نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://ejrr.gau.ac.ir

پیش بینی کینتیک تخمیر شکمبه ای سیلاژ ذرت با استفاده از برخی مدل‌ها به روش برون‌تنی

خلیل زابلی و مصطفی ملکی*

استادیاران گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: تکنیک تولید گاز به روش برون‌تنی (GP) جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای خوراک استفاده می‌شود. با توجه به اینکه منحنی تولید گاز ساختار لگاریتمی دارد، لذا توصیف داده‌های حاصل از GP، از طریق برازش آنها با مدل‌های غیر خطی صورت می‌گیرد. برای این منظور انواع مدل‌های ریاضی را می‌توان به کار برد. شناخته شده‌ترین مدل به کار رفته در GP ، مدل نمایی (EXP) می‌باشد. اما گزارش شده است که برخی از مدل‌ها نسبت به مدل نمایی، نتایج GP را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کنند. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت با استفاده از برخی مدل‌های غیر خطی بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از ۴ مدل ریاضی شامل نمایی (EXP)، ویبول (WEB)، میچرلینگ (MIT) و ریچارد (RCH) جهت پیش‌بینی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای در سیلاژ ذرت استفاده شد. سیلاژ ذرت در روزهای صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ پس از سیلو کردن به عنوان نمونه خوراک استفاده شد. درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی (پروتئین خام، NDF، ADF و خاکستر خام) نمونه‌ها تعیین گردید. تکنیک تولید گاز توسط سرنگ‌های شیشه‌ای برای هر کدام از نمونه‌ها در ۴ تکرار انجام شد. مقدار ۲۰۰ میلی گرم خوراک خشک شده در آون با ۳۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه بافری شده به داخل هر یک از سرنگ‌های شیشه‌ای ریخته شده و در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شد. حجم گاز تولید شده در ساعات صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از انکوباسیون توسط مدل‌های آزمایشی برازش گردیدند. از آماره‌های میانگین مربعات خطا

*مسئول مکاتبه: khzaboli@gmail.com

(MSE)، ضریب تعیین (R^2) کارایی نسبی (RE)، آزمون LSD و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) به عنوان پارامترهای نکویی‌برازش و انتخاب بهترین مدل استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار MSE به طور معنی‌داری در مدل EXP بیشتر از سایر مدل‌ها بود (p<۰/۰۵). اما مقدار R^2 در مدل EXP به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر مدل‌ها بودند (p<۰/۰۵). بر اساس نتایج RE، مدل‌های WEB، MIT و RCH به‌ترتیب ۲/۶۸، ۲/۰۵ و ۲/۸۰ برابر بهتر از مدل EXP بودند. آزمون LSD نیز نشان داد که مقدار MSE در مدل RCH تفاوت معنی‌داری با سایر مدل‌ها داشت (p<۰/۰۵) و لذا نکویی‌برازش آن بهتر از مدل‌های دیگر بود. بر اساس نتایج آزمون آکائیک، مدل‌های EXP و RCH به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار AIC را در بین مدل‌ها داشتند. بر این اساس، مدل EXP ضعیف‌ترین و مدل RCH قوی‌ترین مدل در برازش داده‌ها بودند. همچنین، آماره W نشان داد که شانس مدل‌های EXP، WEB، MIT و RCH برای انتخاب شدن به عنوان بهترین مدل، به ترتیب ۶/۱، ۳۰، ۶/۸ و ۵۷ درصد بود. نتایج ER نیز نشان داد که مدل‌های WEB، MIT و RCH به ترتیب ۴/۹۱۳، ۱/۱۲۰ و ۹/۳۲۱ برابر بهتر از مدل EXP بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های WEB و RCH کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت را با دقت بیشتری برآورد کردند. لذا می‌توان پیشنهاد کرد که برای توصیف پروفیل تولید گاز در سیلاژ ذرت از مدل‌های WEB و RCH به جای مدل EXP استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نکویی‌برازش، تکنیک تولید گاز، سیلاژ ذرت، مدل‌های ریاضی

مقدمه

برآورد ارزش غذایی مواد خوراکی در نشخوارکنندگان اغلب بر اساس پیش‌بینی هضم خوراک در شکمبه استوار است و در حال حاضر، سیستم‌های متعددی برای این منظور توسعه یافته‌اند. یکی از این سیستم‌ها، تکنیک تولید گاز به روش *in vitro* است که به عنوان یک ابزار با ارزش برای توصیف قابلیت تخمیر مواد خوراکی در شکمبه مطرح می‌باشد (۲۷). در این روش، ثبت گاز تولید شده در فواصل زمانی پشت سر هم در یک دوره انکوباسیون سبب می‌شود که سرعت هضم خوراک در شکمبه قابل پیش‌بینی باشد. در سال‌های اخیر تکنیک تولید گاز توسعه زیادی پیدا کرده است و برای پیش‌بینی سرعت هضم خوراک، از معادلات ریاضی متعددی استفاده شده است. منحنی تولید گاز یک شکل لگاریتمی دارد لذا، توصیف داده‌های حاصل از آزمایش فوق از طریق برازش آنها با تعدادی از مدل‌های غیرخطی صورت می‌گیرد و این مدل‌ها بهترین ابزار برای پیش‌بینی کینتیک تخمیر در شکمبه هستند (۲۴). یکی از مدل‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شود، مدل نمایی[1] (EXP) می‌باشد که اولین بار توسط منک و همکاران (۱۹۷۹) به منظور تعیین خصوصیت هضم خوراک و کینتیک تخمیر شکمبه در تکنیک تولید گاز مورد استفاده قرار گرفت. مدل EXP ساختار غیر سیگموئیدی دارد و یکی از شناخته‌ترین مدل‌ها در پیش‌بینی کینتیک تخمیر شکمبه می‌باشد (۱۵). اما در بیشتر مواقع دقت کافی در این خصوص ندارد. زیرا فرآیند تخمیر شکمبه بر پایه فعالیت جمعیت میکروبی موجود در آن استوار است و از آنجا که روند رشد و فعالیت میکروبی در شکمبه به صورت سیگموئیدی است، لذا استفاده از یک مدل غیر سیگموئیدی برای تفسیر آن، سبب ایجاد مشکل در آنالیز داده‌ها و افزایش خطا (افزایش MSE) می‌گردد (۵). لذا، امروزه علاوه بر مدل‌های غیر سیگموئیدی، انواع مدل‌های با ساختار سیگموئیدی نیز برای برآورد بهتر نتایج آزمون تولید گاز به کار برده می‌شود و در این رابطه پژوهشگران زیادی انواع فرمول‌های متعدد را ارایه داده‌اند (۲۰). با این وجود، گزارش شده است که برخی از این مدل‌های جدید در بعضی مواقع نتایج قابل قبولی ارایه نمی‌دهند و فاقد قدرت پیش‌بینی صحیح هستند و در نتیجه در موقع استفاده از این مدل‌ها، کینتیک هضم خوراک با دقت متفاوتی پیش‌بینی می‌گردد و نتایج متناقضی بدست می‌آید (۲۳). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل ویبول[2]

