

بهینه سازی فرآیند هضم بی هوازی پسماند جامد در یک راکتور با روش

Linear programming

مehشید پورنظری

دانشجوی کارشناسی ناپیوسته مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست

احسان خوش بیان

کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

چکیده

بیوگاز یکی از عمده ترین محصولات ناشی از فرآوری پسماند جامد آلی بوده که اخیرا به شدت مورد توجه کشورهای جهان به ویژه کشورهای پیشرفته قرار گرفته است، محصول هضم بی هوازی گازی با انرژی حرارتی متوسط به نام بیوگاز می باشد. بهینه سازی این فرآیند در مقالات مختلف با روش های گوناگون انجام گرفته است، در این مقاله به کمک روش مدل سازی خطی با محاسبه اجزای هر پسماند برای تنظیم آمیختن و وارد کردن محدودیت های پیشنهادی و محاسبه مقدار محدودیت های تئوری با توجه به مشخصات سوپسترا، متغیرهای تاثیرگذار بر هضم بی هوازی بهینه سازی شده است. برنامه نویسی خطی یک روش با کاربرد آسان و دقت مناسب برای محاسبه متان از پسماندهای ترکیبی مختلف است. نوع ماده تجزیه کننده بر روی تولید متان تاثیرگذار است برای رسیدن به حداکثر سوپسترا، ترکیب درصد پیشنهادی پسماند ماهی و فضولات مرغداری اضافه شده به کود گاوی باید حدود ۱۰ تا ۱۵٪ باشد. بیشترین تجزیه سوپسترا ۲۹۷ لیتر متان بر کیلوگرم COD می باشد که از ترکیب ۶۰٪ کود گاوداری و ۲۰٪ پسماند ماهی و ۲۰٪ پسماند فضولات مرغداری بدست می آید.

کلید واژه: بهینه سازی ، هضم بی هوازی ، برنامه نویسی خطی ، متان

مقدمه

تکنولوژی هضم بی هوازی پسماند جامد آلی از اروپا آغاز گشت و امروزه با ۲۲۰ واحد کامل عملیاتی سالانه حدود ۶ میلیون تن تولید دارد، (Shanmugam, et al., 2009, 473) اما این یک مقدار متوسط است و تنها ۳۷/۵٪ تمام زباله های بیولوژیکی وارد فرآیندهای مختلف می شوند و باقی آنها دست نخورده باقی می ماند. (De Baere, et al., 2006, 190) هضم بی هوازی

