بهینه‌سازی ترکیب همزمان هضم بی‌هوازی پسماند آلی جامد شهری با کود مرغی و کود گوسفندی با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مخلوط)

سیروان خالدیان[۱]، حسین حاجی‌آقا علیزاده[۲]، مجید رسولی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، sirvankhlediyan@gmail.com

[۲] استادیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان، h-alizde@basu.ac.ir

[۳] استادیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان، m.rasouli@basu.ac.ir

چکیده

با توجه به افزایش تقاضای انرژی و کاهش منابع سوخت فسیلی در جهان، هضم بی‌هوازی(AD) می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تبدیل ضایعات آلاینده به انرژی تجدید پذیر در قالب فرآورده‌های متان در نظر گرفته شود. در این مطالعه با استفاده از روش پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP[۲])، و روش‌شناسی سطح پاسخ (RSM[۳]) و طراحی مخلوط (Mixture) نسبت‌های مختلف سوبسترا ورودی به راکتور و تولید متان آن‌ها موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مونو هضم کود مرغی (CM[۴]) دارای میزان تجزیه زیستی بالاتر نسبت به ضایعات آلی جامد شهری (OFMSW[۵]) و کود گوسفندی (SM[۶]) است. مخلوط OFMSW و CM باعث بهبود در شرایط عملکردی هاضم مانند نسبت کربن به نیتروژن (C:N) و ماده خشک سوبسترا، PH محیط، تأمین مواد مغذی در دسترس باکتری‌ها، مهار ترکیبات سمی و درنتیجه افزایش تولید بیوگاز شد. آزمایش‌های صورت گرفته نشان دادند که پسماند آلی جامد شهری و ضایعات دامی به‌تنهایی قادر به تولید بیوگاز، به میزان بالا و قابل‌توجهی نمی‌باشند ولی این سه در تلفیق با یکدیگر مقدار قابل‌توجهی گاز را متصاعد می‌کنند. بیشترین مقدار تولید بیوگاز در بارگذاری ترکیب ۲۵٪ پسماند آلی جامد شهری و۵۰٪ کود مرغی و ۲۵٪ کود گوسفندی به دست آمد. درحالی‌که در بهینه‌سازی میزان پسماند آلی جامد شهری ۴۸/۴۳٪ و کود مرغی ۵۰٪ و کود گوسفندی ۱/۵۶٪ باشد میزان بیوگاز بهینه می‌شود.

کلمات کلیدی: هضم بی‌هوازی، بیوگاز، هضم ترکیبی، متان، روش سطح پاسخ.

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

نام و نام خانوادگی نویسنده: حسین حاجی‌آقا علیزاده تلفن:۰۹۱۸۱۱۱۳۸۳۰ h-alizde@basu.ac.ir

[1]Anaerobic Digestion
[2]Biochemical methane potential
[3]Respon sesurface
[4]Chicken manure
[5]Organic fraction municipality solid waste
[6]Sheep manure

Process Optimization and mixture of anaerobic co-digestion organic fraction municipality solid waste and chicken manure and sheep manure of for enhanced biogas yield in a mixedr using response Surface methodology (mixture design)

Sirvan khalediyan[1], Hossein haji agha alizadeh[2],Majed rasouli[3]
Masters student bu-ali sina University, sirvankhlediyan@gmail.com
Assistant Professor, bu-ali sina University, h-alizde@basu.ac.ir
Assistant Professor, bu-ali sina University, m.rasouli@basu.ac.ir

ABSTRACT

The world is facing several problems due to the growing energy demands and diminishing supplies of fossil fuels. Anaerobic digestion (AD) can be considered as one of the most important techniques to convert organic waste into renewable energy in the form of methane byproduct. In this study, using the method of biochemical methane potential (BMP), and response surface method (RSM) and mixture design, were investigated for different ratios of the substrate entering the reactor and their production of methane. The results showed that mono digestion of chicken manure (CM) has a higher biodegradation rate than Organic fraction municipality solid waste (OFMSW) and Sheep dung (SD). The OFMSW and CM mixtures improved the performance of the digester, such as the ratio of carbon to nitrogen (C: N) and dry matter substrate, pH of the environment, supply of nutrients available to bacteria, inhibition of toxic compounds and consequently increased biogas production. The highest amount of biogas production was obtained by loading 25% solid solid waste and 50% Chicken manure and 25% sheep manure. While biogas is optimized to optimize the solid organic solid waste content of %48/43 and Chicken manure of %50 and sheep manure of %1/56.

Keywords: Anaerobic Digestion, biogas, Anaerobic co-Digestion, methane, Response surface method.

۱- مقدمه

در چند دهه اخیر افزایش گازهای گلخانه‌ای و پسماندهای شهری و صنعتی به چالش و نگرانی بزرگی تبدیل‌شده است. با رشد جمعیت و افزایش مصرف انرژی همراه با استانداردهای بالای زندگی، یک چالش بزرگ در محدود کردن گازهای گلخانه‌ای و آلودگی ناشی از پسماندهای شهری و صنعتی وجود دارد. همچنین، انرژی‌های فسیلی موجود و قابل‌دسترس محدود هستند. درنتیجه به یک منبع انرژی دیگری برای جایگزینی انرژی‌های فسیلی نیاز است که مناسب‌ترین آن‌ها، انرژی‌های تجدید پذیر است(Iqbal, Rahaman, Rahman, & Yousuf, 2014). انرژی زیست‌توده یکی از انواع انرژی تجدید پذیر است و فضولات حیوانی یکی از منابع اصلی آن می‌باشند. گازی که از فضولات حیوانی به دست می‌آید شامل ترکیبات آلی فراری می‌باشد و با جمع‌آوری این گاز، مقدار قابل‌توجهی انرژی به دست می‌آوریم(haji agha alizde et al,2014).