1. Exponential
2. Weibull

(WEB)، میچرلینگ[1] (MIT)، و ریچارد[2] (RCH) اشاره نمود. مدل WEB در ابتدا جهت توصیف توابع رشد استفاده می‌شد. این مدل توسط هوهتانن و همکاران (۲۰۰۸) و اوکاردس و افه (۲۰۱۴) جهت بررسی کینتیک تخمیر شکمبه مورد استفاده قرار گرفت (۹ و ۲۲). مدل MIT نیز که در بیشتر مطالعات مربوط به رشد گیاه و تغذیه از آن استفاده می‌شد، جهت پیش بینی تولید گاز و تخمیر شکمبه مورد استفاده پژوهشگران زیادی از جمله فرانس و همکاران (۲۰۰۰) و اوکاردس (۲۰۱۳) قرار گرفت (۶ و ۲۳). مدل RCH نیز برای توصیف منحنی رشد استفاده می‌شد که توسط برخی از پژوهشگران از قبیل هوهتانن و همکاران (۲۰۰۸) و پیت و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی کینتیک تخمیر شکمبه مورد استفاده قرار گرفته است (۹ و ۱۸).

سیلاژ ذرت به‌عنوان یک خوراک علوفه‌ای در تغذیه نشخوارکنندگان به کار می‌رود. این ماده خوراکی نقش مهمی در جیره حیوانات شیری و پرواری دارد. ارزش غذایی سیلاژ ذرت در مرحله اول به گونه گیاه و مرحله رشد آن در زمان برداشت و سپس به تغییراتی که در طول زمان سیلو کردن اتفاق می افتد، وابسته است (۱۳). در تغذیه دام، بایست از سیلاژ ذرت حداکثر استفاده را به عمل آورد. زیرا این خوراک یکی از ارزان‌ترین و در عین حال با ارزش‌ترین خوراک‌ها برای این منظور است. آگاهی از کینتیک تخمیر شکمبه‌ای این خوراک بخصوص در زمان‌های مختلف پس از سیلو کردن، سبب می‌شود که استفاده بهینه‌ای از این خوراک داشته باشیم.

بر این اساس، در پژوهش حاضر سعی شد تا مقایسه‌ای بین مدل‌های اشاره شده از نظر قابلیت پیش‌بینی کینتیک تخمیر شکمبه به روش *in vitro* بر روی علوفه ذرت در زمان‌های مختلف پس از سیلو کردن صورت بگیرد و نکویی‌برازش این مدل‌ها از طریق برخی آزمون‌ها و آماره‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

ذرت علوفه‌ای چاپر شده در موقع برداشت از ۳ مزرعه کاشت ذرت تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها به نسبت مساوی با همدیگر مخلوط شده و در داخل لوله‌های پلی‌اتیلن به طول ۷۵ و قطر ۱۶ سانتی‌متر سیلو شدند. برای این منظور تعداد ۱۲ عدد لوله (برای ۳ زمان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز) در

1. Mitscherlich
2. Richardes

نظر گرفته شد. پس از سپری شدن هر یک از زمان فوق، تعداد ۴ لوله در آن زمان مورد نظر به طور تصادفی انتخاب و درب آنها باز شد. برای زمان صفر نیز از علوفه تازه و قبل از سیلو کردن (۴ تکرار) استفاده شد. نمونه علوفه و سیلاژها در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد و تحت جریان هوا به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و پس از تعیین درصد ماده خشک، برای آزمایشات بعدی نگهداری شدند. درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی نمونه ها (پروتئین خام، NDF، ADF و خاکستر خام) براساس روش‌های استاندارد تعیین شد (۲، ۲۵).

تکنیک تولید گاز با استفاده ز روش توصیف شده توسط منک و همکاران (۱۹۷۹) انجام شد (۱۵). در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه خوراک پس از توزین به داخل سرنگ‌های شیشه‌ای (۱۵۰ میلی‌لیتری) ریخته شد. مایع شکمبه از ۳ رأس گوسفند نر مهربان مجهز به فیستولای شکمبه‌ای دو ساعت بعد از تغذیه صبحگاهی به‌دست آمد (۱۷). این گوسفندان مطابق پیشنهاد NRC (۲۰۰۷) از خوراک بر پایه علوفه (یونجه و سیلاژ ذرت) تغذیه می‌شدند و روزانه ۲۵۰ گرم کنسانتره و ۱۰ گرم مکمل معدنی و ویتامینی دریافت می‌کردند (۱۶). مایع شکمبه گرفته شده از گوسفندان با یکدیگر مخلوط شده و بلافاصله تحت شرایط بی‌هوازی و با استفاده از فلاسک (دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد) به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، مایع شکمبه با استفاده از پارچه ۴ لایه متقال صاف شده و برای استفاده بعدی در آون ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. مایع شکمبه به نسبت ۱ : ۲ در مجاورت با گاز دی اکسید کربن با محلول بافر که بر اساس روش منک و استینگاس (۱۹۸۸) تهیه شده بود مخلوط شد و از مخلوط آماده شده به میزان ۳۰ میلی‌لیتر به داخل هر یک از سرنگ‌های آماده شده، ریخته شد (۱۴). برای هر تیمار چهار عدد سرنگ به عنوان تکرار در نظر گرفته شد و همه سرنگ‌ها (به همراه سه عدد سرنگ به عنوان بلانک) پس از آماده شدن، در داخل حمام بن‌ماری (با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. حجم گاز تولید شده (بر حسب میلی‌لیتر) در هر سرنگ در ساعات صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ پس از انکوباسیون ثبت شد و مقادیر به دست آمده بر اساس بلانک‌ها (میانگین ۳ سرنگ برای هر زمان انکوباسیون) تصحیح شدند.

به‌منظور برازش داده‌های به‌دست آمده از تعداد چهار مدل استفاده شد. معادله مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. داده‌های مربوط به هر سرنگ (حجم گاز تولید شده در زمان‌های معین) به‌طور جداگانه با استفاده از رویه Nonlinear regression در نرم‌افزار SPSS 16.0 for

windows به مدل مورد نظر برازش شدند و نتایج به صورت میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک خوراک بیان شدند.

جدول ۱- توصیف مدل‌های ریاضی استفاده شده در این مطالعه

Table 1. Description of mathematical models used in this study

نام مدل Model name	معادله Equation	پارامترهای ساختاری Shapeparameters	دامنه Domain
Exponential	$y = A(1 - EXP(-c.t))$	-	$t \geq 0$
Weibull	$y = A(1 - EXP(-c.t)^b)$	b	$t \geq 0$
Mitscherling	$y = A(1 - b.EXP(-c.t))$	b	$t \geq 0$
Richards	$y = A(1 - EXP(-c.t))^{\frac{1}{b}}$	b	$t \geq 0$

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: exponential value (2.718218284…)

به‌منظور بررسی نکویی‌برازش مدل‌ها از مقادیر میانگین مربعات خطا (Mean Square Error = MSE) و ضریب تعیین (R^2) به‌دست آمده از هر مدل استفاده شد. این مقادیر با استفاده از رابطه‌های ۱ ، ۲ و ۳ و به صورت زیر محاسبه شدند (۱۲):

رابطه ۱ : $RSS = \Sigma(y_i - \hat{y})^2$

رابطه ۲ : $MSE = \frac{RSS}{(n-p)}$

رابطه ۳ : $R^2 = 1 - \frac{MSE}{S_y^2}$

در رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ ، y_i مقدار مشاهده شده، $\hat{y}$ مقدار پیش‌بینی شده، RSS مجموع مربعات باقیمانده، n تعداد داده‌ها (تعداد نقاط زمانی اندازه‌گیری شده)، p تعداد پارامتر موجود در هر مدل و Sy^2 به عنوان واریانس کل در مقادیر مشاهده شده بود. همچنین، آماره کارایی نسبی[1] (RE) مدل‌ها به صورت نسبت MSE مدل j بر MSE مدل i، مطابق رابطه ۴ محاسبه شد(۱۷) :

رابطه ۴ : $RE_{(i/j)} = \frac{MSE_j}{MSE_i}$

در رابطه ۴، $RE_{(i/j)}$ کارآیی نسبی مدل i نسبت به مدل j ، MSE_j میانگین مربعات خطا در مدل j و MSE_i میانگین مربعات خطا در مدل i می باشد. آزمون LSD بر اساس آنالیز وزنی واریانس‌ها و به صورت مقایسه دو به دو مدل‌ها با هم و در سطح خطای ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0

1- Relative efficiency

انجام شد (۳). آمـاره معیـار اطلاعـات آکائیـک (Akaike's Information Criterion= AIC) از طریـق رابطه ۵ محاسبه گردید(۲۶):

رابطه ۵: $$AIC = n.\ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2(p+1) + \frac{2(p+1)(p+2)}{(n-p-2)}$$

در رابطه ۵، مقادیر RSS، n و p، همانند رابطـه ۲ مـی‌باشـند. بـرای محاسـبه مقـادیر دلتـا آکائیـک (Δ_iAIC)، وزن آکائیک (w_i) و نسبت تأییـد[1] (ER) از روش بـورن‌هـام و اندرسـون (۲۰۱۲) و مطـابق روابط ۶، ۷ و ۸ استفاده شد (۴):

رابطه ۶ : $$\Delta_i \mathrm{AIC} = AIC_i - MinAIC$$

رابطه ۷ : $$W_i = \frac{EXP(\frac{-\Delta_i \mathrm{AIC}}{2})}{\sum EXP(\frac{-\Delta_i \mathrm{AIC}}{2})}$$

رابطه ۸ : $$ER_{(i/j)} = \frac{W_i}{W_j}$$

در رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ منظور از Δ_i AIC دلتا آکائیک (تفاوت بـین آمـاره AIC_i مربـوط بـه مـدل i نسبت به مدلی که کمترین AIC را در بین مدل‌ها داشته است)، AIC_i معیار اطلاعات آکائیـک در مـدل i، MinAIC مدلی که کمترین مقدار AIC را در بین مدل‌ها داشت، W_iو W_j به‌ترتیـب وزن آکائیـک در مدل i و j، EXP عدد نپر و $ER_{(i/j)}$ نسبت تأیید مدل i نسبت به مدل j می‌باشد.

برای مقایسه آماری پارامترهای به دست آمده از هر مدل، (شامل پارامترهـای A و c) و آمـاره‌هـای مربوط به نکویی‌برازش (MSE و R^2) از رویـه GLM برنامـه SAS (۱۹۹۹) اسـتفاده شـد (۲۱). مـدل آماری استفاده شده به‌صورت Yij = μ+ Mi+ eij بود که در آن Yij متغییر وابسته، μ میـانگین، Mi اثـر مدل و eij خطای باقیمانده بود. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون تـوکی و در سـطح خطـای ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به میانگین درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت در جدول ۲ ارایـه شـده است. مطابق جدول فوق، درصد ماده خشک، ماده آلی، پـروتئین خـام، ADF و NDF در سـیلاژ ذرت به‌ترتیب ۱۹/۱۶، ۹۲/۹۱، ۶/۵۶، ۳۵/۷۰ و ۶۴/۰۸ درصد بود. کانبر (۲۰۱۵) درصـد مـاده خشـک، مـاده آلی، پروتئین خام، NDF و ADF سیلاژ ذرت را بعد از ۶۰ روز سیلو کردن بـه‌ترتیـب ۲۸/۰۸، ۸۷/۸۸،

1- Evidence ratio

۷/۹۷، ۵۱/۹۱ و ۳۸/۹۳ درصد گزارش کرد (۱۱). در مطالعه کمالک و همکاران (۲۰۰۵) نیز درصد ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، NDF و ADF سیلاژ ذرت بـه‌ترتیـب ۲۵/۲۵، ۹۴/۳۷، ۷/۸۶، ۴۴/۸۳ و ۲۴/۱۰ درصد گزارش شد(۱۰). ارزش غذایی سیلاژ ذرت بستگی به عوامل متعددی دارد. برخی از این عوامل بیولوژیکی و برخی دیگر تکنیکی هستند. به‌طورکلی عامل‌هایی که در ارزش غذایی این خوراک نقش موثری دارند، شامل واریته گیاه، مرحله بلوغ، محتوای مـاده خشـک در موقـع برداشـت، طـول و اندازه قطعات خرد شده، نحوه آماده کردن سیلو، شرایط آب و هوایی و نوع افزودنی بـه کـار رفتـه در سیلاژ می‌باشد (۱۹).

جدول ۲- میانگین درصد ماده خشک و ترکیب شیمیایی (برحسب درصد ماده خشک) سیلاژ ذرت

Table 2. Dry matter and chemical composition percentage (based on DM %) of corn silage

ماده خشک	ماده آلی	پروتئین خام	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	الیاف نامحلول در شوینده خنثی
DM	OM	CP	ADF	NDF
19.16 ± 0.40	92.91 ± 0.65	6.56 ± 0.53	35.70 ± 0.85	64.08 ± 1.46

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

نتایج مربوط به فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مـورد مطالعـه و نیـز آنالیز واریانس داده‌ها (مقادیر MSE و R^2) در جدول ۳ ارایه شده است. مقایسه بین مدل‌هـای مطالعـه شده نشان داد که پتانسیل تولید گاز (A) در میانگین کل تیمارها در همه مدل‌ها یکسان بودند (۷۲/۶۶۹ تا ۷۲/۴۹۸ میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) و تفاوتی بین مدل‌ها مشاهده نشـد. در مطالعـه ربانی (۲۰۱۲) مقدار A برآورد شده توسط مـدل EXP در طـول ۹۶ سـاعت انکوباسـیون سـیلاژ ذرت ۷۲/۷۵ میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک به دست آمد که مشابه نتایج ما بود (۱۹). همچنـین، کمالک و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از روش گاز تست به مدت ۹۶ ساعت انکوباسیون و مـدل EXP مقدار A را در سیلاژ ذرت ۷۳/۰۰ میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک گزارش کرد (۱۰).

سرعت تولید گاز (c) نیز در بین مدل‌ها ثابت بود (۰/۰۵۳ تا ۰/۰۵۵ میلی‌لیتر در ساعت) و تفـاوت بین مدل‌ها در این خصوص معنی‌دار نشد. ربانی (۲۰۱۲) با استفاده از مدل EXP، مقدار c را در سیلاژ ذرت ۰/۰۴۲ میلی‌لیتر در ساعت پیش بینی کرد (۱۹). در مطالعه دیگری نیـز مقـدار c در سـیلاژ ذرت ۰/۰۹۵ میلی‌لیتر بر ساعت گزارش شد (۱۰).

تولید گاز نتیجه تخمیر کربوهیدرات‌ها به استات، پروپیونات و بوتیرات می‌باشد (۱۴). تفاوت در محتوای ترکیب شیمیایی مواد خوراکی می‌تواند منجر به تفاوت در میزان گاز تولیدی و نیز سرعت تولید گاز شود (۷). گزارش شده است که کربوهیدرات‌ها منبع انرژی و سوبسترا حیاتی برای رشد میکروارگانیسم‌های شکمبه هستند و هر چقدر انرژی در دسترس میکروب‌ها کاهش یابد، حجم گاز تولید شده نیز کاهش خواهد یافت (۱۳).