پسماندهای ترکیبی دارای مزیت‌های بیولوژیکی، تکنولوژیکی و اقتصادی است. و می‌تواند باعث اصلاح هضم بی‌هوازی پسماندهای آلی به صورت خالص باشد. (Chen, Y, et al., 2008, 4045) به طور کلی در آمریکا و اکثر قسمت‌های کالیفرنیا دفن کردن ضایعات جامد کم هزینه‌ترین روش مدیریت پسماند جامد است. از این رو بر خلاف اروپا و ژاپن که فضای جدید برای دفن پسماند کم‌یاب است، سیاست‌های مدیریت پسماند کمتر سختگیرانه است. (Zhang, et al., 2008, 8) از نظر تولید بیوگاز در ابتدا کشور آلمان در صدر جدول است و سپس به ترتیب انگلستان، ایتالیا، اسپانیا، فرانسه، هلند، استرالیا و دانمارک کشورهای موفق در تولید بیوگاز هستند. هضم بی‌هوازی پسماند ترکیبی در راکتورهای کود دامی می‌تواند تولید متان را ۳۰۰-۷۰٪ وابسته به شرایط عملیاتی و نوع پسماندهای ترکیب شده افزایش دهد. (Amon, et al., 2006, 219) از نظر پیشرفت این تکنولوژی تعداد واحدهای کامل عملیاتی هضم بی‌هوازی از کود دامی و پسماندهای آلی صنعتی در دانمارک و آلمان افزایش یافته است. (Angelidaki, et al., 2003, 97) علاقه‌مندی به این تکنولوژی در بین کشورها مخصوصاً در اروپا در حال افزایش است و از آن در تولیدات بیوانرژی استفاده می‌شود. از نقطه نظر دیگر کاملاً مشخص شده که هضم بی‌هوازی پسماند آلی یک پسماند جدید نیمه مایع تولید می‌کند، (Soldano, M, et al., 2007, 96) این محصول هضم شده می‌تواند بعد از تثبیت بیولوژیکی با فرآیند کمپوست برای استفاده در کشاورزی مفید باشد. (Burton, C, et al., 2003, 281) هضم با پسماند ترکیبی یک فرآیند بی‌هوازی محسوب می‌شود که از ترکیب ۲ پسماند مختلف با هدف بهتر کردن راندمان فرآیند هضم انجام می‌شود. بنابراین برای بیشینه تولید متان خیلی با اهمیت است که ۲ ماده مناسب با هم مخلوط شوند، (Callaghan, F.J, et al., 1999, 121) همچنین باید از فرآیندهای اضافی اجتناب کنیم تا بیشترین تولید بیوگاز را داشته باشیم. اصلی‌ترین بخشی که در هضم پسماندهای ترکیبی مطرح می‌شود، تعادل چندین پارامتر اختلاط از قبیل ریز سنجی‌های^۱ ماکرو و میکروسکپی، نسبت کربن به نیتروژن^۲، PH، اجزای سمی و بازدارنده^۳ و اکشن، مواد قابل تجزیه، مواد آلی و مواد خشک است. (Hartmann, et al., 1993, 7) بهینه‌ترین مقدار کربن به نیتروژن و COD^۴ به نیتروژن به ترتیب ۱۵ و ۸۵ است، این اعداد برای بهتر اجرا شدن فرآیند هضم بی‌هوازی پیشنهاد شده‌اند. (Turner, et al., 2003, 281) به هر حال کمترین مقدار نرخ کربن به نیتروژن بین ۵ و ۸ گزارش شده، که برای پسماندهای غنی از نیتروژن مناسب است. (Mshandete, A, et al., 2004, 20) آستانه محدودیت‌های آمونیاک آزاد و آمونیاک کل بین ۱.۲ و ۵ گرم نیتروژن بر لیتر گزارش شده که مربوط به فضولات مرغداری و گاوداری است. (Hansen, et al., 1998, 11) هنگامی که مقدار زیادی ماده آلی بارگذاری می‌شود، برای جلوگیری از کاهش PH که توسط جمع شدن اسیدهای چرب فرار بوجود می‌آید خصلت قلیایی مورد نیاز است. (Lehtomäki, et al., 2007, 601)

هضم بی‌هوازی در بازه وسیعی از مقادیر قلیایت وابسته به سوسترای استفاده شده عمل می‌کند، که این مقدار از ۳۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰ میلی‌گرم کلسیم کربنات^۵ به لیتر تغییر می‌کند. (Gelegenis, J, et al., 2007, 660) به مطالعه میزان تولید متان از انواع

^۱ Nutrient
^۲ C/N
^۳ inhibitors/toxic compounds
^۴ Chemical Oxygen Demand
^۵ CaCO₃