۱-۱- هضم بی‌هوازی (AD)

هضم بی‌هوازی تبدیل کامل مواد آلی زیست‌تخریب‌پذیر به متان، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن، آمونیاک و زیست‌توده به باکتری جدید است. بااین‌حال، تنها در صورتی متان تولید می‌شود که باکتری‌های متانوژن در تجزیه بی‌هوازی دخیل باشند. AD، فرایند بیوشیمیایی تولید بیوگاز است که می‌تواند مواد آلی پیچیده را به یک منبع پاک و تجدید پذیر تبدیل کند(Roy Hendroko et al., 2013). AD توسط میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شود و به عوامل مختلف مانند pH، دما، زمان‌ماند هیدرولیکی (HRT[1]) ، نسبت C/N و غیره بستگی دارد(Abdelsalam et al., 2017). محدوده مطلوب pH برای به دست آوردن تولید بیوگاز حداکثر در ۶/۸-۷/۲ است درروند AD، میکروارگانیسم‌های متانوژنز بسیار حساس به تغییرات pH هستند و pH حدود ۷/۰ را ترجیح می‌دهند(Hagos, Zong, Li, Liu, & Lu, 2017). رابطه بین مقدار کربن و نیتروژن موجود در مواد آلی به‌صورت نسبت C/N بیان می‌شود. مقدار C/N در محدوده ۲۵-۳۰، مقدار بهینه برای هضم بی‌هوازی می‌باشد که نسبت ۲۵ بیشترین استفاده را داشته است (Mao, Feng, Wang, & Ren, 2015).

[1]Hydraulic Retention Time

۲-۱- هضم بی‌هوازی ترکیبی (AcoD)

هضم بی‌هوازی ترکیبی (AcoD)، هضم بی‌هوازی همزمان دو یا بیشتر از دو سوبسترا است که یک روش امیدوارکننده برای غلبه بر معایب هضم مونو و بهبود رضایت اقتصادی هاضم AD به‌منظور تولید متان بیشتر است مزیت اصلی فرآیند AcoD بهبود تولید بیوگاز و تولید متان است(Hagos et al., 2017).

۳-۱- دما

دما اثر حیاتی بر روی رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها دارد. دما در طول فرآیند هضم بی‌هوازی بر روی عملکرد بیوگاز، واکنش‌های ترمودینامیکی استوژن و واکنش‌های متانوژن مؤثر است به‌طورکلی، دماهای بالاتر موجب فعالیت سوخت‌وساز بیشتر می‌شود(Bowen, Dolfing, Davenport, Read, & Curtis, 2014). هضم بی‌هوازی می‌تواند تحت شرایط رشد در درجه حرارت سایکروفیلیک (۲۰ > درجه سانتی‌گراد)، مزوفیلیک (۲۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد) یا ترموفیلیک (۶۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شود اگرچه تجزیه زیستی در شرایط مزوفیلی شایع است. اما این باعث افزایش تصفیه بی‌هوازی و تخریب بیشتر پاتوژن‌ها می‌شود(Abdelsalam et al., 2017).

۶-۱- ماده تلقیح

افزایش نسبت مایهٔ تلقیح به سوبسترا موجب افزایش متانوژن‌های فعال می‌شود. همچنین افزایش نسبت سوبسترا به مایهٔ تلقیح زمان فاز تأخیر رشد متانوژن‌ها را کاهش می‌دهد. بازدهی تولید متان به اجزاء واحد سوبسترا با افزایش نسبت مایهٔ تلقیح به سوبسترا از ۰ تا ۲ افزایش می‌یابد(Zeng, Yuan, Shi, & Qiu, 2010).

هدف از این تحقیق به دست آوردن ترکیب مناسب جهت تولید حجم بیشتر بیوگاز از پسماند آلی جامد شهری، کود مرغی و کود گوسفندی و اصلاح PH و نسبت C/N می‌باشد.

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه سوبسترا

به توجه به ترکیبات پسماند جامد شهری این پسماند به‌صورت مصنوعی در آزمایشگاه آماده گردید. در ابتدا ضایعات میوه در میدان میوه و تره‌بار همدان که شامل پوست میوه‌های پرتقال، نارنگی، سیب‌درختی ، موز ،کاهو، هویج، میوه‌های فاسد شده و ... بود را به محیط آزمایشگاه منتقل و آن‌ها را جهت همگن شدن در یک چرخ‌گوشت چرخ‌کرده و مواد حاصله کاملاً باهم مخلوط شدند. و همچنین پسماند مواد غذایی را از سلف مرکزی دانشگاه بوعلی سینا جمع‌آوری کرده و به آزمایشگاه انتقال داده شد و پسماند غذایی را که شامل برنج، نان، لوبیا، گوشت، سویا، سیب‌زمینی، سبزی و ... بود به مدت نیم ساعت مخلوط کرده و در دستگاه خردکن آسیاب شده و کاملاً به یک اندازه خرد شد و برای آماده‌سازی پسماند غذایی با پسماند میوه آن‌ها را ترکیب کرده و به مدت یک ساعت در دستگاه مخلوط‌کن برای میکس شدن هم زده شد. و همچنین کود گوسفندی و کود مرغی را از دامداری و مرغداری دانشگاه جمع آورده و تهیه گردید.

