



دانشگاه شیراز

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

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، ^۲استادیار 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 برآزش 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 ارائه 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 (۳۰:۷۰، ۴۰:۶۰، ۵۰:۵۰، ۶۰:۴۰ و ۷۰:۳۰) 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. مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک از هر کدام از جیره‌های 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 به دست آمده (حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف انکوباسیون) با استفاده از مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول برآزش شدند. نکویی برآزش مدل‌ها با استفاده از آماره‌های میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقیمانده، میانگین درصد خطا و کارایی نسبی انجام شد. از آزمون‌های دوربین-واتسون و معیار اطلاعات آکائیک نیز به منظور 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 (۴/۶۶) و کمترین مقدار ضریب تبیین (۰/۹۷۰) بود ($P < 0/05$). کمترین مقدار میانگین مربعات خطا (۲/۶۳) و انحراف مطلق میانگین باقیمانده

(۱/۱۳) نیز در مدل ویبول مشاهده شد ($P < 0.05$). کارآیی نسبی مدل ویبول نسبت به سایر مدل‌ها بالاتر بود. بیشترین (۵۶/۱۸) و کمترین (۲۳/۲۹) مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک به ترتیب در مدل‌های اکسپونانشیال و ویبول مشاهده شد. مقدار آماره دوربین-واتسون در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول به ترتیب ۰/۲۶۰، ۱/۱۸۷، ۱/۱۸۷، ۰/۹۵۵ و ۱/۶۵۳ بود.

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

واژه‌های کلیدی: آکائیک، کارآیی نسبی، کیتیک 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 روش‌های 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 کیتیک 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 کیتیک 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^۱ بود که توسط منک و همکاران (۱۹۷۹) بکار گرفته شد (۱۲). گزارش شده است که مدل

اکسپونانشیال در بیشتر موارد در پیش‌بینی کیتیک 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 کیتیک تولید گاز توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است (۱۶). بعنوان مثال می‌توان به مدل-های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر^۲، کورکمز-اوکاردس^۳، میچرلینگ^۴ و ویبول^۵ 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

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

1. Exponential

پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی) بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شدند (۱ و ۲۰). آزمون تولید گاز با استفاده از ویال‌های شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری در ۳ دوره ۶^۷ روزه و به‌طور جداگانه انجام شد (۱۱). در هر دوره، مایع شکمبه مورد نیاز، قبل از خوراک‌دهی صبحگاهی از سه راس گوسفند نر نژاد مهربان ۵-۴ ساله (با میانگین وزن ۶۰ کیلوگرم) مجهز به فیستولای شکمبه‌ای گرفته شد. این گوسفندان به‌طور روزانه در دو وعده غذایی صبح و عصر با استفاده از علوفه یونجه و کنساتره (حاوی مواد خوراکی مورد آزمایش) و مطابق پیشنهاد NRC (۲۰۰۷) تغذیه می‌شدند. این حیوانات از ۱۰ 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 ۱ به ۲ با محلول بافر و در مجاورت گاز دی‌اکسید کربن مخلوط گردید. مقدار ۳۰ میلی‌لیتر از مایع شکمبه بافری شده به داخل هر یک از ویال‌های شیشه‌ای که حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک نمونه (در ۳ تکرار) بودند، ریخته شده و درب ویال‌ها با درپوش آلومینیومی پرس شد.

ابتدا برای توصیف توابع رشد استفاده شده بود، بعدها جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه مورد استفاده قرار گرفت (۶). 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 (۱۵). از جمله این آماره‌ها می‌توان میانگین مربعات خطا^۱، ضریب تبیین^۲، انحراف مطلق میانگین باقی مانده^۳، میانگین درصد خطا^۴ و نیز آزمون‌های دوربین-واتسون^۵ و معیار اطلاعات آکائیک^۶ را نام برد. با توجه به موارد فوق هدف از پژوهش حاضر بررسی دقت برخی از مدل‌های 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 ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ 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 ۵ جیره با نسبت‌های علوفه به کنسانتره (۷۰:۳۰، ۶۰:۴۰، ۵۰:۵۰، ۴۰:۶۰ و ۳۰:۷۰) در نظر گرفته شدند (جدول ۱).