کودهای حیوانی در سیستم‌های ناپیوسته پرداخته‌اند. پتانسیل متان مخصوص^۶ در حدود 248 ± 41 و 456 ± 28 و 375 ± 36 لیتر متان بر کیلوگرم VS^y به ترتیب برای کودگوداری، پسماند ماهی و فضولات مرغداری است. پتانسیل متان کود توسط ترکیب با موادی مثل لجن فاضلاب (۵)، پسماند میوه و سبزیجات (۴)، محصولات پرانرژی (Neves, L, et al., 2008, 971)، گلیسرین (۲) و اجزای آلی پسماند جامد شهری (۹) بیشتر می‌شود. پتانسیل متان زای پسماند به غلظت ۳ پارامتر اصلی از قبیل پروتئین، چربی، کربوهیدرات و مشخصات پارامترهایی که با آن متان بیشتری تولید می‌شود وابسته است. (Maya-Altamira, et al., 2008, 2201). البته روش تئوری مناسب برای مشخص کردن پتانسیل متان وجود دارد، اما بیشتر فعالیت‌های انجام شده بر اساس مطالعات آزمایشگاهی بنا شده، تا بتواند خواص پسماندهای خام را توضیح دهد. ارزیابی این کار منجر به پیشرفت یک مدل مفید برای محاسبه نسبت سوبستراهای ترکیبی مربوط به فرآیند هضم یا سنتیک تولید متان می‌شود. برای این هدف روش بهینه سازی برنامه‌نویسی خطی^۸ بر پایه محاسبه محدودیت‌ها، حداقل و حداکثر پارامترها در مورد چندین مشخصه از هاضم بی‌هوازی بکار برده شده است. (Raven, et al., 2007, 123) برای شروع این روش از ۳ نوع پسماند با مشخصات گوناگون که عبارتند از کود گوداری، پسماند ماهی و فضولات مرغداری به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است.

برنامه نویسی خطی :

نرم افزارهای محاسباتی استفاده شده برای حل مسائل برنامه‌نویسی خطی از توانایی بسیار بالایی برخوردارند و برای آسان شدن حل مسائل از حل کننده اکسل^۹ استفاده می‌شود، (Moller, H.B, et al., 2004, 486) که برای برنامه های ساده اولیه و حل مسائل با پارامترهای مختلف ابزاری کافی است. این روش شامل بیشینه کردن تابع هدف و شرح چندین محدودیت^{۱۰} است. در این جا ۲ تابع هدف مختلف مطرح می‌شود ۱- پتانسیل تجزیه بیولوژیکی سوبسترای کل لیتر متان به کیلوگرم جامد مرطوب از سوبسترا، ۲- راندمان سوبسترای تغییر شکل یافته و پتانسیل بیوسنتیکی، که در آن ظرفیت سنتیکی فرآیند هضم بی‌هوازی مشخص می‌شود. برای محاسبه پتانسیل تئوری تجزیه بیولوژیکی از مقدار COD پسماندهای مختلف استفاده شده و با استفاده از فاکتور ۴۵۰ لیتر متان بر کیلوگرم COD از بین رفته محاسبه می‌شود. (Ferreira, L, et al., 2007, 136) پتانسیل بیوسنتیکی تئوری به وسیله مقدارهای ۳۵ لیتر متان بر کیلوگرم چربی در روز و ۳۹ لیتر متان بر کیلوگرم پروتئین در روز و ۲۹ لیتر متان بر کیلوگرم کربوهیدرات در روز. (Hartmann, H, et al., 2005, 1545) حداقل و حداکثر میزان این پارامترها توسط غلظت COD/N و غلظت آمونیوم^{۱۱} به نیتروژن و محدودیت‌های این سیستم از قبیل غلظت چربی، قلیائیت کل، جز مایع، COD/SO_4^{-2} و با فرض این که هضم پروتئین کامل انجام شود مشخص می‌شود. در نتیجه هر بهینه‌سازی با توجه به محدودیت‌های مخصوص به خودش انجام و خروجی برنامه جز هر کدام از سوبستراهای مورد استفاده برای آمیختن و محاسبه حداکثر تجزیه بیولوژیکی و پتانسیل بیوسنتیکی را می‌دهد. هنگام