جدول ۱: خصوصیات سوبسترا ورودی.

Table 1: Characteristics of substrate entry.

	Measuring factors					
Type of Material	TS (%)	VS (%)	%C	%N	C:N	pH
Organic fraction municipality solid waste	29.20	7.10	32.2	1.78	18.1	4.86
Chicken manure	76.10	9.50	88.35	5.67	6.35	7.03
Sheep manure	7.32	27.61	38.36	2.84	13.50	6.72

برای اندازه‌گیری جامدات کل(TS) و کل جامدات فرار(TVS) و نسبت کربن به نیتروژن (C:N) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند(Association, Association, Federation, & Federation, 1915).

۵-۲- راه‌اندازی آزمایش

برای انجام آزمایش هضم بی‌هوازی از بن ماری ۱۰ لیتری مدل WNB 10L1 ساخت کمپانی ممرت آلمان با دقت دمایی۰/۳ ±°C استفاده شد که دارای شیکر و تنظیم سرعت مشخص برای هم زدن هاضم می‌باشد. شیشه‌های آزمایشگاهی استفاده‌شده دارای حجم یک لیتری که روی درب هرکدام از شیشه‌ها دو سوراخ ایجادشده و شیرهای پنوماتیکی(فیتینگ) روی درب قرار گرفت. که یک شیر جهت نمونه‌برداری در آن ایجادشده و

[1]Anaerobic co-Digestion

شیر دیگر برای خارج شدن گاز تولیدی از هاضم می‌باشد. در این مطالعه حجم گاز تولیدشده با روش جابجایی آب اندازه‌گیری شد. که حجم گاز تولیدشده با آب خروجی از راکتور آب، برابر است. هر هاضم به‌وسیله یک لوله پلاستیکی (لوله گاز) به داخل راکتورهای آب (بطری‌های شیشه‌ای) متصل شده بود که گاز تولیدشده را به داخل محفظه آب منتقل می‌کرد. یکی دیگر از لوله‌های پلاستیکی (لوله آب) برای جابجایی آب جابه‌جاشده از راکتور آب به شیشه استوانه مرج استفاده می‌شود(Tasnim, Iqbal, & Chowdhury, 2017). و برای آب‌بندی کامل درب شیشه‌ها و اطمینان حاصل کردن از آن، آن را با چسب آهن که حرارت ۳۶۰ درجه را تحمل می‌کند آب‌بندی کردیم.

به‌منظور تعیین مقدار گاز متان، و تصفیه بیوگاز می‌توان بیوگاز را از داخل محلول NaOH 2N (حل کردن ۲۰۰ گرم NaOH در یک لیتر آب مقطر) عبور داده شود و دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن موجود در بیوگاز جذب محلول می‌شود(Esposito, Frunzo, Liotta, Panico, & Pirozzi, 2012). و برای اندازه‌گیری PH از pH سنج (ساخت شرکت Lutron Electronic Enterprise، مدل 230 SD، کشور تایوان) استفاده شد.

Figure 1: Measurement of biogas by water displacement method (Drosg 2013).

شکل ۱: اندازه‌گیری بیوگاز به روش جابجایی آب(**Drosg, 2013**).

۲-۶- روش پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP)

آزمایش‌های پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP) به‌طور گسترده برای تعیین تجزیه بی‌هوازی و غلظت زیستی در مواد مختلف مورداستفاده قرارگرفته است که می‌تواند توسط هضم بی‌هوازی به متان تبدیل شود. همچنین می‌تواند اطلاعات ضروری را برای محققین فراهم کند تا بتواند بهترین روش را برای مخلوط کردن بسترها، برای فرآیند هضم همزمان تعیین کند. آزمون BMP روش مناسبی برای تعیین مناسب بودن بسترهای مورداستفاده در فرآیند تولید بیوگاز می‌باشد(Hagos et al., 2017).

۲-۷- روش انجام آزمایش

در این مطالعه سعی بر این بود تا با استفاده از سه تیمار :پسماند آلی جامد شهری با اختلاط کود مرغی و کود گوسفندی به نسبت‌های مختلف و پتانسیل تولید بیوگاز در بهترین ترکیب مورد ارزیابی قرار بگیرد. نسبت اختلاط ماده‌ها بر اساس وزن و مقدار مشخص‌شده هر ماده می‌باشد. قبل از بارگذاری موادی که قبلاً آماده‌شده بود با اضافه کردن ۱۰cc ماده تلقیح به مدت پنج دقیقه هم زده‌شده تا آماده بارگذاری گردد. و هرکدام از ماده‌ها رو بر اساس مقداری مشخص‌شده وارد راکتور شد و قبل از بسته شدن درب هر راکتور pH آن اندازه‌گیری شد. و برای اطمینان از بی‌هوازی بودن هر راکتور تست‌شده و در داخل هر راکتور مقدار ۲۰۰cc گاز متان تزریق‌شده تا راکتور عاری از اکسیژن و گازهای دیگر باشد و درنهایت راکتور داخل بن ماری قرار گرفت.

