوفه یونجه (با بررسی تعداد ۱۲ منحنی تولید گاز) صورت گرفت، مقدار آماره دوربین–واتسون در مدل اکسپونانشیال، ۰/۱۷۰ گزارش شد (نزدیک به مرز دامنه دوربین–واتسون) و آماره دوربین–واتسون در همه منحنی‌های بررسی شده به وسیله این مدل معنی‌دار بود که نشان‌دهنده ضعف مدل اکسپونانشیال بود (۲۲). همچنین، در تحقیقی که بر روی ۲۳ منحنی تولید گاز در مواد علوفه‌ای مختلف انجام گرفت، آماره دوربین–واتسون در مدل اکسپونانشیال در ۲۲ منحنی و در مدل اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر در ۲۱ منحنی معنی‌دار بود که نشان‌دهنده ضعف این دو مدل در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی بود (۲۱).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشخص شد که مدل‌های مورد مطالعه در پیش‌بینی پتانسیل تولید گاز تفاوتی با هم نداشتند. اما بررسی فراسنجه‌های نکویی‌برازش مربوط به هر مدل نشان داد که در بین مدل‌های مورد مطالعه، مدل اکسپونانشیال کینتیک تولید گاز را با دقت کمتری پیش‌بینی کرد. در مقابل، مدل ویبول دارای بیشترین دقت بود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1.AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

2.Burnham, K. P. and Anderson, D. R. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edition. Springer-Verlag, New York.

3.Dhanoa, M. S., Lopez, S., Dijkstra, J., Davies, D. R., Sanderson, R., Williams, A. B., Zileshi, Z. and France, J. 2000. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: Comparison of models. British Journal of Nutrition. 83: 131–142.

4.Draper, N. R. and Smith, H. 1981. Applied regression analysis. Wiley, New York, USA.

5.France, J., Dijkstra, J., Dhanoa, M. S., Lopez, S. and Bannink, A. 2000. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: Derivation of models and other mathematical considerations. British Journal of Nutrition. 83: 143–150.

6.Huhtanen, P., Seppälä, A., Ahvenjärvi, S. and Rinne, M. 2008. Prediction of *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and digestion rate of potentially digestible neutral detergent fiber: comparison of models. Journal of Animal Science. 86: 2657–2669.

7.Korkmaz, M. and Uckades, F. 2014. An alternative robust model for *in situ* degradation studies "Korkmaz-Uckardes". Iranian Journal of Applied Animal Science. 4(1): 45-51.

8.Korkmaz, M., Uckardes, F. and Kaygisiz, A. 2011. Comparision of wood, gaines, parabolic, hayashi, dhanno and polynomial models for lactation season curve of Simmental cows. Journal of Animal and Plant Sciences. 3: 448-458.

9.Lei, Y. G., Li, X. Y., Wang, Y. Y., Li, Z. Z., Chen, Y. L. and Yang, Y. X. 2018. Determination of ruminal dry matter and crude protein degradability and degradation kinetics of several concentrate feed ingredients in Cashmere goat. Journal of Applied Animal Research. 46(1): 134-140.

10.McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. and Morgan, C. A. 1995. Animal nutrition. Longman Scientific and Technical, New York. USA. 607Pp.

11.Menke, K. H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development. 28: 7-55.

12.Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. The Journal of Agricultural Science. (Cambridge). 93: 217-222.

14.NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

15.Peripolli, V., Prates, E. R., Barcellos, J. O. J., McManus, C. M., Wilbert, C. A., Braccini, J., Camargo, C. M. and Lopes , R. B. 2014. Models for gas production adjustment in ruminant diets containing crude glycerol. Livestock Research for Rural Development 26: 2.

16.Sahin M., Uckardes F., Canbolat, O., Kamalak, A. and Atalay, A.I. 2011. Estimation of partial gas production times of some feedstuffs used in ruminant nutrition. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi Journal. 17: 731-734.

17.SAS. 1999. The SAS system for windows. Release 8.0.1. SAS Institute Inc, Cary, USA.

18.Uckardes, F. and Efe, E. 2014. Investigation on the usability of some mathematical models in *in vitro* gas production techniques. Slovak Journal of Animal Science. 47 (3): 172-179.