^۶ Specific methane potentials

^۷ Volatile Solid

^۸ Linear programming optimisation

^۹ Excel Solver

^{۱۰} Restriction

^{۱۱} NH_4^+

محاسبه پتانسیل بیوسنتیکی مقدار نرخ ورود مواد آلی نیز به عنوان یک محدودیت قرار می گیرد. قلیایت کل نسبت جز مایع، $\text{COD}/\text{SO}_4^{-2}$ و کلرید در تمام مراحل ثابت نگه داشته می شوند، که مقادیر بدین صورت هستند: مقدار قلیایت کل بین ۴ تا ۲۵ گرم کلسیم کربنات، جز مایع بین ۷۵ تا ۱۰۰٪، نسبت $\text{COD}/\text{SO}_4^{-2}$ بالاتر از ۲۸ و کلرید کمتر از ۵ گرم بر لیتر است. مقدار کمینه محدودیت ها توسط برنامه بدست می آید. مجموع ترکیب درصد سوپستراها باید مساوی ۱۰۰ و ترکیب درصد هر کدام باید بزرگتر از صفر باشد. خلاصه روش برنامه نویسی خطی استفاده شده در این مطالعه به شکل زیر است:

۱- وارد کردن محدودیت های پیشنهادی.

۲- محاسبه مقدار محدودیت های تئوری با توجه به مشخصات سوپسترا.

۳- محاسبه اجزای هر پسماند برای تنظیم آمیختن، که دارای محدودیت های پیشنهادی و حداکثر کردن متان تولیدی است.

۳- روش محاسبات راکتور ناپیوسته:

از یک راکتور ناپیوسته ۶ لیتری که در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد با دور همزن ۱۲۰ استفاده شده است. خوراک استفاده شده در این راکتور مخلوطی از پسماند ماهی، فضولات مرغداری و کود گاوداری است، که با مخلوط کردن آنها با یکدیگر ۳ ترکیب مختلف بوجود آورده ایم، این ۳ پسماند را با نسبت های مشخص باهم ترکیب کرده و ۳ مخلوط مختلف A، B و C را ساخته ایم ترکیب درصد این ۳ مخلوط همراه باخواص هر کدام به ترتیب در جداول (۱)، (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول (۱) ترکیب درصد A

پتانسیل تئوری	درصد پسماند	محدودیت ورودی	محدودیت اصلی	مخلوط
---------------	-------------	---------------	--------------	-------

A	$50 < \text{COD/N} < 100$	48/3	کود گاوداری (۸۱)	۴۳
	$0.2 < \text{NH}_4^+-\text{N} < 4/5$	۰ / ۳	پسماند ماهی (۰)	
	$0.5 < \text{LIP} < 10$	9/2	کود مرغداری (۱۹)	

جدول (۲) ترکیب درصد B

مخلوط	محدودیت اصلی	محدودیت ورودی	درصد پسماند	پتانسیل تثوری
B	$50 < \text{COD/N} < 100$	۱۰۰	کود گاوداری (72)	۸۵
	$0.2 < \text{NH}_4^+-\text{N} < 4/5$	۳/۷	پسماند ماهی (۰)	
	$0.5 < \text{LIP} < 30$	۲۵	کود مرغداری (۲۸)	

جدول (۳) ترکیب درصد C

مخلوط	محدودیت اصلی	محدودیت ورودی	درصد پسماند	پتانسیل تثوری
C	$50 < \text{COD/N} < 90$	۹۰	کود گاوداری (۶۰)	۱۱۰
	$0.2 < \text{NH}_4^+-\text{N} < 3/5$	۳/۵	پسماند ماهی (۱۰)	
	$0.5 < \text{LIP} < 30$	۱۹/۲	کود مرغداری (۳۰)	

محاسبات :

مقدار مول متان توسط رابطه گاز ایده آل از رابطه زیر محاسبه می شود

$$\text{CH}_4 \text{ mole} = (P_T X_{\text{CH}_4} V_{\text{Gas}}) / (R (T+273))$$

که در آن P_T فشار کل، X_{CH_4} درصد مولی متان، V_{Gas} حجم گاز، R ثابت گاز ایده آل ۶۲/۳۶۴ میلی متر جیوه در میلی گرم بر مول درجه کلوین و T دمای راکتور ۳۵ درجه سانتی گراد است. نتایج بدست آمده از بکارگیری روش LP در این مقاله در جداول (۱)، (۲)، (۳) و (۵) آورده شده است. با توجه به ترکیب درصد هر یک از پسماندها که در جدول (۴) آمده ۳ ترکیب مختلف A، B و C با خواص مشخص و اعمال محدودیت های موردنظر به وجود آمده اند. جداول (۱)، (۲) و (۳) سهم هر کدام از پسماندها در ترکیبات A،

B و C که توسط مدل برنامه ریزی خطی مدل LP را نشان می دهد و جدول (۵) خواص مخلوط و میزان تجزیه بیولوژیکی برای هر کدام از ترکیبات را نشان می دهد.

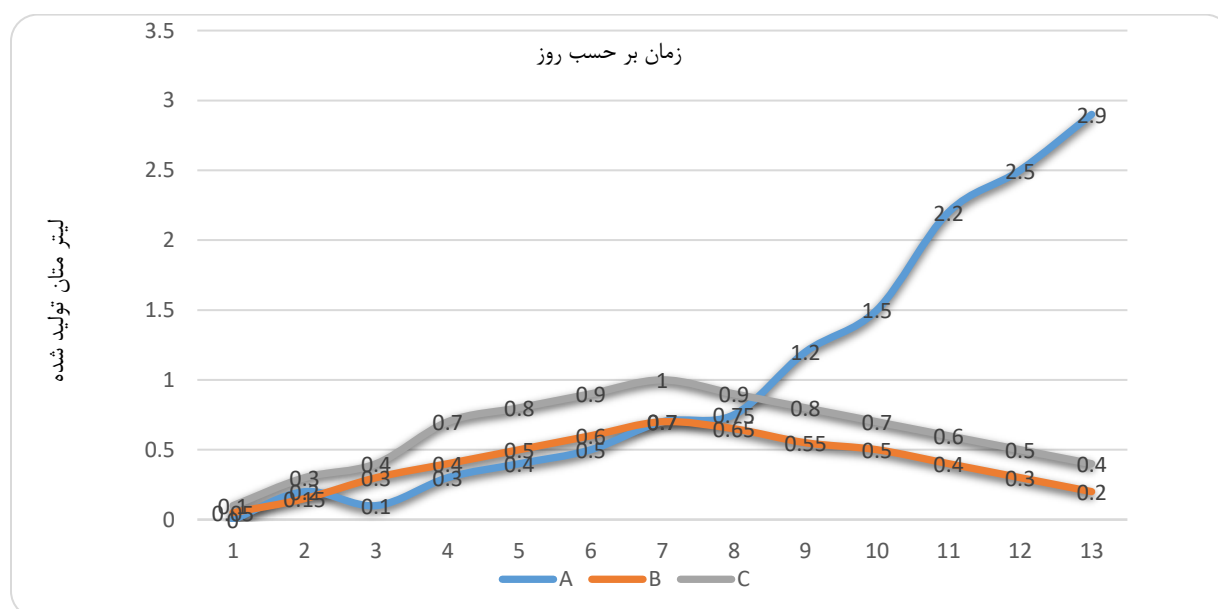
جدول (۴) ترکیب درصد پسماندها

متغیر	کود گاوداری	فضولات مرغداری	پسماند ماهی
(%) جز مایع	۷۸/۰	۱۰۰	۷۳/۱
PH	۹/۹	---	---
جز قابل حل (ms/cm)	۱۸/۵	۴۲/۵	۱۲۰/۴
دانسیته (Kg WW/L)	۱/۰	۱/۰	۱/۱
TS ¹² (g TS/Kg WW)	۱۹/۳	۰	۴۶۹
VS(g SV/Kg WW)	۱۲/۷	۰	۲۷۰
COD(g O ₂ /Kg WW)	۲۱/۱	۱۳۹۰	۳۰۹/۶
COD (g O ₂ /kg WW) حل شده	۲۲/۳	۱۳۹۰	---
خلصت قلیایی (g CaCO ₃ /l)	۱۹/۷	98	۰/۳
کلراید (g/kg WW)	۰/۸	۱۱	۳۴/۹
سولفات (g/kg WW)	۰/۰۴	---	۰/۷
پروتئین (g Proteins/Kg WW)	۱/۱	۱/۲	۲۰۵/۸
چربی (g Lipids/Kg WW)	۱/۵	۸۶/۳	۲۸
کربوهیدرات (g Carbohydrates/Kg WW)	۹/۶	۹۲۱/۵	۳۶/۲
COD/N ratio	۸/۷	732/8	۱۲/۲

جدول (۵) میزان تجزیه بیولوژیکی برای هر ترکیب بدست آمده از روش (LP)

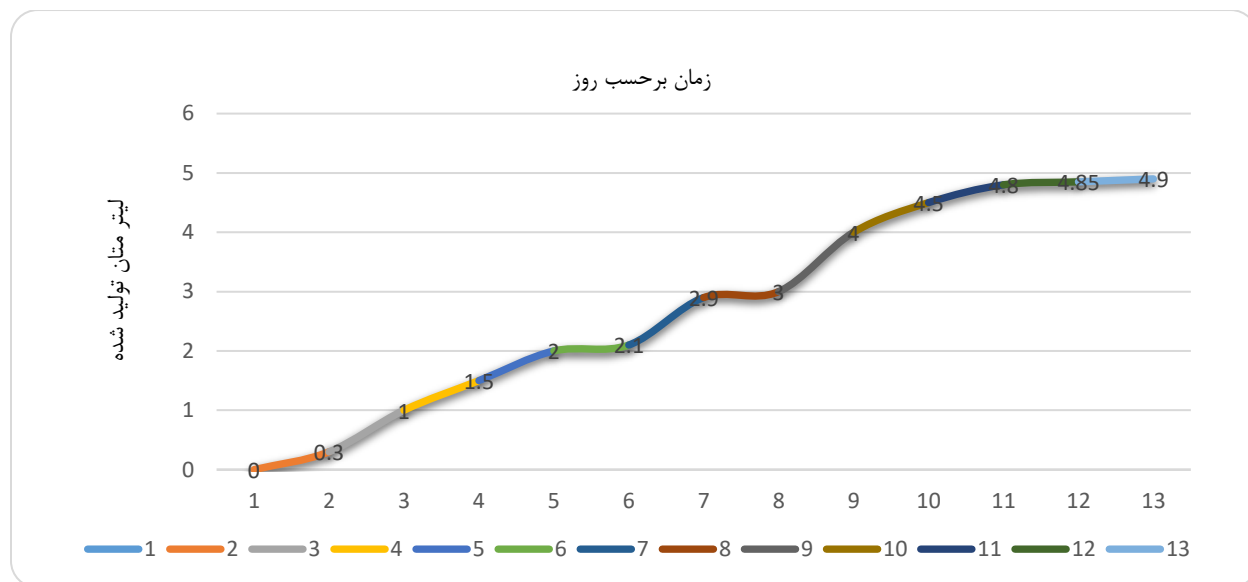
مقدار تئوری تولید متان	مقدار تئوری تولید متان	مقدار تئوری	ترکیب
لیتر متان بر کیلوگرم WW	لیتر متان بر کیلوگرم COD	متان - COD (گرم بر لیتر)	
۷۳	۴۵۰	۴/۹	A
۸۵	۲۵۰	۸/۱	B
۱۲۰	۱۸۰	۱۰/۹	C

در مخلوط A محدودیت حداکثر غلظت چربی که ۵ و ۹ گرم بر لیتر است، که حداکثر متان تولید شده را محدود می‌کند، بنابراین با مخلوط کردن کود گاوداری با پسماند مرغداری به حداکثر مقدار تجزیه رسیده‌ایم در حالی که پسماند ماهی اصلاً اضافه نشده است. مخلوط B با افزایش محدودیت غلظت چربی تهیه شده است، بنابراین میزان تجزیه پذیری بالاتری نسبت به ترکیب A دارد، و COD/N آن هم بالاتر است. به این طریق درصد کود مرغداری در مخلوط، حداکثر میزان مجاز برای حد بالای محدودیت چربی را افزایش می‌دهد، از این رو کود مرغداری پسماندی با COD، مقدار چربی و نسبت COD/N بالاست که حد بالای محدودیت را کاهش می‌دهد، در اینجا باز هم فضولات ماهی برای مخلوط B انتخاب نشده است زیرا اضافه کردن پروتئین برای محدودیت آمونیوم و COD/N لازم نیست. در مخلوط سوم C محدودیت‌های غلظت چربی بیشتر افزایش یافته و به ۳۰ گرم بر لیتر رسیده است و محدودیت حد بالای COD/N کاهش یافته است. مشخص شده است که هر ۳ ترکیب مختلف خواص مخصوص به خود را دارند که بر روی پارامترهای اصلی هضم بی‌هوازی، ترکیب سوبسترای آلی مثل COD/N، مقدار چربی و غلظت آمونیاک تاثیر می‌گذارد. در شکل (۱) تولید متان بر اساس تجزیه کل سوبسترای مصرفی آورده شده است.



شکل (۱) متان تولید شده بر حسب تجزیه سوپسترا CH₄ – COD (g/l)

و در شکل (۲) تولید متان، بر اساس تجزیه کل سوپسترای مصرفی که توسط روش برنامه نویسی خطی بهینه شده آورده شده است.



شکل (۲) متان تولید شده با روش برنامه نویسی خطی بر حسب تجزیه سوپسترا CH₄ – COD (g/l)

در شکل (۳) مقایسه شکل (۱) و شکل (۲) آورده شده است.



شکل (۳) نمودار مقایسه‌ای حالت بهینه‌سازی شده با مخلوط‌های A, B و C

۵- نتیجه گیری :

- ۱- برنامه‌نویسی خطی LP یک روش مفید و همچنین با کاربرد آسان برای محاسبه متان تولیدی در هضم ترکیبی سوبستراهای مختلف است.
- ۲ - خواستن ماده مغذی، ماده تلقیح و سازش ماده تلقیح می‌توانند بر روی تولید متان و تجزیه سوبسترا تاثیر گذارند.
- ۳ - ترکیب درصد پیشنهادی پسماند ماهی و فضولات مرغداری اضافه شده به کود گاوی برای رسیدن به حداکثر سوبسترا باید حدود 10 تا 5۱٪ باشد.
- ۴ - بالاترین میزان تجزیه سوبسترا 297 لیتر متان بر کیلوگرم COD می‌باشد که از ترکیب 60٪ کود گاوداری، 20٪ پسماند ماهی و 20٪ فضولات مرغداری بدست می‌آید.
- ۵ - بالاترین میزان متان تولیدی 17/2 لیتر متان بر کیلوگرم COD در روز می‌باشد که از ترکیب 60٪ کود گاوداری، 10٪ پسماند ماهی و 30٪ فضولات مرغداری بدست می‌آید.

مراجع :

- 1 - De Baere, L., 2006. Will anaerobic digestion of solid waste survive in the future? Water Sci. Technol. 53 (8), 187–194.
- 2 - Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E., Zollitsch, W., 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. International Congress Series, vol. 1293, pp. 217–220
- 3 - Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K., Forster, C.F., 1999. Co-digestion of waste organic solids: batch studies. Bioresour. Technol. 67, 117–122.

- 4 - Ferreira, L., Duarte, E., Silva, C., Malfeito, M., 2007. Fruit wastes bioconversion for anaerobic co-digestion with pig manure. Process development for the recycling in decentralised farm scale plants. In: Proceedings of the International Conference Progress in Biogas. Stuttgart, Germany, pp. 135–140.
- 5 - Murto, M., Björnsson, L., Mattiasson, B., 2004. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. J. Environ. Manage. 70, 101–107.
- 6 - Soldano, M., Fabbri, C., Piccinini, S., 2007. Co-digestion plant in dairy cattle farm in Emilia Romagna region (Italy). In: Proceedings of the International Conference Progress in Biogas. Stuttgart, Germany, pp. 95–99
- 7-Angelidaki, I., Ellegaard, L., 2003. Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. Appl. Biochem. Biotechnol. 109, 95–105.
- 8 - Raven, R.P.J.M., Gregersen, K.H., 2007. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. Renew. Sustain. Energy Rev. 11, 116–132.
- 9 - Weiland, P., 2000. Anaerobic waste digestion in Germany – status and recent developments. Biodegradation 11 (6), 415–421.
- 10 - Hartmann, H., Angelidaki, I., Arhing, B.K., 2003. Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types. In: Mata-Alvarez, J. (Ed.), Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. IWA Publishing, UK.
- 11 -Burton, C., Turner, C., 2003. Manure Management. Silsoe Research Institute. pp281–282.
- 12 -Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. Bioresour. Technol. 99, 4044–4064.
- 13 - Mshandete, A., Kivaisi, A., Rubindamayugi, M., Mattiasson, B., 2004. Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. Bioresour. Technol. 95, 19–24.
- 14 - Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1998. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. Water Res. 38, 5–12.
- 15 - Angelidaki, I., Ahring, B., 1993. Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: effect of ammonia. Appl. Microbiol. Biotechnol. 38, 560–564.
- 16 - Cuetos, M.J., Gómez, X., Otero, M., Morán, A., 2008. Anaerobic digestión of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). J. Biochem. Eng. 40, 99–106.
- 17 - Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N., Goumenaki, M., 2007b. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. Appl. Energy 84, 646–663.
- 18 - Lehtomäki, A., Huttunen, S., Rintala, J.A., 2007. Laboratory investigations on codigestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: effect of crop to manure ratio. Resour. Conserv. Recycl. 51, 591–609.
- 19 - Hartmann, H., Ahring, B.K., 2005. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure. Water Res. 39, 1543–1552.

- 20 - Maya-Altamira, L., Baun, A., Angelidaki, I., Schmidt, J.E., 2008. Influence of wastewater characteristics on methane potential in food-processing industry wastewaters. *Water Res.* 42, 2195–2203.
- 21 - Neves, L., Gonçalo, R., Oliveira, R., Alves, M.M., 2008. Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures. *Waste Manage.* 28, 965–972.
- 22 - Shanmugam, P., Horan, N.J., 2009. Simple and rapid methods to evaluate methane potential and biomass yield for a range of mixed solid wastes. *Bioresour. Technol.* 100, 471–474.
- 23 - Angelidaki, I., Sanders, W., 2004. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol.* 3, 117–129.
- 24 - Moller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenergy* 26, 485–495.

Linear programming optimisation

Mahshid Pournazari

Part-time undergraduate student of natural resources engineering – environment

Ehsan khoshbayan

Masters in Chemical Engineering

abstract

Anaerobic digestion is a biological process. that is biogas produced, Due to the recent progress of optimization process it is very important for building, optimize this process in various articles by various methods have been In this paper, using a linear modeling approach to calculate the residual components To set the blending and import restrictions proposed And anaerobic digestion process is optimized variables affecting, Linear programming was proved to be a powerful, useful and easy-to-use tool to estimate methane production in co-digestion units where different substrates can be fed. To achieve maximum substrate Fish waste and poultry manure added to the proposed composition of manure Should be about ۱۰ to 1۵%. The highest biodegradation potential (۲۹۷ L CH₄/kg COD) was reached with a mixture composed of ۶۰% Dairy manure, ۲0% fish waste and ۲۰% poultry manure.

Keywords : Optimization , Anaerobic digestion , Linear programming , Methane