مدل EXP یک مدل ساده نمایی است که از دو پارامتر A و c تشکیل شده است و فاقد پارمتر b (پارامتر ساختاری[1]) می‌باشد. اما سایر مدل‌ها دارای پارامتر b هستند و مقدار آن با توجه به نوع ساختار معادله در مدل‌های مختلف، متفاوت است. از آنجا که پارامتر b به عنوان یک پارامتر وابسته به منحنی است که برای تصحیح منحنی به مدل اضافه می‌گردد و مقدار آن با توجه به ساختار هر معادله، متفاوت است و لذا مقایسه این پارامتر در مدل‌های مختلف با همدیگر صحیح نیست. در مدل های WEB و RCH مقدار پارامتر b سرعت تولید گاز را در طول زمان انکوباسیون تحت تأثیر قرار می‌دهد. وقتی که در مدل WEB مقدار ۱= b و یا در مدل RCH، ۱- =b باشد، مقدار c ثابت باقی می ماند (یعنی مدل‌های فوق تبدیل به مدلEXP می‌شوند). در مدل RCH مقدار c با افزایش زمان انکوباسیون افزایش (۱- <b) و یا کاهش (۱- >b) می‌یابد و این تغییرات در مراحل اولیه انکوباسیون سریع‌تر است. در مدل WEB افزایش سرعت تولید گاز (c) در ابتدا به سرعت و سپس به آرامی صورت می‌گیرد (۱ <b) و یا اینکه سرعت تولید گاز در ابتدا به سرعت کاهش می‌یابد و سپس به آرامی کاهش می‌یابد (۱ >b). وجود پارامتر b در هر دو مدل WEB و RCH سبب افزایش انعطاف‌پذیری مدل در برازش داده‌ها در مقایسه با مدل EXP می‌شود. اثر این پارامتر ممکن است به تغییر هیدراسیون سوبسترا، اتصال و رشد باکتری ها و یا تغییر شیمیایی و ساختاری اجزای ماده خوراکی در طول زمان انکوباسیون نسبت داده شود (۹).

مطابق جدول ۳، آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که مدل EXP بیشترین مقدار MSE و کمترین مقدار R^2 را در بین مدل‌ها داشت و تفاوت آن با سایر مدل‌ها معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). اما تفاوت بین مدل‌های WEB، MIT و RCH در این خصوص معنی‌دار نشد. مشابه نتایج ما، بووینک و کگوت (۱۹۹۳) با بررسی سیلاژ ۲۰ نوع گراس مختلف به روش گاز تست در طول ۴۸ ساعت انکوباسیون که

1- Shape parameter

با استفاده از مدل‌هایی از قبیل EXP و RCH صورت گرفت، گزارش کردند کـه مقـدار MSE در مـدل EXP در مقایسه با مدل RCH بالاتر بود (۳). هوهتانن و همکاران (۲۰۰۸) نیز با بررسی سیلاژ ۱۵ نوع علوفه گراس مختلف به روش گاز تست در طول ۷۲ سـاعت انکوباسـیون و بـا اسـتفاده از مـدل‌هـای مختلف گزارش کردند کـه مقـدار MSE در مـدل EXP (۲۳/۸) بیشـتر از مـدل‌هـای WEB (۳/۲۶) و RCH (۳/۳۴) بود. ایشان مقدار R^2 در مدل‌هـای فـوق را نیـز بـه‌ترتیـب ۰/۹۹۷۷، ۰/۹۹۹۷ و ۰/۹۹۹۷ گزارش کردند (۹).

جدول ۳- مقایسه پارامترهای مربوط به کینتیک تخمیر شکمبه و نکویی‌برازش برآورد شده در مدل‌های مورد مطالعه

Table 3.Comparison of the estimated parameters related to ruminal fermentation kinetic and goodness of fit in the studied models

پارامتر Parameters	اکسپونانشیال Exponential	ویبول Weibull	میچرلینگ Mitscherling	ریچارد Richards	مقدار p p-value
A	72.633	72.574	72.669	72.498	0.9907
c	0.055	0.054	0.053	0.054	0.8564
b	-	1.020	0.994	1.013	-
MSE	4.139 [a]	1.543[b]	2.016[b]	1.476[b]	<0.0001
R^2	0.994[b]	0.998 [a]	0.998 [a]	0.998 [a]	<0.0001

A : پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر بر ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، b : پارامتر ساختاری، c : سرعت تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)

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

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

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

نتایج مربوط به کارایی نسبی (RE) مدل‌ها در جدول ۴ ارایه شده است. آماره RE بر اساس نسـبت MSE مدل j بر MSE مدل i به‌دست آمد. اگر مقدار RE به دست آمده از مقایسه دو مـدل، بزرگتـر از ۱ باشد ($\frac{MSE_j}{MSE_i}$ >۱) یعنی کارآیی نسبی مدل j پایین‌تر از مدل i است و بر این اساس، مدل i نسـبت بـه مدل j ، نکویی‌برازش بالاتری دارد (۱۷). به عنوان مثال در جدول ۵، مدل WEB در مقایسـه بـا مـدل EXP دارای RE= ۲/۶۸ بود ($\frac{4.139}{1.543} = 2.68$). یعنی کارآیی نسبی مدل WEB ۲/۶۸ برابر بهتـر از مـدل EXP بوده است.