19.Uckardes, F., Korkmaz, M. and Ocal P. 2013. Comparison of models and estimation of missing parameters of some mathematical models related to in

www.SID.ir

Archive of SID

situ dry matter degradation. Journal of Animal and Plant Sciences. 23: 999-1007.

20. Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74: 3583–3597.
21. Wang, M., Tang, S.X., and Tan, Z.L. 2011. Modeling *in vitro* gas production kinetics: Derivation of Logistic-Exponential (LE) equations and comparison of models. Journal of Animal Feed Science and Technology. 165: 137-150.
22. Zaboli, Kh. 2016. Comparison of fitting of some mathematical models to describe the ruminal fermentation kinetics according to gas production technique for alfalfa hay. Animal Production Research. 5(3): 35-47. (In Persian).
23. Zaboli, Kh., and Maleki, M. 2016. Prediction of ruminal fermentation kinetic of corn silage using some models by *in vitro* method. Journal of Ruminant Research. 4(3): 117-134. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Ruminant Research, Vol. 7(4), 2019
http://ejrr.gau.ac.ir

Application of some nonlinear models for prediction of gas production kinetic in different rations of sheep in term of the accuracy of these models

S. Moradi[1] and *Kh. Zaboli[2]
[1]M.Sc. graduated and [2]Assistant Prof., Dept. of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
Received: 10/24/2019; Accepted: 12/11/2019

Abstract

Background and objectives: The *in vitro* gas production test (IVGP) is used for evaluating the nutritional value of feedstuffs in animal nutrition. In IVGP, the volume of gas produced during incubation time is fitted by using a nonlinear model and some parameters related to ruminal fermentation kinetic are predicted. Over the past years, animal nutrition researchers have proposed a variety nonlinear models for this purpose. However, it has been reported that each of these models have predicted ruminal fermentation parameters with different accuracy and presented contradictory results. The purpose of this experiment was to compare the accuracy of some nonlinear models for predicting of gas production kinetics in different diets.

Materials and methods: For this experiment, five diets with different forage to concentrate ratio (70:30, 60:40, 50:50, 40:60 and 30:70) were prepared. Feedstuffs which used for preparing of these diets included alfalfa hay, wheat straw, barley grain, wheat bran and soybean meal. For investigating the ruminal fermentation kinetic of the experimental diets, the IVGP was used in three separate runs. For each run, rumen fluid was obtained from three fistulated Mehraban rams before the morning feeding. Then, 200 mg of each dried experimental diets with 30 ml of buffered rumen fluid were transferred into each glass vial (in three replications) and all vials were capped. The prepared vials (three vials were considered as the blanks) were incubated at 39 °C and the volume of gas produced were recorded at 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36, 48, 72, 96, 120, 144 hours after incubation. The results (the volume of gas produced at different incubation times) were fitted for exponential (EXP), exponential with lag time (EXPL), Mitscherling (MIT), Korkmaz-Uckardes (KOR) and Weibull (WEB) models. The models goodness of fit were performed using mean square error (MSE), coefficient of determination (R^2), residual mean absolute deviation (RMAD), mean percentage error (MPE) and relative efficiency (RE). Durbin-Watson (DW) test and Akaike's information criterions (AIC) were used for selection of the best model.

Results: Results showed that the models had no significant difference in term of asymptotic gas volume (A). The EXP model had the highest MSE (35.74), RMAD (4.67), MPE (4.46) and lowest R^2 (0.970), ($P < 0.05$). The lowest MSE (2.63) and RMAD (1.13) were observed in the WEB model ($P < 0.05$). The RE of the WEB model was higher than the other models. The highest (56.18) and lowest (23.29) AIC values were observed in the EXP and WEB models, respectively. The DW value in the EXP, EXPL, MIT, KOR and WEB models were 0.260, 1.187, 1.187, 0.955 and 1.653, respectively.

Conclusion: Generally, results showed that the EXP model predicted gas production kinetic of the tested diets less accurately and the WEB model had the highest accuracy.

***Keywords*:** Akaike, Gas production kinetic, Goodness of fit, Nonlinear models, Relative efficiency.

*Corresponding author; zaboli@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir