امکان‌سنجی هضم بی‌هوازی ترکیبی خون گوسفند و آب‌پنیر

رسول آیدرم[1]، حسین حاجی آقا علیزاده[2]، مجید رسولی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان؛ rasoolayderam@gmail.com
[2]استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان؛ h-alizade@basu.ac.ir
[3] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان؛ m.rasouli@basu.ac.ir

چکیده

یکی از راه‌های غلبه بر نقص موادی که به عنوان سوبسترا استفاده می‌شوند، هضم ترکیبی همزمان آن‌هاست. این روش به‌عنوان یک روش مناسب به منظور بالا بردن بازده تولید بیوگاز شناخته شده است.ضایعات کشتارگاهی و پساب لبنی از جمله فضولاتی هستند که به سبب داشتن مضرات زیست‌محیطی می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای استفاده به عنوان سوبسترا به منظور کاهش این ضررها باشند. در این مطالعه با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) و طرح مخلوط (Mixture) نسبت‌های مختلفی برای ترکیب خون گوسفند و آب‌پنیر تعریف شد. هضم بی‌هوازی ترکیبی این نسبت‌ها در شرایط مزوفیلیک ($37^{\circ}C$) و در یک زمان ماند (HRT) ۲۱ روزه و با استفاده از روش آزمون پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP test) انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق نسبت ۶۰ : ۴۰ ترکیب خون گوسفند به آب‌پنیر منجر به بیشترین میزان تولید بیوگاز شد. همچنین با بهینه‌سازی فرایند به وسیله یک مدل درجه چهار، بهترین نسبت ترکیب خون گوسفند به آب‌پنیر، نسبت ۶۵ : ۳۵ شناخته شد.

کلمات کلیدی: هضم بی‌هوازی ترکیبی، بیوگاز، خون گوسفند، آب‌پنیر، روش سطح پاسخ

Feasibility of anaerobic co-digestion of sheep blood with cheese whey

R. Ayderam[1], H. Alizadeh[2], M. Rasouli [3]
[1]M. Sc. Student, bu-ali sina University, rasoolayderam@gmail.com
[2]Assistant Professor, bu-ali sina University, h-alizade@basu.ac.ir
[3]Assistant Professor, bu-ali sina University, m.rasouli@basu.ac.ir

ABSTRACT

One way to overcome defects in materials used as substrates is anaerobic co-digestion of them. This method is known as a suitable method for increasing the production efficiency of biogas. Slaughterhouse and dairy waste is one of the wastes that, due to environmental hazards, can be suitable alternatives for use as substrates for the purpose of reduce these losses. In this study, by using the response surface method (RSM) and mixture design, different ratios were defined for the composition of sheep blood and cheese whey. The combined mixing of these proportions was carried out in Mesophilic conditions (37 ° C) and at hydraulic retention time (HRT) of 21 days using the Biochemical Methane Potential test (BMP test). Based on the results of this study, the ratio of 40:60 sheep blood to cheese whey resulted in the highest amount of biogas production. Also, by optimizing the process by a quartic model, the best ratio of sheep blood combination to cheese whey was found to be 35:65.

Keywords: Anaerobic co-digestion, Biogas, Sheep blood, Cheese whey, Response surface method

۱- نویسنده مسئول: حسین حاجی آقا علیزاده؛ دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ تلفن: ۰۹۱۸۱۱۱۳۸۳۰

۱- مقدمه

منابع انرژی تجدیدپذیر در چند دهه اخیر در جوامع مختلف بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیست‌توده یکی از قدیمی‌ترین و امیدوارکننده‌ترین منابع انرژی است. پسماندهای آلی مانند پسماندهای حیوانی، فاضلاب‌های با محتوای مواد آلی بالا، پسماندهای کشاورزی و کشاورزی- صنعتی می‌توانند برای تولید انرژی، گرما و سوخت‌های زیستی استفاده شوند (Claassen et al., 1999).

فرایند هضم شامل چهار مرحله هیدرولیز، اسیدزایی، استات‌زایی و متان‌زایی است. هیدرولیز به‌عنوان مرحله محدودکننده برای هضم بی‌هوازی می‌باشد. در هضم بی‌هوازی میکروارگانیسم‌ها مواد آلی (پروتئین، چربی و کربوهیدرات) را در مرحله متان‌زایی به بیوگاز تبدیل می‌کنند(Haji agha alizadeh et al., 2016).