ابتدا درصد ماده خشک مواد خوراکی تعیین شد و سپس این مواد با استفاده از آسیاب رومیزی مجهز به الک ۲ میلی‌متری آسیاب شدند و در قالب جیره‌های فوق مورد استفاده قرار گرفتند. درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی اقلام خوراکی (درصد ماده آلی،

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

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	سیوس 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 (۱۴).

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

پس از انکوباسیون ثبت گردید (مراحل فوق در ۳ دوره ۱۴۴ 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).

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، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴ ساعت

جدول ۲: توصیف مدل‌های 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 (۲/۷۱۸۲۱۸۲۸۸۴...)؛
y: volume of gas at time t, A: asymptotic gas volume, c: rate parameter and EXP: Napier's constant (2.718218284...)

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،

داده‌های به دست آمده (حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف انکوباسیون) با استفاده از رویه رگرسیون غیرخطی^۱ در نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) به

1. Nonlinear regression

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.

ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقی مانده و میانگین درصد خطا به دست آمده از هر مدل استفاده شد (۱۵) همچنین برای بررسی دقت مدل‌ها در برآزش داده‌ها از آزمون‌های کارایی نسبی (۱۵)، دوربین-واتسون (۴) 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 برآزش مدل‌ها (میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، انحراف مطلق میانگین باقی مانده و میانگین درصد خطا) با استفاده از رویه GLM برنامه SAS (۱۹۹۹، نسخه ۸) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و مقایسه

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 %)

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

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

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 به ترتیب ۸۹/۲۵، ۹۳/۳۸، ۶۶/۰۹، ۱۱/۶۹ و ۷/۵۰ درصد و در سبوس گندم نیز به ترتیب ۸۹/۷۶، ۹۴/۰۹، ۱۸/۷۵، ۴۰/۲۸ و ۱۰/۵۶ درصد گزارش شد (۹). به طور کلی، ارزش غذایی مواد خوراکی به عوامل بسیار زیادی

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 به ترتیب ۹۶/۹، ۱۵/۶، ۴۴/۱ و ۳۳/۱ درصد، در کاه گندم ۹۳/۵، ۳۳/۰، ۷۹/۵ و ۵۴/۳ 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 (۱۶). نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی کنجاله سویا و سبوس گندم

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 ۰/۶۰۳ در مدل ویبول تا ۱۴۵/۱۷۰ 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 (۶).

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 ۴ 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 ۱۲۴/۶۴ (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

جدول ۴: مقایسه فراسنجه‌های کینتیک تخمیر شکمبه‌ای برآورد شده بوسیله مدل‌های مورد مطالعه

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

مقدار P P-value	مدل‌ها					فراسنجه‌ها Parameters
	WEB	KOR	MIT	EXPL	EXP	
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 به ترتیب EXP: اکسپونانشیال، EXPL: اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، MIT: میچرلینگ، KOR: کورکمز-اوکاردس و WEB: ویبول بودند. A: پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر بر ۲۰۰ میلی‌گرم 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 معنی‌دار 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.

مدل اکسپونانشیال بیشترین (۰/۰۶۹ میلی‌لیتر بر ساعت) و در مدل ویبول کمترین (۰/۰۳۶ میلی‌لیتر بر ساعت) مقدار بود (P<۰/۰۵). 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

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 ۴ مشاهده می‌شود، مقدار سرعت تولید گاز در مدل‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معنی‌داری بودند و مقدار آن در

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 ($P < 0.05$). مقدار ضریب تبیین (R^2) نیز در مدل اکسپونانشیال کمترین و در مدل ویبول بیشترین مقدار بود ($P < 0.05$) 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).