دمای داخل هاضم در تمامی آزمایش‌ها توسط ترموستات دیجیتال در شرایط مزوفیلیک (36-38 ° C) تنظیم و داخل شیشه‌های هاضم دارای ۱± اختلاف دمایی می‌باشد و مواد داخل آن به ازای هر ۲۴ ساعت به مدت ۱۰ دقیقه هم زده می‌شود. برای هر تیمار در طول فرآیند pH هر سه روز یک‌بار، و حجم گازهای تولیدی به‌صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شد.

۲-۸- طراحی آزمایش

روش (RSM) یک مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری یکپارچه برای طراحی تجربی، ساخت مدل و تعیین اثرات عوامل مستقل است. RSM تعداد آزمایش‌های تجربی موردنیاز در آزمایش‌های چند فاکتور را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، بسته به ترجیحات آزمایشگر در مورد افزایش پارامترهای ورودی، پاسخ‌های مربوطه را می‌توان با در نظر گرفتن معیارهایی مانند بیشترین مقدار موردنظر (ارزش هدف)، حداکثر سازی یا حداقل سازی، بهینه‌سازی کرد. RSM یک روش مؤثر برای تحلیل و تعیین اثرات در آزمایش‌های چند فاکتور است(Buruk Sahin, Aktar Demirtaş,

(& Burnak, 2016).

در بسیاری از موارد، تعیین نسبت برای دستیابی به خروجی موردنظر مهم است. روشMixture یک روش از RSM است روشی بسیار مؤثری برای تعیین نسبت متغیرهای(ترکیبات) یک ترکیب است. که در آن عوامل سازنده‌ی یک مخلوط و پاسخ‌ها متفاوت است زیرا نسبت‌ها متفاوت هستند، یعنی پاسخ توسط تغییرات نسبت‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فرمول زیر مقادیر کد شده و جدول (۲) مقادیر واقعی ماتریس‌های تجربی را برای استفاده از این طرح‌ها، مرتب‌شده بر اساس سفارش استاندارد ارائه می‌دهد. پارامترهای مدل با استفاده از معادلات خطی به‌صورت زیر محاسبه شدند:

$$\gamma = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1<i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} \beta_{iii} x_i^3 + \sum_{1<i<j} \beta_{iij} x_i^2 x_j + \sum_{1<i<j} \beta_{iij} x_i x_j^2 + \sum_{1<i<j<k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \varepsilon$$

جایی که Y مقدار پیش‌بینی‌شده از متغیر پاسخ است. k تعداد متغیرها است،β_0، β_i، β_{ii}، β_{ij}، β_{iii}، β_{iij}، β_{ijk}، پارامترهای مدل و x_i، x_j، x_k، عوامل کدگذاری شده و ε باقی‌مانده مرتبط با آزمایش‌هاست (Rasouli, Ajabshirchi, Mousavi, Nosrati, & Yaghmaei, 2015). و درنهایت برای طراحی آزمایش‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Design Expert استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اجزاء مخلوط و مدل‌های رگرسیون مناسب

جدول(۲) برای تجزیه‌وتحلیل واریانس (ANOVA) مورد ارزیابی قرار گرفت، که نشان می‌دهد که رگرسیون‌ها ازلحاظ آماری معنی‌دار هستند. همان‌طور که در جدول(۲)نشان داده‌شده، مقدار F-values برای مدل خطی (Linear) ۱۶/۱۷ و مقدار P- values در اینجا ۰/۰۰۲۴است مقادیر P کمتر از ۰/۵۰۰ نشان‌دهنده مطلوبیت مدل هستند. مقادیر بیش از ۰/۱۰۰۰ نشان می‌دهد که اصطلاحات مدل معنی‌دار نیستند. در جدول(ANOVA) بهترین مدل برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها مدل خطی(Linear) است که نرم‌افزار پیشنهاد می‌دهد. طبق این جدول مدل خطی داری رگرسیون اصلاح‌شده‌ی ۰/۷۷ می‌باشد.

جدول۲: نتایج آماری ANOVA برای مدل خطی.

Table2: Statistical results of the ANOVA for linear models.

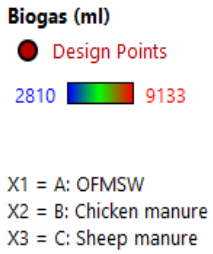
source	Sum of squares	df	Mean square	F-values	P- values	
Model	4.630E+07	2	2.315E+07	16.17	0.0024	significant
(1)Linear	4.630E+07	2	2.315E+07	16.17	0.0024	
Mixture						
Residual	1.002E+07	7	1.432E+06			
Cor Total	5.632E+07	9				

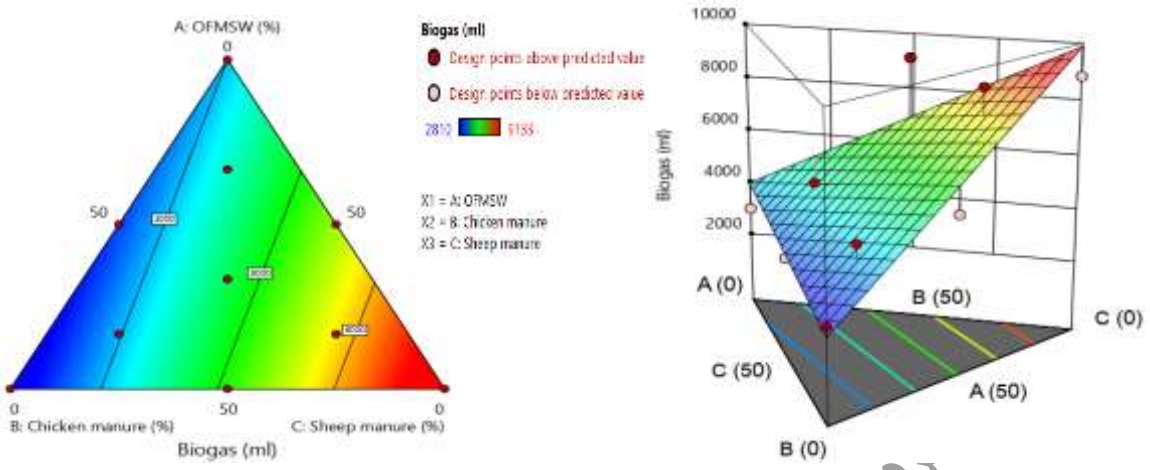
معادله کدگذاری می‌تواند برای پیش‌بینی پاسخ برای سطوح داده‌شده از هر عامل مورداستفاده قرار گیرد و تأثیر نسبی عوامل را با مقایسه ضرایب عامل انجام شود. پاسخ ازنظر فاکتورهای کدگذاری شده توسط نرم‌افزار می‌تواند به شرح زیر باشد:

y_{1p}= +4001.08A +2447.08B +9893.74C

۳-۲- تأثیر بارگذاری بر عملکرد هاضم

در شکل شماره (۲) روند تغییرات میزان گاز تولیدی در بارگذاری‌های گوناگون نشان داده‌شده است. که بارگذاری با ترکیب‌های مختلف پسماند آلی جامد شهری، کود مرغی و کود گوسفندی انجام شد. که این تحقیق نشان داد با اضافه کردن کود مرغی و پسماند آلی جامد شهری تا یک حدی و کم کردن کود گوسفندی میزان بیوگاز به‌صورت قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. طرح کانتور، یک دیدگاه دوبعدی را فراهم می‌کند که در آن تمام نقاط با همان پاسخ متصل می‌شوند تا خطوط کنترلی پاسخ‌های ثابت تولید شوند. طرح سطح پاسخ، یک دیدگاه سه‌بعدی را فراهم می‌کند که می‌تواند تصویر واضح‌تری از سطح پاسخ را فراهم کند. با افزایش بارگذاری بیشتر از ۶۰٪ پسماند آلی جامد شهری، روند صعودی تولید بیوگاز متوقف‌شده و میزان بیوگاز تولیدی به‌اندازه چشمگیری کاهش یافت. این کاهش به دلیل تجمع اسیدهای فرار و افزایش میزان اسیدهای چرب و درنتیجه کاهش pH تا میزان ۶٫۲ است. باکتری‌های متان ساز در pHهای پایین فعالیت باکتری‌های متان ساز کاهش و فعالیت باکتری‌های اسیدساز افزایش می‌یابد.





الف: نمودار سطح پاسخ (3D) **ب: نمودار کانتور (contour)**

شکل۲ : نمودارهای سطح پاسخ (الف) و کانتور(ب) برای لگاریتم بازدهی بیوگاز برحسب عوامل مؤثر.

Figure 2: Response surface plot (a) and Contour plots (b) showing the effective on biogas.

۳-۳- نمودار باکس کاکس

نمودار باکس کاکس ابزاری برای کمک به تشخیص مناسب‌ترین تابع انتقال توانی به‌منظور اعمال بر پاسخ می‌باشد. پایین‌ترین نقطه در نمودار باکس کاکس بهترین مقدار لاندا را که در آن حداقل مجموع مربعات مانده در مدلِ تبدیل‌شده ایجاد می‌شود را نشان می‌دهد. هنگامی‌که نسبت حداکثر به حداقل مقدار پاسخ، بزرگ‌تر از سه باشد توانایی بیشتری در بهبود مدل با استفاده از تابع توانی وجود خواهد داشت. همچنین در این نمودار محدوده اطمینان ۹۵٪ نیز نشان داده‌شده است(شکل۴، الف).

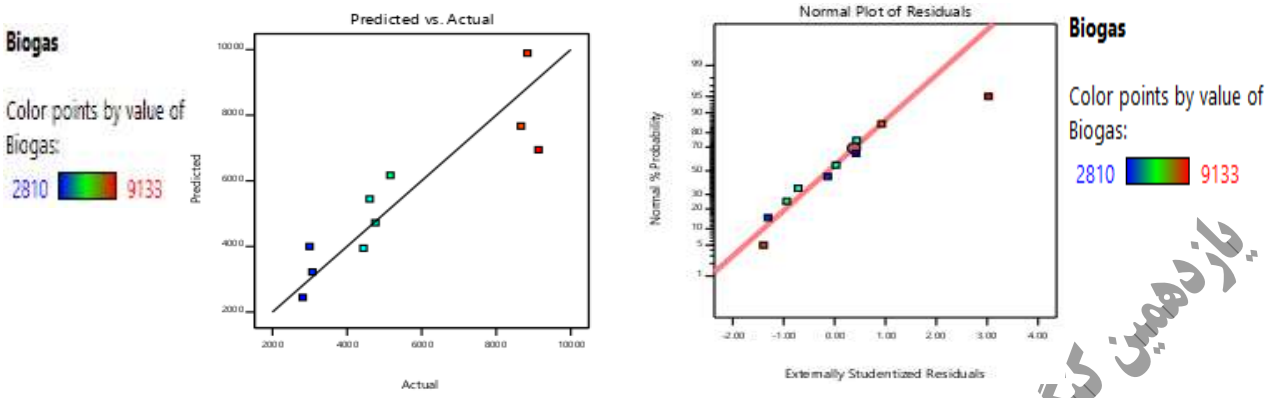
۴-۳-نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده

هرگاه نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل آورده شد. این نمودار مقادیر پاسخ پیش‌بینی‌شده در مقابل مقادیر واقعی را برای کمک به این تشخیص مقادیر یا گروهی از مقادیر که توسط مدل پیش‌بینی‌نشده است را نشان می‌دهد(شکل۳، ب).

۵-۳- نمودار پرشیدگی

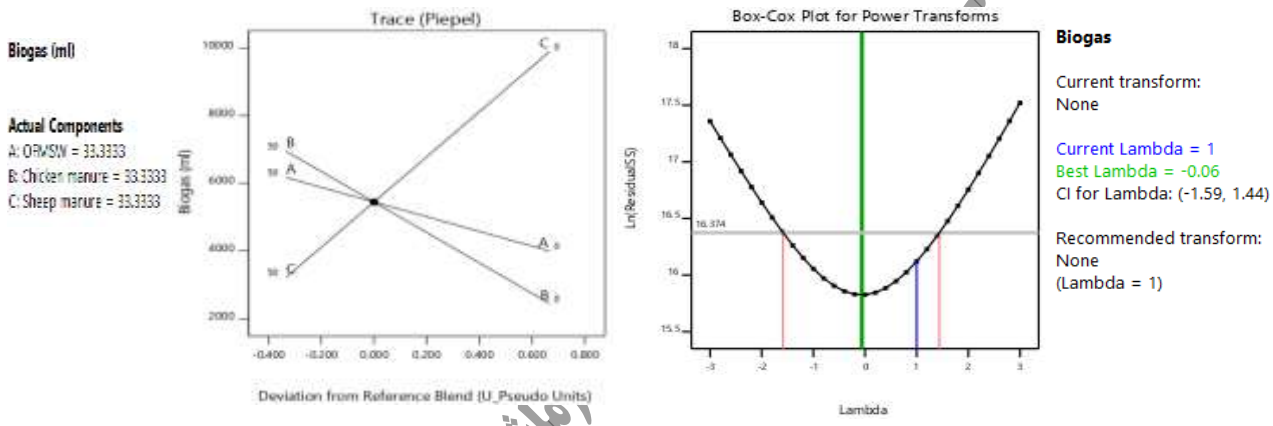
نمودار پرشیدگی یا اغتشاشی مدل آورده شده است. نمودار پرشیدگی، مقایسه اثر همه پارامترها در یک نقطه خاص از فضای طراحی را امکان‌پذیر می‌کند. نقطه مرجع در نقطه میانی تمام عوامل که با کد صفر مشخص گردیده قرار داده‌شده است. شیب یا انحنای تند یک پارامتر نشان می‌دهد که پاسخ، به این پارامتر حساس است. که در این نسبت به کود گوسفندی حساس می‌باشد. خط نسبتاً صاف، غیر حساس بودن پاسخ را به تغییر در آن عامل خاص نشان می‌دهد. که در اینجا پسماند آلی جامد شهری و کود مرغی غیر حساس می‌باشد. باید دانست که در این نمودار اثر برهم‌کنش‌ها قابل‌مشاهده نمی‌باشد(شکل۴، ب).

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



شکل۳: مقدار بیوگاز باقی‌مانده (الف)، مقادیر بیوگاز پیش‌بینی‌شده بر مقدار واقعی(ب).

Figure 3: Biogas values externally studentized residuals (a) and Biogas values predicted vs. Actual (b).



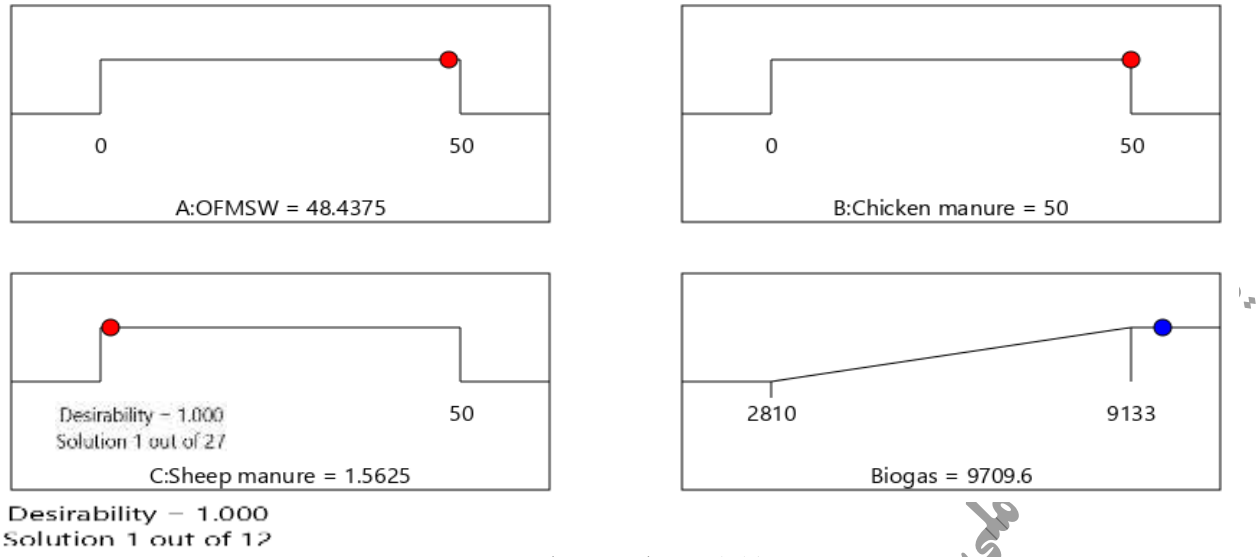
شکل۴: منحنی باکس-کاکس برای تعیین درجه تابع مدل(الف)، انحراف از نقطه مرکزی(ب).