هضم بی‌هوازی ترکیبی (AcoD) پسماندهای کشتارگاهی به عنوان یک پیشنهاد قابل اجرا به منظور افزایش تولید بیوگاز در هاضم‌های مرسوم در نظر گرفته شده است. ضایعات کشتارگاهی با محتوای بالای نیتروژن مشخص می‌شوند. این اثر باعث اضافه شدن یک همبستر مناسب به منظور رسیدن به مخلوطی با نسبت C/N متعادل می‌شود که باعث کاهش غلظت نیتروژن و افزایش تولید بیوگاز می‌شود (Cuetos et al., 2009; Lehtomaki et al., 2007). اگرچه نیتروژن یکی از مواد مغذی ضروری برای میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی است، تجمع آمونیاک در هضم پسماندهای با محتوای نیتروژن بالا گزارش شده است (Lobato et al., 2010; Resch et al., 2011). مطالعات اندکی روی هضم پسماند خون انجام شده است (Salminen et al., 2000, 2001; Wang and Banks., 2003). اخیرا مخلوط‌های مختلفی حاوی ضایعات کشتارگاهی و خون به خاطر پتانسیل متان بیوشیمیایی بالا مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا آلوارز و لیندن (۲۰۰۸) هضم مخلوط محتویات شکمبه گاو و محتویات شکم خوک و خون را با ضایعات میوه و سبزیجات و کود مطالعه کردند.

صنعت تولید پنیر مقادیر زیادی از فاضلاب با ماندگاری بالا همراه با تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD[2]) و زیستی (BOD[3]) زیاد را تولید می‌کند (Prazeres et al., 2012). آب‌پنیر یکی از محصولات جانبی تولید پنیر است که عمدتا حاوی مقدار قابل توجهی کربوهیدرات (۴-۵٪)، لاکتوز (g/L ۴۵-۵۰)، پروتئین (g/L ۶-۸)، چربی (g/L ۴-۵) و نمک‌های معدنی (٪ ۸-۱۰ از عصاره خشک) می‌باشد. آب‌پنیر همچنین شامل مقادیر قابل توجهی اسید لاکتیک، اسید سیتریک و ویتامین‌های گروه B است. بنابراین این بستر به راحتی قابلیت تغییرات زیستی را داراست. با این حال به رغم محتوای کربوهیدرات بالای آب‌پنیر، هضم بی‌هوازی آن به دلیل پایین بودن قلیاییت بیکربنات، COD بالا و تمایل به اسیدی شدن سریع بسیار مشکل است (Prazeres et al., 2012).

این مطالعه برای اولین بار با تمرکز بر هضم ترکیبی همزمان خون گوسفند و آب‌پنیر انجام شده است. هضم ترکیبی این دو ماده در نسبت‌های مختلف انجام شده است و بهترین نسبت ترکیب به منظور بیشینه کردن تولید بیوگاز شناسایی شده‌است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد مورد استفاده به عنوان سوبسترا

ماده تلقیح از کود گاوی تازه تهیه شد. این کود در یک زمان ماند (HRT[4]) ۹۰ روزه در یک راکتور مجزا نگهداری شد و پس از آن برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. خون گوسفند از کشتارگاه صنعتی دام صالح‌آباد همدان تهیه شد و سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه پاستوریزه شد و بعد از آن در آزمایش‌های هضم استفاده گردید. آب‌پنیر استفاده شده در آزمایش‌ها از یک کارگاه محلی تولید لبنیات تهیه شد.

۲-۱-۱- روش‌های تحلیل استفاده شده در تعیین مشخصات سوبسترا

میزان جامدات کل و جامدات معلق طبق روش‌های استاندارد (APHA, 1998) به دست آمد.

1. Anaerobic co-Digestion
2. Chemical Oxygen Demand
3. Biochemical Oxygen Demand
4. Hydraulic Retention Time

جدول ۱- مشخصات سوبسترای استفاده شده در آزمایش‌های هضم.

Table 1. Characteristics of substrates used in digestion experiments.

Parameters	Blood	Cheese Whey
TS (%)	10.7	7.4
VS (%)	94.2	90.5
pH	6.8	5.4

۲-۲- آزمایش‌های هضم بی‌هوازی

۲-۲-۱- تست پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP test)

تست پتانسیل متان بیوشیمیایی، یک فرایند هضم دسته‌ای بی‌هوازی است که معمولا برای تعیین میزان بیوگاز و متان تولیدی از بستر آلی استفاده می‌شود. دو روش تست BMP که بیشتر استفاده می‌شوند روش‌های حجم‌سنجی و فشارسنجی است (Valero et al., 2016). در این مطالعه از روش حجم‌سنجی استفاده شد. مواد بستر در بطری‌های شیشه‌ای یک لیتری قرار گرفت. هر بطری دارای دو شیر بود که یکی برای خروج گاز تولیدی و دیگری به‌منظور نمونه‌گیری از بستر تعبیه شده بود. بطری‌ها به‌منظور ثابت نگه داشتن دما درون بن‌ماری قرار داده‌شد.گاز خارج شده از هر بطری وارد بطری جمع‌کننده گازمی‌شد. این بطری حاوی آب بود و به میزان گاز وارد شده به آن آب از آن خارج می‌شد (شکل۱).

۲-۲-۲- طراحی آزمایش‌ها

تیمارها یا به عبارتی درصدهای مختلف ترکیب به‌وسیله نرم‌افزار Design Expert مشخص شد. برای این منظور از طرح mixture استفاده گردید و درصد اختلاط مواد با یک نقطه مرکزی و سه تکرار طبق جدول (۲) طراحی شد. در این طرح با توجه به پیش‌آزمایش‌های انجام شده و اسیدی شدن بیش از حد مخلوط‌های دارای آب‌پنیر بیشتر از ٪۷۰، حداکثر میزان آب‌پنیر در راکتورها، ٪۷۰ در نظر گرفته شد.

جدول ۲- نسبت اختلاط مواد سوبسترا

Table 2. Mixing ratio of substrate materials

Run	A: Blood (%)	B: Cheese Whey (%)
1	30	70
2	70	30
3	70	30
4	50	50
5	60	40
6	40	60
7	50	50
8	30	70

۲-۲-۳- راه‌اندازی و عملیات راکتورها

مخلوط سوبسترا طبق جدول (۲) تهیه و در شیشه‌های درب‌آبی یک لیتری قرار گرفت. شیشه‌ها در بنماری و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۱ روز نگهداری و گاز تولیدی راکتورها به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. pH راکتورها هر دو روز یک‌بار اندازه‌گیری و در صورت کاهش، با استفاده از سود یک نرمال به محدوده مورد نظر (۶/۵ تا ۸/۲) رسانده شد.

1. Biochemical Methane Potential test

Figure 1. BMP test setup.

شکل ۱- راه‌اندازی آزمون پتانسیل متان بیوشیمیایی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خلاصه مدل آماری

مطابق جدول (۳)، نرم‌افزار دو مدل خطی و درجه چهار را به ترتیب با رگرسیون اصلاح‌شده ۰/۵۱ و ۰/۹۸ پیشنهاد می‌کند که با توجه به مقدار رگرسیون بالا در مدل درجه چهار، ما برای تحلیل آزمایش‌ها از این مدل استفاده کرده‌ایم.

جدول ۳- خلاصه مدل آماری

Table 3. Model Summary Statistics

Source	Std.Dev	R^2	Adjusted R^2	Predicted R^2	PRESS	
Linear	**1524.63**	**0.5869**	**0.5180**	**0.4010**	**2.022E+07**	Suggested
Quadratic	1543.58	0.6471	0.5060	0.3100	2.330E+07	
Cubic	1479.63	0.7406	0.5461	-0.8574	6.271E+07	
Quartic	**234.99**	**0.9951**	**0.9886**			Suggested

۳-۲- تجزیه و تحلیل واریانس برای مدل درجه چهار (Quartic)

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به این جدول مدل درجه چهار مدلی مناسب به منظور پیش‌بینی رفتار پاسخ‌ها می‌باشد. در این جدول مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده مناسب بودن گزاره‌های آماری است که طبق آن علاوه بر مدل، قوانین تعریف شده $AB, AB(A-B), AB(A-B)^2$ نیز دارای سطح معنی‌داری بالایی می‌باشند.