فراسنجه در مدل‌های مختلف قابل انجام نبود. مشابه نتایج ما، در یک تحقیق که بر روی کیتیک تخمیر شکمبه‌ای علوفه یونجه به روش آزمون تولید گاز انجام شد، مقدار فراسنجه پتانسیل تولید گاز در طول ۱۴۴ ساعت انکوباسیون و در مدل‌های اکسپونانشیال، ویبول، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. اما مقدار سرعت تولید گاز در مدل اکسپونانشیال (0.105 میلی‌لیتر بر ساعت) به طور معنی‌داری بیشتر از مدل ویبول (0.064 میلی‌لیتر بر ساعت) بود (۲۲). همچنین، مطالعه دیگری که بر روی سیلاژ ذرت در طول ۹۶ ساعت انکوباسیون صورت گرفت، مقدار پتانسیل تولید گاز در مدل‌های اکسپونانشیال، میچرلینگ و ویبول تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (۲۳). مقدار فراسنجه‌های کیتیک 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

جدول ۵: مقایسه مدل‌ها بر اساس فراسنجه‌های نکویی برازش آنها

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

مقدار P P-value	مدل‌ها					فراسنجه‌ها Parameters
	WEB	KOR	MIT	EXPL	EXP	
<.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

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

MSE: میانگین مربعات خطا، R²: ضریب تبیین، RMAD: انحراف مطلق میانگین باقیمانده و MPE: میانگین درصد خطا

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ردیف دارای تفاوت معنی‌دار 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, R²: 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.

یک مدل به ترتیب 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

بر اساس نظر محققین، مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در مدل‌های توصیف‌کننده 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

نشان‌دهنده توانایی بهتر آن مدل در برازش داده‌ها و دقت آن است (۱۵). همچنین مقدار میانگین درصد خطا (MPE) در مدل اکسپونانشیال (با مقدار ۴/۴۶) 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 ($P < 0/05$).

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 ($-0/27$) 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 کیتیک تخمیر شکمبه‌ای علوفه یونجه انجام و از آماره‌های انحراف مطلق میانگین باقیمانده و میانگین درصد خطا به‌عنوان ابزار نکویی‌برازش استفاده شده بود، مقدار انحراف مطلق میانگین باقیمانده در مدل اکسپونانشیال (۲/۲۶۲) بالاترین و در مدل ویبول (۱/۰۰۴) 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 ۲/۷۸۶، ۱/۳۹۴، -۱/۲۷۹ و -۱/۷۴۵- گزارش و بیان

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 کیتیک تولید گاز داشت. مشابه نتایج ما، در بررسی کیتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت مشخص شد که مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین در مدل اکسپونانشیال در مقایسه با مدل‌های 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 ۱۵/۸۵۴ 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، ۳/۴۶ و ۳/۳۴ بود (۶). 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 ($P < 0/05$). 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)،

نتایج مربوط به کارایی نسبی (RE) مدل‌ها نسبت به یکدیگر، در جدول ۶ ارائه شده است. آماره کارایی نسبی بر اساس نسبت میانگین مربعات خطا در مدل j بر میانگین مربعات خطا در مدل i به دست آمد. به عبارت دیگر، اگر مقدار کارایی نسبی به دست آمده از مقایسه دو مدل i و j ، بزرگتر از ۱ 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 (۱۵).

شد که مدل اکسپونانشیال کمترین دقت را در بین مدل‌های مطالعه شده داشت (۲۲). در مطالعه دیگری هم که به منظور بررسی کینتیک تولید گاز در جیره‌های غذایی حاوی ۶۰ درصد یونجه با سطوح مختلف دانه ذرت و گلیسرول انجام گرفت، مقدار آماره‌های انحراف مطلق میانگین باقیمانده و میانگین درصد خطا در مدل اکسپونانشیال به ترتیب $4/03$ و $15/4$ گزارش شد که به طور معنی‌داری بیشتر از مدل‌های دیگر (مدل‌های فرانس، گومپرتز و لجستیک) بود و نشان‌دهنده نکویی‌برازش ضعیف‌تر مدل اکسپونانشیال در مقایسه با مدل‌های مورد مطالعه بود (۱۵).

جدول ۶: کارایی نسبی (RE) مدل‌ها نسبت به یکدیگر

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

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

مدل‌ها 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.

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 به ترتیب $13/589$ ، $1/757$ ، $1/730$ و $4/148$ بود (بزرگ‌تر از ۱) 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،

با توجه به جدول فوق، مقدار کارایی نسبی مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول نسبت به مدل اکسپونانشیال به ترتیب $4/930$ ، $4/978$ ، $4/978$ و $3/276$ بود که نشان داد در بین مدل‌های فوق، مدل ویبول بالاترین کارایی نسبی را داشت (نکویی‌برازش آن $\frac{35.74}{2.63} = 13.589$ برابر بهتر از مدل اکسپونانشیال بود). همچنین، مطابق جدول فوق مقدار کارایی نسبی مدل اکسپونانشیال نسبت به مدل‌های اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول به ترتیب $0/201$ ، $0/305$ و $0/074$ بود (کوچک‌تر از ۱)، که نشان داد مدل اکسپونانشیال در

کارایی 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 (۵۶/۱۸) 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.

ریچارد، میچرلینگ و اکسپونانشیال مشخص شد که مقدار کارایی نسبی مدل ویبول ۲/۶۸ 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

جدول ۷: نتایج مربوط به آزمون آکائیک بعد از برازش مدل‌ها

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

وزن آکائیک	دلته آکائیک	معیار اطلاعات آکائیک	مجموع مربعات باقیمانده	تعداد فراسنجه‌ها	مدل‌ها
W	AIC Δ	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

مدل‌ها 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، Δ AIC: 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, Δ AIC = the difference between model with the lowest AIC and the other models, W= Akaike weight.

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 دلته آکائیک (Δ AIC) و وزن آکائیک (W) می‌باشند. مطابق جدول ۷، مقدار دلته آکائیک در مدل‌های اکسپونانشیال، اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس به ترتیب ۳۲/۸۹، ۱۱/۲۶، ۱۰/۴۳ و ۱۷/۵۹ بود. مقدار دلته 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 $AIC_{WEB}=23.29$)، به دست می‌آید

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) به عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود (۱۸ و ۲۱). مشابه نتایج ما، در یک تحقیق که به منظور بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت انجام گرفت، مقدار آماره معیار اطلاعات آکائیک در مدل‌های اکسپونانشیال و ویبول به ترتیب ۱۸/۶۸۶ و ۱۵/۵۳ 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

دوربین-واتسون به عدد ۲ (مرکز دامنه دوربین-واتسون) نزدیک تر باشد، نشان دهنده 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 ۴ (مرز دامنه دوربین-واتسون) نزدیک تر باشد، نشان دهند 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، $1/653$ (نزدیک به مرکز دامنه) و در مدل اکسپونانسیال، $0/260$ (در مرز دامنه) بود که نشان داد مدل‌های ویبول و اکسپونانسیال به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را از نظر نکویی برازش 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 اکسپونانسیال در مقایسه با سایر مدل‌ها در تعداد منحنی بیشتری (۴۵ منحنی) معنی دار شد (ضعف مدل اکسپونانسیال در برازش داده‌ها، به دلیل عدم وجود پراکندگی مستقل در بین مقادیر باقیمانده در مدل). اما در مدل ویبول در هیچکدام از ۴۵ منحنی تولید گاز بررسی شده، آماره دوربین-واتسون معنی دار نشد (دقت بالاتر مدل ویبول در برازش داده‌ها). سایر مدل‌های مورد مطالعه (اکسپونانسیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس) شرایط متفاوت تری داشتند. در این مدل‌ها در تعدادی از منحنی‌های تولید گاز، آماره دوربین-واتسون معنی دار و در تعداد دیگر غیر معنی دار شد که برآیند کلی آنها نشان دهنده دقت بهتر این مدل‌ها در مقایسه با مدل اکسپونانسیال و دقت کمتر اینها در مقایسه با مدل ویبول بود.