Figure 4: Box-Cox curve to determine the degree of function of the model (a) and deviation from the central point(b).

۷-۳- بهینه‌سازی فرآیند

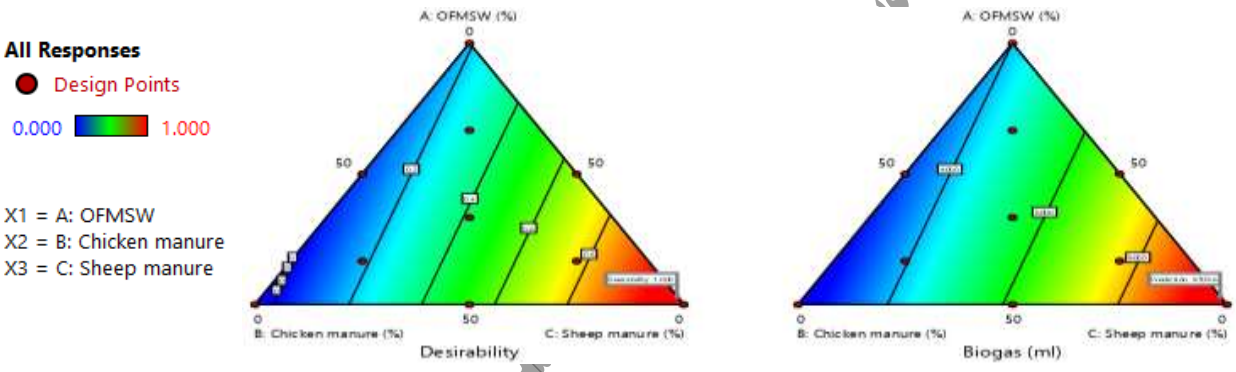
به‌منظور پیش‌بینی بهترین سطوح فاکتورهایی که تولید و عملکرد بیوگاز را به حداکثر می‌رساند، تابع بهینه‌سازی شامل حداکثر سازیY1p، است. بهینه‌سازی عددی ارائه‌شده توسط Design-Expert به مجموعه داده RSM و سپس رمپ‌های بهینه‌سازی عددی به کار گرفته‌شده می‌باشد. مطالعه عددی فاکتورهای ایده آل برای دستیابی به بالاترین میزان تولید و عملکرد بیوگاز را ارائه می‌دهد. وقتی‌که میزان پسماند آلی جامد شهری ۴۸٪/۴۳ و کود مرغی ۵۰ ٪ و کود گوسفندی ۱/۵۶٪ باشد میزان بیوگاز بهینه می‌شود، که بیوگاز تولیدی با این مخلوط در این فرآیند بهینه‌سازی، و حداکثر مقدار تولید بیوگازی به ۹۷۰۹/۶ میلی‌لیتر می‌رسد. و زمانی که کود گوسفندی زیاد و کود مرغی و همچنین پسماند آلی جامد شهری کم شود انتظار می‌رود میزان تولید حجم بیوگاز کاهش یابد، چون میزان کود مرغی آن کاهش می‌یابد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل۵: رمپ‌های بهینه‌سازی عددی.

Figure 5: Ramps of the numerical optimization.

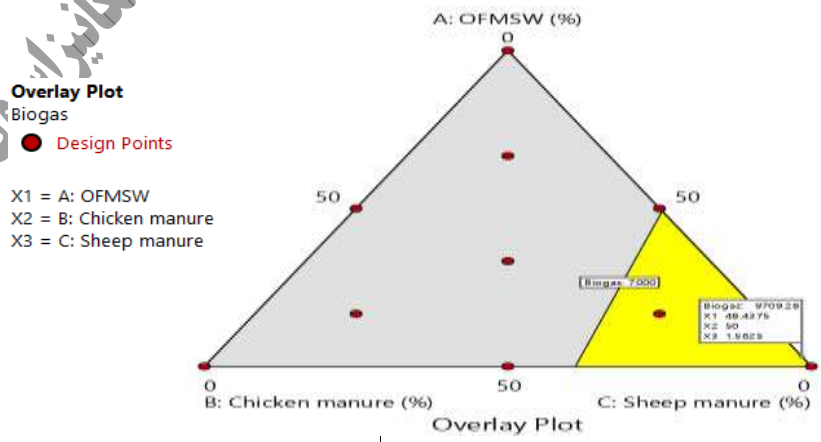


شکل۶ : نمودار سطح پاسخ (3D) برای بهینه‌سازی طرح مخلوط.