جدول ۴- تجزیه و تحلیل واریانس برای مدل درجه چهار

Table 4. ANOVA for Quartic model

Source	Sum of square	df	Mean square	F-value	p-value	
Model	3.359E+07	4	8.399E+06	152.10	0.0009	significant
Linear Mixture	1.981E+07	1	1.981E+07	358.82	0.0003	
AB	6.196E+06	1	6.196E+06	112.22	0.0018	
AB(A-B)	3.156E+06	1	3.156E+06	57.15	0.0048	
$AB(A-B)^2$	8.592E+06	1	8.592E+06	155.59	0.0011	
Pure Error	1.657E+05	3	55218.17			
Cor Total	3.376E+07	7				

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

این مدل همچنین یک معادله کدگذاری شده ارائه می‌دهد که نشان دهنده تاثیر نسبی متغیرهای مستقل بر روی پاسخ‌ها می‌باشد که تاثیرگذاری متغیرها به‌وسیله ضرایب آن‌ها مشخص می‌شود. این معادله به شکل زیر می‌باشد:

$$R_1 (Biogas) = 8542.5*A + 12147*B - 8623*AB - 14212*AB(A-B) + 55820*AB(A-B)^2$$

۳-۳-نمودار نرمال باقی‌مانده‌ها

این نمودار خطی بودن مقادیر باقی‌مانده داده‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲)، ازآنجا که نقاط داده‌ها بر روی نمودار نرمال باقی‌مانده‌ها تقریبا به شکل خطی می‌باشند، بنابراین مدل دارای مطلوبیت است.

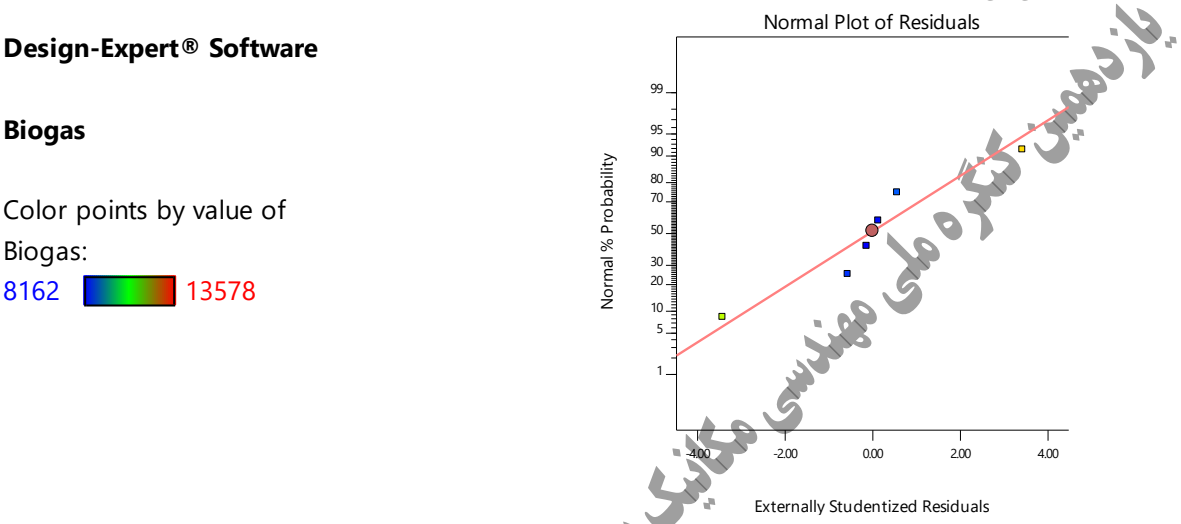

Figure 2. Normal plot of residuals

شکل ۲- نمودار نرمال باقی‌مانده‌ها

۴-۳- نمودار باکس-کاکس

نمودار باکس کاکس ابزاری برای کمک به تشخیص مناسب ترین تابع انتقال توانی به منظور اعمال بر پاسخ می‌باشد. پایین‌ترین نقطه در نمودار باکس-کاکس نشان‌دهنده مقداری از لانداست که منجر به حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده در مدل انتقالی می‌شود. با توجه به شکل (۳) و بازه مناسب تعریف شده برای لاندا (۳/۱۱ و ۶/۹-)، لاندای متداول در این بازه قرار دارد و نیازی به اعمال تابع انتقال نمی‌باشد. همچنین بهترین مقدار لاندا که نمودار پیشنهاد می‌کند برابر است با ۱/۹۹-.