جدول ۴- کارآیی نسبی (RE) مدل‌ها نسبت به همدیگر

Table 4. Relative efficiency (RE) of the models relative to each other

$Model_i$	$Model_j$			
	Exponential	Weibull	Mitscherling	Richards
Exponential	1	0.37	0.49	0.36
Weibull	2.68	1	1.31	0.96
Mitscherling	2.05	0.77	1	0.73
Richards	2.80	1.05	1.37	1

همچنین، نکویی‌برازش مدل‌های MIT و RCH نیز در مقایسه با مدل EXP بهتر بود (به‌ترتیب ۲/۰۵ و ۲/۸۰ برابر) و در بین تمامی مدل‌ها، مدل RCH بهترین نکویی‌برازش را در این خصوص داشت. در رابطه با مقادیر RE، تحقیقی در زمینه سیلاژ ذرت در دسترس ما قرار نگرفت. اما در یک تحقیق که بر روی یک جیره حاوی ۶۰٪ علوفه یونجه و ۴۰٪ دانه ذرت انجام گرفته بود، مقدار RE در مدل EXP بسیار کمتر از سایر مدل‌های مورد مطالعه (مدل‌های فرانس، لجستیک و گومپرتز) بود (۱۷).

در جدول ۵ مقادیر MSE به همراه مقادیر به‌دست آمده از آزمون LSD پس از آنالیز وزنی واریانس‌ها (مقایسه دو به دو مدل‌ها) آورده شده است. بر اساس نتایج LSD موجود در جدول فوق، مقدار MSE در مدل EXP به‌طور معنی‌داری بالاتر از مدل‌های WEB و RCH بود ($p<۰/۰۵$). اما تفاوت بین مدل EXP با مدل MIT معنی‌دار نشد (ستون سوم در جدول ۵). مقدار MSE در مدل WEB با هر دو مدل MIT و RCH تفاوت معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). همچنین، مدل MIT نیز با مدل RCH در این خصوص تفاوت بسیار معنی‌داری نشان داد ($p<۰/۰۱$). نکته جالب توجه این بود که مقدار MSE در مدل RCH به طور معنی‌داری با همه مدل‌ها تفاوت داشت و مقدار LSD به دست آمده در آن از همه مدل‌ها کمتر بود. مفهوم این جمله آن است که مدل RCH در مقایسه با سایر مدل‌ها، نکویی‌برازش بهتری داشته است. مشابه نتایج ما، بووینک و کگوت (۱۹۹۳) مقدار MSE به دست آمده از مدل‌های EXP، RCH، لجستیک و گومپرتز را در ۲۰ نوع سیلاژ به صورت دو به دو مقایسه کردند و گزارش نمودند که مقدار MSE در مدل EXP به طور معنی‌داری با سایر مدل‌ها تفاوت داشت و مقدار آن بالاتر از سایر مدل‌ها بود. به عبارت دیگر، در مطالعه ایشان نکویی‌برازش مدل EXP کمتر از سایر مدل‌ها بود (۳).

جدول ۵- مقایسه MSE مدل‌ها بر اساس آزمون LSD

Table 5. Comparison of MSE in models based on LSD test

Models	Mean MSE	LSD			
		Exponential	Weibull	Mitscherling	Richards
Exponential	4.139	-	-	-	-
Weibull	1.543	3.318*	-	-	-
Mitscherling	2.016	2.807	4.077**	-	-
Richards	1.476	3.334*	3.308*	4.416**	-

* و ** : میانگین مربعات خطا (MSE) در مدل‌ها در هر ستون دارای تفاوت معنی‌دار به ترتیب در سطح خطای ۵ و ۱ درصد هستند.

* and **: Mean square error (MSE) for models in each columns are significantly different for alpha 0.05 and 0.01, perceptively.

نتایج مربوط به آزمون آکائیک در جدول ۶ ارایه شده است. در جدول فوق، مدل‌های EXP و RCH به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار AIC را در بین مدل‌ها داشتند. آماره AIC نشان‌دهنده کیفیت نسبی یک مدل در برازش یک سری از داده‌هاست. این آماره، یک شاخص مناسب برای انتخاب بین مدل‌ها از نظر نکویی‌برازش است و یک مدل با کمترین مقدار از این نظر، بهتر است انتخاب شود (۲۲). گزارش شده است که اگر آماره‌های AIC در یک مدل کمتر باشد، آن مدل در انتخاب شدن ارجحیت دارد (۲۶). مشابه نتایج ما، در مطالعه وانگ و همکاران (۲۰۱۱) بر روی مواد خوراکی مختلف، مقدار آماره AIC در مدل EXP بیشتر از مدل‌های گومپرتز، میکائیلیس- منتن و فرانس بود (۲۶).

دو پارامتر مرتبط با آزمون آکائیک که می‌تواند در مقایسه مدل‌ها استفاده شود، مقادیر دلتا آکائیک (Δ_i AIC) و وزن آکائیک (w) می باشد. Δ_i AIC ، تفاوت بین AIC مربوط به مدل i را نسبت به مدلی که کمترین AIC را در بین مدل‌های بررسی شده دارد را نشان می‌دهد (Δ_i AIC= AIC_i – Min AIC). مطابق جدول ۷، کمترین مقدار AIC در مدل RCH مشاهده شد (۱۴/۲۲۲). لذا با منها کردن مقادیر AIC هر یک از مدل‌ها از مقدار فوق، مقدار Δ_i AIC هر مدل به‌دست آمد و بر این اساس، مقدار Δ_i AIC در مدل‌های EXP، WEB، MIT و RCH به‌ترتیب ۴/۴۶۵، ۱/۲۸۱، ۴/۲۳۹ و ۰ شد. به عنوان یک قاعده کلی، اگر ۲ > Δ_i AIC باشد، مدل i قابل قبول است. اگر ۱۰> Δ_i AIC >۲ باشد، یعنی مدل i حمایت ضعیفی از داده‌ها می‌کند و اگر ۱۰ < Δ_i AIC باشد، مدل i مدل قابل قبولی نیست (۴). مطابق جدول ۶ و بر اساس مقدار Δ_i AIC، مدل WEB و RCH مدل‌های قابل قبول و مدل‌های EXP و MIT مدل‌های ضعیفی جهت برازش داده‌های ما بودند.

جدول ۶- نتایج مربوط به آزمون آکائیک بعد از برازش مدل‌ها

Table 6. Results related to Akaike test after fitting the models.

مدل‌ها Models	تعداد پارامتر number of parameters	مجموع مربعات باقیمانده RSS	معیار اطلاعات آکائیک AIC	دلتا آکائیک Δ_i AIC	وزن آکائیک W
Exponential	2	28.973	18.686	4.465	0.061
Weibull	3	9.257	15.503	1.281	0.300
Mitscherling	3	12.098	18.461	4.239	0.068
Richards	3	8.857	14.222	0	0.570

برای محاسبه w_i، ابتدا مقیاس Δ_i AICها بایست طوری تغییر کنند که مجموع آنها برابر عدد ۱ بشود ($\sum\Delta_i$ AIC =1). سپس، نسبت Δ_i AIC مدلi به $\sum \Delta_i$ AIC ، مقدار w_i مدلi را نشان می‌دهد (مطابق رابطه ۷). بر این اساس، مقدار w در مدل RCH برابر ۰/۵۷۰ بود. یعنی مدل RCH با احتمال ۵۷ درصد شانس دارد که بهترین مدل در بین مدل‌های مورد مطالعه باشد. همچنین، شانس مدل‌های WEB، MIT وEXP به‌ترتیب ۳۰، ۶/۸ و ۶/۱ درصد بود.

همچنین، در جدول ۷ نتایج مربوط به پارامتر نسبت تأیید (ER) ارایه شده است. پارامتر ER عبارت است از نسبت w_j در مدل j به w_i در مدل i ($ER = \frac{w_j}{w_i}$). بر این اساس، مقدار ER بین مدل‌های WEB و EXP معادل ۴/۹۱۳ بود. یعنی مدل WEB در پیش‌بینی داده‌های ما، ۴/۹۱۳ برابر بهتر از مدل EXP بود. همچنین، مدل MIT ۱/۱۲۰ برابر و مدل RCH ۹/۳۲۱ برابر بهتر از مدل EXP بودند. لازم به ذکر است که در خصوص آزمون آکائیک در زمینه بررسی کینتیک تخمیر شکمبه‌ای سیلاژ ذرت تحقیقی یافت نشد. اما از آزمون آکائیک و آماره‌های آن برای مقایسه مدل‌های مختلف به‌منظور پیش‌بینی ارزش غذایی مواد خوراکی از طریق روش‌های دیگر، تحقیقاتی انجام شده است. مانند برآورد گوارش‌پذیری علوفه از طریق محتوای ترکیب شیمیایی آن، فصل رویش و نحوه برداشت که توسط هاگس و همکاران (۲۰۱۴) انجام شد (۸). همچنین، پیش‌بینی محتوای TDN علوفه مرتع بر اساس سال رویش، دمای محیط و مصرف ماده خشک که توسط آگوییر و همکاران (۲۰۱۱) صورت گرفت (۱).

جدول ۷- نتایج مربوط به نسبت تأیید (ER) پس از برازش مدل‌ها

Table 7. Results of evidence ratio (W_j/W_i) of the fitted models

	$Model_i$			
$Model_j$	Exponential	Weibull	Mitscherling	Richards
Exponential	1	0.204	0.893	0.107
Weibull	4.913	1	4.389	0.527
Mitscherling	1.120	0.228	1	0.120
Richards	9.321	1.897	8.326	1

W_j/W_i: وزن آکائیک مدل **j** نسبت به مدل **i**

W_j/W_i is the Akaike's weight of $model_j$ to $model_i$

نتیجه‌گیری

مقدار پتانسیل تولید گاز (A) در سیلاژ ذرت توسط همه مدل‌ها تقریباً یکسان پیش‌بینی شد. مدل EXP در مقایسه با سایر مدل‌ها جهت توصیف کینتیک تولید گاز در سیلاژ ذرت، نکویی‌برازش ضعیفی داشت. در بین مدل‌های مطالعه شده، مدل WEB و RCH مدل بهتری بودند و دقت مدل RCH از همه مدل‌ها بالاتر بود.

منابع

1. Aguiar, A.D., Tedeschi, L.O., Rouquette, F.M., Mc Cuistion, K., Ortega-Santos, J.A., Anderson, R., DeLaney, D., and Moore, S. 2011. Determination of nutritive value of forages in south Texas using an *in vitro* gas production technique. J. of the British Grassland Society, 66: 526–540.
2. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
3. Beuvink, J.M., and Kogut, J. 1993. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. J. Anim Sci, 71(4):1041-1046.
4. Burnham, K.P., and Anderson, D.R. 2002. Model Selection and Multi model Inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edition. Springer-Verlag, New York.
5. 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 J. of Nutrition, 83:131–142.
6. 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 J. of Nutrition, 83:143–150.

7. Getachew, G., DePeters, E.J., and Robinson, P.H. 2004. *In vitro* gas production provides effective method for assessing ruminant feeds. California Agriculture. 58(1):54-58.
8. Hughes, M., Mlambo, V., Jennings, P.J.A. and Lallo, C.H.O. 2014. The accuracy of predicting *in vitro* ruminal organic matter digestibility from chemical components of tropical pastures varies with season and harvesting method. Trop. Agric. 91(2): 131-146.
9. 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. J. of Anim Sci. 86: 2657–2669.
10. Kamalak, A., canbolat, O., Gurbuz, Y., and Ozay, O. 2005. Comparison of *in vitro* gas production technique with *in situ* nylon bag technique to estimate dry matter degradation. Czech J. of Anim Sci. 50 (2): 60–67.
11. Kanber, K. 2015. *In vitro* methane production and quality of corn silage treated with maleic acid. Italian J. of Anim Sci. 14:718-722.
12. Korkmaz, M. and Uckades, F. 2014. An alternative robust model for *in situ* degradation studies “Korkmaz-Uckardes”. Iranian J. of Applied Anim Sci. 4(1): 45-51.
13. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., and Morgan, C.A. 2002. Animal nutrition (6th Ed). Prentice Hall. London.
14. 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.
15. 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*. J. of Agri Sci. (Cambridge), 93: 217-222.
16. NRC. 1985. Nutrient Requirements of Sheep (6th revised Ed). National Academy Press, Washington, DC, USA.
17. Peripolli, V., Prates, E.R., Barcellos, J.O.J., McManus, C.M., Wilbert, C.A., Braccini Neto, 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), from http://www.lrrd.org/lrrd26/2/peri26028.htm
18. Pitt, R.E., Cross, T.L., Pell, A.N., Schofield, P., and Doane, P.H. 1999. Use of *in vitro* gas production models in ruminal Kinetics. Mathematical Biosciences, 159(2): 145-163.
19. Rabbani, H.R. 2012. Study on silage characteristics of two varieties of amaranth forage (amaranthus hypochondriacus) and its comparison with corn silage.

Thesis submitted for Master of Science in field of animal science, Dept. of Anim Sci., Bu-Ali Sina University. (In Persian)

20. 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.J. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 17: 731-734.
21. SAS. 1999. The SAS System for Windows. Release 8.0.1. SAS InstitutueInc, Cary, USA.
22. Ucardes, F. and Efe, E. 2014. Investigation on the usability of some mathematical models in *in vitro* gas production techniques. Slovak J. of Anim Sci. 47 (3): 172-179.
23. Uckardes, F. 2013. A modified Mitscherlich model and its degradation kinetics equations. Archiv Tierzucht, 56 (101): 1005-1013.
24. 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. J. of Anim and Plant Sci. 23: 999-1007.
25. 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. J. of Dairy Sci. 74: 3583–3597.
26. 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. Animal Feed Science and Technology. 165: 137-150.
27. Williams, W.L., Tedeschi, L.O., Kononoff , P.J., Callaway, T.R., Dowd, E., Karges, K., and Gibson, M.L. 2010. Evaluation of *in vitro* gas production and rumen bacterial populations fermenting corn milling (co) products J. of Dairy Sci. 93: 4735–4743.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Ruminant Research, Vol. 4(3), 2016
http://ejrr.gau.ac.ir

Prediction of ruminal fermentation kinetic of corn silage using some models by *in vitro* method

***Kh. Zaboli and M. Maleki**
Assistant Prof., Dept. of Animal Sciences, Faculty of Agriculture,
Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
Received: 08/17/2016; Accepted: 12/13/2016

Abstract

Background and objectives: *In vitro* gas production technique (GP) is used for evaluation of ruminal fermentation kinetic of feed stuff. Since structure of GP curve is logarithmic shape, so description of its data is done by fitting them with non-linear models. Some mathematical modelscan be applied for this purpose. The most popular model used in the GP, is exponential model (EXP). But it is reported that some models compared with the EXP model, can predict results of GP more accurately. Thus, the aim of this study was to predict ruminal fermentation kinetic of corn silage using some non-linear models.

Materials and methods: In this study, 4 mathematical models, including exponential (EXP), Weibull (WEB), Mitscherlich (MIT) and Richards (RCH) were used to predict ruminal fermentation kinetic of corn silage. Corn silage was sampled at days zero, 20, 40 and 60 after ensiling. Dry matter percentage and chemical composition (OM, CP, ADF and NDF) of samples were determined. GP was done for each sample in four replicates using glass syringes. 200 mg oven dried feed with 30 ml of buffered rumen fluid was poured into a glass syringe and incubated at 39 ° C. The volume of gas produced at zero, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72 and 96 hours after incubation were fitted by the experimental models. Mean square error (MSE), coefficient of determination (R^2), relative efficiency (RE), LSD test and Akaike information criterion (AIC) were used as goodness of fit parameters and to select the best model.

Results: Based on the results, MSE values in the EXP model was significantly higher than the other models ($P<0.05$). But R^2 value in the EXP model was

*Corresponding author; khzaboli@gmail.com

significantly lower than the other models (P<0.05). Based on the RE results, WEB, MIT and RCH models were 2.68, 2.05 and 2.80 times better than the EXP model, respectively. LSD test showed that the amount of MSE in the RCH model significantly differenced with the other models (P<0.05) and so, its goodness of fit was better than the other models. Based on the Akaike test results, the EXP and RCH models had the highest and lowest AIC value among the models, respectively. According to this, the EXP and RCH models were the weakest and strongest models for data fitting, respectively. Also, the W criteria showed that the chances of the EXP, WEB, MIT and RCH models for being selected as the best model, were 1.6, 30, 8.6 and 57 percentages, respectively. Results of the ER showed that the WEB, MIT and RCH models were 4.913, 1.120 and 9.321 times better than the EXP model, respectively.

Conclusion: Generally, the results of this study showed that the WEB and RCH models can estimate ruminal fermentation kinetic of corn silage more accurately. Therefore, it can be suggested that the WEB and RCH models can be used for description of GP profile of corn silage instead of the EXP model.

Keywords: Goodness of fit, gas production technique, corn silage, mathematical models.