Figure 6: Response Level Chart (3D) for optimization of the mixture.

۸-۳- نمودار طرح پوشش(Overlay Plot)

در این نمودار ما می‌توانیم مقدار بیوگاز را تعیین کرده تا نقاطی را که در آنجا بیوگاز مساوی و بیشتر از عدد تعیین‌شده می‌باشد را پوشش داد و درواقع بیوگاز $\geq$ عدد تعیین‌شده می‌باشد. که در اینجا محدوده‌ی بیوگاز بیشتر از ۷۰۰۰ میلی‌لیتر مشخص شد و درواقع نقاطی را که در این محدوده قرار می‌گیرد میزان تولید بیوگاز آن مساوی و بیشتر از ۷۰۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد. و مطابق شکل برای رسیدن به ترکیب مناسب جهت تولید بیوگاز موردنظر و با انتخاب کردن نقطه‌ای در قسمت پوشش داده‌شده راحت‌تر مشخص می‌شود.



شکل۷: نمودار طرح پوشش.

Figure7: Chart overlay plot.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق انجام‌شده، پسماند آلی جامد شهری و پسماند واحدهای مرغداری و دامداری به دلیل دارا بودن بار آلی، منبع مناسبی برای تولید بیوگاز است. با استفاده از آزمون پتانسیل متان بیوشیمیای (BMP)، ترکیب پسماند آلی جامد شهری ۲۵٪ و کود مرغی ۵۰٪ و ۲۵٪ کود گوسفندی نسبت به سایر ترکیب‌های دیگری که موردبررسی قرارگرفته بود، تولید بیوگاز آن به میزان قابل قبولی برخوردار بود. این در حالی است که این ترکیب باعث بهبود در شرایط عملکردی هاضم مانند نسبت کربن به نیتروژن (C:N) و ماده خشک سوبسترا، PH محیط، تأمین مواد مغذی در دسترس باکتری‌ها، مهار ترکیبات سمی و درنتیجه افزایش تولید بیوگاز شد. در بهینه‌سازی میزان پسماند آلی جامد شهری ۴۸/۴۳٪ و کود مرغی ۵۰ ٪ و کود گوسفندی ۱/۵۶٪ باشد میزان بیوگاز بهینه می‌شود.

۵- مراجع

Journal Article:

Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Abdel-Hadi, M. A., Hassan, H. E., & Badr, Y. (2017). Effects of Co and Ni nanoparticles on biogas and methane production from anaerobic digestion of slurry. *Energy Conversion and Management, 141*, 108-119. doi:10.1016/j.enconman.2016.05.051

Association, A. P. H., Association, A. W. W., Federation, W. P. C., & Federation, W. E. (1915). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 2): American Public Health Association.

Bowen, E. J., Dolfing, J., Davenport, R. J., Read, F. L., & Curtis, T. P. (2014). Low-temperature limitation of bioreactor sludge in anaerobic treatment of domestic wastewater. *Water Science and Technology, 69*(5), 1004-1013.

Buruk Sahin, Y., Aktar Demirtaş, E., & Burnak, N. (2016). Mixture design: A review of recent applications in the food industry. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 22*(4), 297-304. doi:10.5505/pajes.2015.98598

Drosg, B. (2013). *Process monitoring in biogas plants.* Paper presented at the IEA Bioenergy Task.

Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Bio-methane potential tests to measure the biogas production from the digestion and co-digestion of complex organic substrates. *The Open Environmental Engineering Journal, 5*(1).

Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, C., & Lu, X. (2017). Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76*, 1485-1496.

Hossein haji agha alizade, seyed abbas radmard, Feizolah rahimi sardari.(2014). Effect Of Reactor Temperature On The Rate Of Biogas Production From Quail Manure.

Iqbal, S. A., Rahaman, S., Rahman, M., & Yousuf, A. (2014). Anaerobic digestion of kitchen waste to produce biogas. *Procedia Engineering, 90*, 657-662.

Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45*, 540-555.

Roy Hendroko, S., Wahono, S. K., Praptiningsih, G., Salafudin, A. S. Y., Wahyudi, I., & Dohong, S. (2013). The Study of Optimization Hydrolysis Substrate Retention Time and Augmentation as an Effort to Increasing Biogas Productivity from Jatropha curcas Linn Capsule Husk at Two Stage Digestion can be grouped into two main stages.

Rasouli, M., Ajabshirchi, Y., Mousavi, S. M., Nosrati, M., & Yaghmaei, S. (2015). Process optimization and modeling of anaerobic digestion of cow manure for enhanced biogas yield in a mixed plug-flow reactor using response surface methodology. *Biosci Biotech R Asia, 12*, 2333-2344.

Tasnim, F., Iqbal, S. A., & Chowdhury, A. R. (2017). Biogas production from anaerobic co-digestion of cow manure with kitchen waste and Water Hyacinth. *Renewable Energy, 109*, 434-439. doi:10.1016/j.renene.2017.03.044

Zeng, S., Yuan, X., Shi, X., & Qiu, Y. (2010). Effect of inoculum/substrate ratio on methane yield and orthophosphate release from anaerobic digestion of Microcystis spp. *Journal of Hazardous Materials, 178*(1-3), 89-93.

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