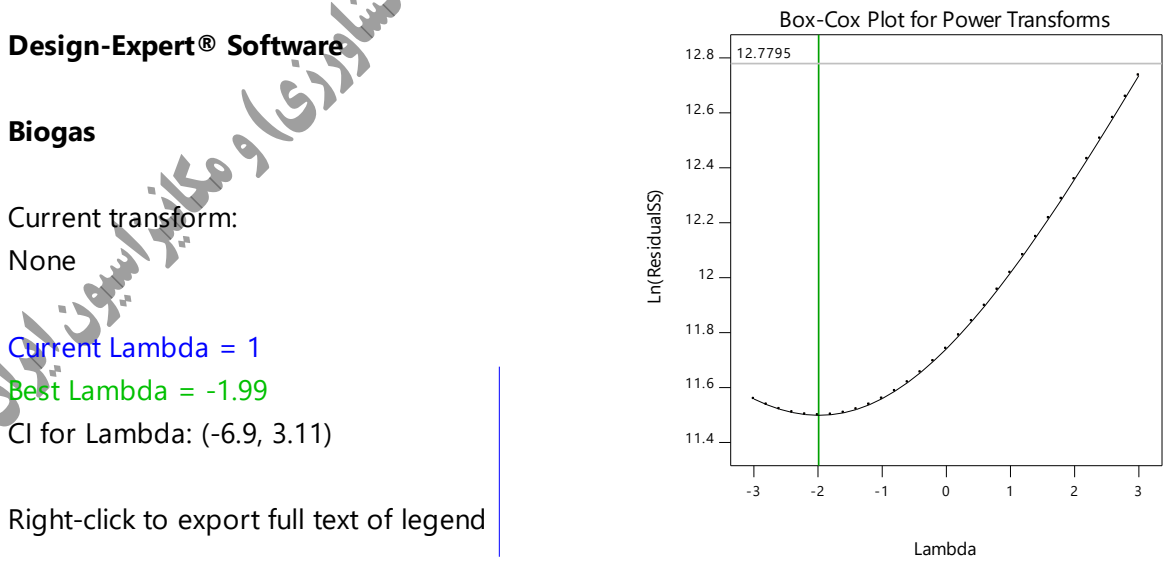

Figure 3. Box-Cox plot for power transforms

شکل ۳- نمودار باکس-کاکس برای انتقالات توانی

۳-۵- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقایسه با مقادیر واقعی

این نمودار مقادیر پاسخ پیش‌بینی شده را در مقایسه با مقادیر پاسخ واقعی نشان می‌دهد. هدف این نمودار پیش‌بینی مقدار یا گروهی از مقادیر پاسخ است که به راحتی توسط مدل قابل پیش‌بینی نیست.با توجه به شکل (۴) مقادیر واقعی نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده تقریبا روی یک خط قرار گرفته‌اند و این نشان می‌دهد مدل دارای مطلوبیت است.

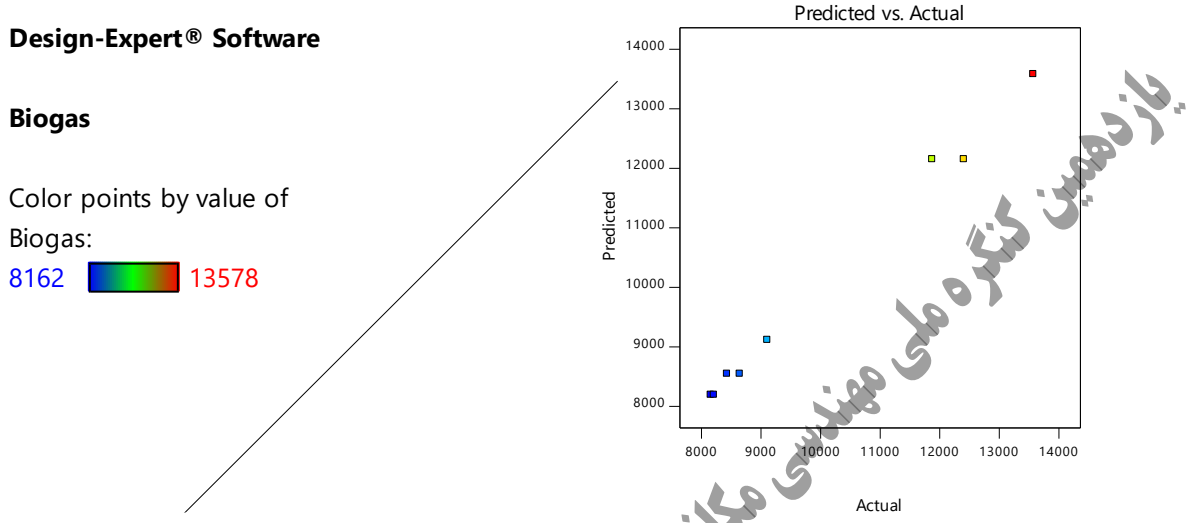

Figure 4. Predicted vs actual values plot

شکل ۴- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقایسه با مقادیر واقعی

۳-۶- منحنی تابع مدل

شکل (۵) نشان‌دهنده منحنی تابعی است که بر اساس فرمول نهایی مدل کشیده شده است. در این نمودار میزان تولید بیوگاز (پاسخ‌ها) در نسبت‌های مختلف اختلاط مواد سوبسترا دیده می‌شود، همچنین قله منحنی تابع بیانگر بهترین نسبت اختلاط به منظور بیشینه کردن تولید بیوگاز می‌باشد.

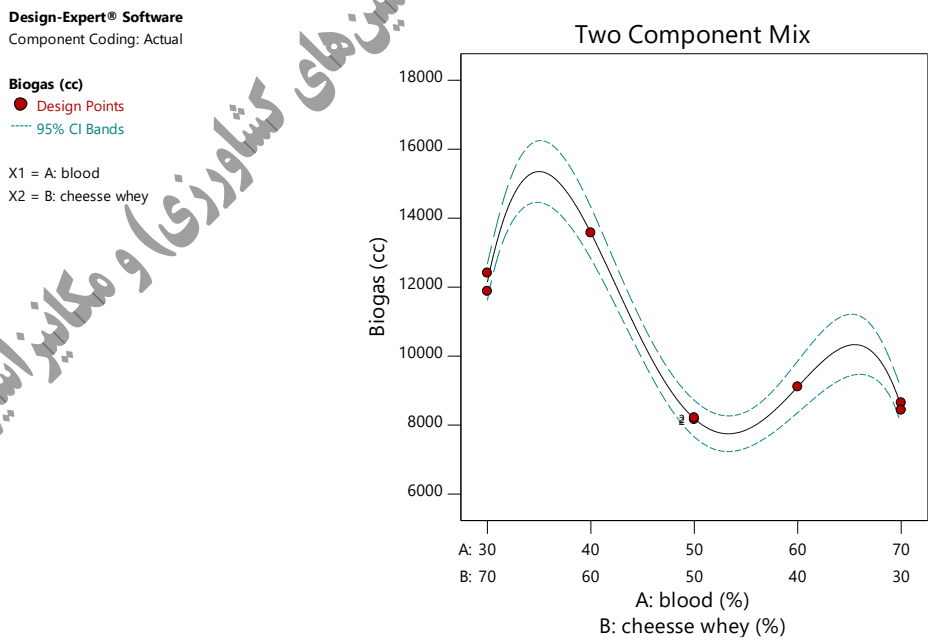

Figure 5. Model graph

شکل ۵- نمودار مدل

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۷-۳- بهینه‌سازی

در این بخش به منظور یافتن بهترین حالت اختلاط مواد سوبسترا و برای رسیدن به تولید بیشترین مقدار بیوگاز، حداکثر تابع مدل به دست می‌آید. با توجه به شکل (۶) نقاط قرمز نشان‌دهنده بهترین درصد مواد سوبسترا و نقطه آبی بیانگر میزان پیش‌بینی شده تولید بیوگاز در این نسبت اختلاط است. بر این اساس بهترین نسبت ترکیب خون با آب‌پنیر تقریبا ۶۵ : ۳۵ می‌باشد که منجر به تولید بیوگازی معادل با ۱۵۳۵۳/۴ میلی‌لیتر می‌شود.