$(\Delta AIC = AIC_i - AIC_{Min})$. مطابق یک قاعده کلی، اگر $\Delta AIC < 2$ باشد، کیفیت نسبی مدل i قابل قبول است. اگر بین $2 < \Delta AIC < 10$ باشد، کیفیت نسبی مدل i نسبتاً ضعیف و اگر $\Delta AIC > 10$ باشد، کیفیت نسبی مدل i غیر قابل قبول می‌باشد. به عبارت دیگر، هیچکدام از مدل‌های اکسپونانسیال، اکسپونانسیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس در مقایسه با مدل ویبول (به عنوان بهترین مدل) از کیفیت قابل قبول در نکویی برازش داده‌ها برخوردار نبودند. مطابق جدول شماره ۷، مقدار وزن آکائیک $(w = \frac{\Delta AIC}{\sum \Delta AIC})$ در مدل‌های اکسپونانسیال، اکسپونانسیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ، کورکمز-اوکاردس و ویبول به ترتیب 10^{-7} ، $3/6 \times 10^{-3}$ ، $5/4 \times 10^{-3}$ و 2×10^{-4} به دست آمد. به عبارت دیگر، مدل ویبول در بین مدل‌های مورد بررسی با احتمال $99/44$ درصد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. همچنین، شانس مدل‌های اکسپونانسیال، اکسپونانسیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس به عنوان بهترین مدل نیز به ترتیب 10^{-5} ، $0/36$ ، $0/54$ و $0/02$ درصد بود. مشابه نتایج ما، در مطالعه‌ای که بر روی کیتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت در آزمون تولید گاز و با استفاده از مدل‌های اکسپونانسیال، ویبول و میچرلینگ انجام گرفت، مقدار دلتا آکائیک در مدل‌های فوق به ترتیب $4/65$ ، $1/281$ و $4/239$ گزارش شد که نشان داد کیفیت نسبی مدل ویبول قابل قبول بود. و شانس این مدل در انتخاب شدن به عنوان بهترین مدل نیز 30 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 ۴ قرار دارد و هر چقدر مقدار آماره

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 مقدار آماره 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	معنی دار 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=۴۵)

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.

نشان دهنده ضعف مدل اکسپونانشیال بود (۲۲). همچنین، در تحقیقی که بر روی ۲۳ منحنی تولید گاز در مواد علوفه ای مختلف انجام گرفت، آماره دوربین-واتسون در مدل اکسپونانشیال در ۲۲ منحنی و در مدل اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر در ۲۱ منحنی معنی دار بود که نشان دهنده ضعف این دو مدل در مقایسه با سایر مدل های مورد بررسی بود (۲۱).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که مدل های مورد مطالعه در پیش بینی پتانسیل تولید گاز تفاوتی با هم نداشتند. اما بررسی فراسنجه های نکویی برآزش مربوط به هر مدل نشان داد که در بین مدل های مورد مطالعه، مدل اکسپونانشیال کیتیک تولید گاز را با دقت کمتری پیش بینی کرد. در مقابل، مدل ویبول دارای بیشترین دقت بود.

به عبارت دیگر، با وجود اینکه بین مقادیر باقیمانده (خطاها) در این مدل ها (اکسپونانشیال همراه با فاز تأخیر، میچرلینگ و کورکمز-اوکاردس) نوعی خود همبستگی مشاهده شد، اما این مدل ها قابلیت نسبتاً خوبی در برآزش داده ها در مقایسه با مدل اکسپونانشیال داشتند. گزارش شده است که وجود خود همبستگی بین مقادیر باقیمانده در یک مدل، به تنهایی نمی تواند ملاک ارزشیابی یک مدل از نظر نکویی برآزش آن قرار گیرد و نیاز است تا سایر شاخص های نکویی برآزش 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 مزر دامنه دوربین-واتسون) و آماره دوربین-واتسون در همه منحنی های بررسی شده به وسیله این مدل معنی دار بود که

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-Uckades”. Iranian Journal of Applied Animal Science. 4(1): 45-51.
8. Korkmaz, M., Uckades, F. and Kaygisiz, A. 2011. Comparison 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

- 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).



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. Moradi¹ and *Kh. Zaboli²

¹M.Sc. graduated and ²Assistant 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