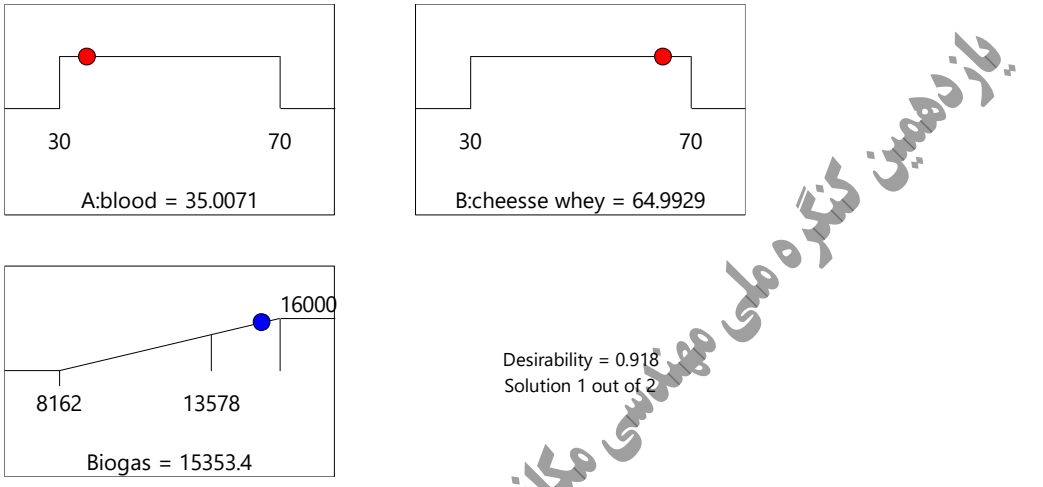

Figure 6. Ramps of the numerical optimization

شکل ۶- رمپ‌های بهینه‌سازی عددی

۴- نتیجه‌گیری

طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق خون گوسفند و آب‌پنیر می‌توانند مکمل خوبی در هضم بی‌هوازی ترکیبی به منظور بالا بردن میزان تولید بیوگاز باشند. علاوه بر این آب‌پنیر به سبب دارا بودن مضرات زیست‌محیطی شدید(COD بالا) به عنوان یکی از مهمترین پساب‌های کارخانه‌های تولید محصولات لبنی شناخته می‌شود. از این جهت می‌توان با مشارکت دادن این ماده در هضم بی‌هوازی علاوه بر تولید متان، به میزان زیادی از آسیب‌های آن را کاست. همچنین در انجام این هضم از آب استفاده نشده است و از این نظر، هضم از نوع خشک به حساب می‌آید و گزینه مناسبی برای ساخت راکتورهای کاربردی در مناطقی است که با مشکل کمبود آب مواجه هستند.

۵- مراجع

APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th Edition, American Public Health Association, Washington D.C.

Claassen, P. A. M., Van Lier, J. B., Contreras, A. L., Van Niel, E. W. J., Sijtsma, L., Stams, A. J. M., ... & Weusthuis, R. A. (1999). Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied microbiology and biotechnology*, *52*(6), 741-755.

Cuetos, F., Rodríguez, B., Ruano, E., Arribas, D., Navarrete, I., & Irazoqui, M. (2009). Prolec-r. *Ciencias psicológicas*, *3*(2), 243-244.

Haji Agha Alizadeh H, Seifi R, Radmard S A. (2016). Production of Methane from Food Waste Using Microwave Radiation: Investigating the Effects of Power, Exposure Time and Kinetics Process. *J Mazandaran Univ Med Sci, 26* (138), 170-180 (persian).

Lehtomäki, A., Huttunen, S., & Rintala, J. A. (2007). Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: effect of crop to manure ratio. *Resources, Conservation and Recycling*, *51*(3), 591-609.

Lobato, A., Cuetos, M. J., Gómez, X., & Morán, A. (2010). Improvement of biogas production by co-digestion of swine manure and residual glycerine. *Biofuels*, *1*(1), 59-68.

Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, *110*, 48-68.

Resch, C., Wörl, A., Waltenberger, R., Braun, R., & Kirchmayr, R. (2011). Enhancement options for the utilisation of nitrogen rich animal by-products in anaerobic digestion. *Bioresource technology*, *102*(3), 2503-2510.

Salminen, E., Rintala, J., Lokshina, L. Y., & Vavilin, V. A. (2000). Anaerobic batch degradation of solid poultry

slaughterhouse waste. *Water Science and Technology*, *41*(3), 33-41.
Valero, D., Montes, J. A., Rico, J. L., & Rico, C. (2016). Influence of headspace pressure on methane production in Biochemical Methane Potential (BMP) tests. *Waste management*, *48*, 193-198.
Wang, Z., & Banks, C. J. (2003). Evaluation of a two stage anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes. *Process Biochemistry*, *38*(9), 1267-1273.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران