

# بررسی تاثیر نسبت کربن به نیتروژن، نرخ بارگذاری مواد آلی و pH بر تولید بیوگاز حاصل از ترکیب پسماندهای دامی و کلش برنج

علیرضا کلوری<sup>۱</sup>، رضا طباطبائی کلور<sup>۱\*</sup> و سید جعفر هاشمی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۳

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\*مسئول مکاتبه r.tabatabaei@sanru.ac.ir

## چکیده

از جمله راهکارهای مفید و نوین برای رفع مشکلات پسماندهای کشاورزی و دامی تولید بیوگاز از این مواد است که سوختی با ارزش و دوستانه محیط زیست می‌باشد. در این پژوهش، عوامل موثر بر تولید بیوگاز از جمله نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، نرخ بارگذاری، زمان ماند و pH در ترکیباتی از کود مرغی، گاوی و کلش برنج به روش هضم بی‌هوازی مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در سه مرحله انجام شد و در هر مرحله از سه هاضم استفاده شد. هاضم اول شامل ترکیب کود گاوی و کلش برنج، هاضم دوم شامل ترکیب کود گاوی، کود مرغی و کلش برنج و هاضم سوم به کود گاوی اختصاص یافت. نسبت مواد به آب در تمام هاضم‌ها تقریباً ۱ به ۲ بود. نتایج نشان دادند بیشترین میزان بیوگاز تولیدی روزانه مربوط به ترکیب کود گاوی و کلش با نسبت C/N=۲۷/۱ به میزان ۱۱۲۰۰ ml و کمترین مقدار مربوط به ترکیب کود گاوی، مرغی و کلشی با نسبت C/N=۹/۸۱ به میزان ۲۷۱۷/۵ ml بود. کاهش زیاد نسبت کربن به نیتروژن باعث افت شدید مقدار بیوگاز تولیدی شد به طوری که در مرحله دوم در هاضم دوم با نسبت کربن به نیتروژن ۹/۸۱، میزان بیوگاز تولیدی با افت زیاد به مقدار ۹۷/۸۳ لیتر رسید. در هاضم سوم با نرخ بارگذاری ۳ لیتر به ازای هر سه روز، بیشترین میزان بیوگاز تولیدی به میزان ۴۷۲/۶۵ لیتر در مدت زمان ۳۶ روز به دست آمد. همچنین مشخص شد، هرچه pH به حالت خنثی نزدیک‌تر باشد عملکرد بالاتر است. فضولات گاوی در مقابل تغییرات pH مقاوم بودند، لذا از آن‌ها می‌توان به- عنوان تثبیت‌کننده واکنش در هضم هم‌زمان استفاده کرد. در مجموع افزایش میزان کلش برنج نسبت به کود دامی باعث افزایش مقدار بیوگاز تولیدی شد. آزمون شعله نشان داد بیشترین مقدار متان در بیوگاز در اواسط زمان هضم به دست می‌آید.

واژه‌های کلیدی: بقایای آلی، بیوگاز، نسبت کربن به نیتروژن، هضم بی‌هوازی

## ۱- مقدمه

فرآیند تولید بیوگاز، پسماندها را به ماده مفیدی تبدیل می‌نماید که با محیط زیست سازگار است، بدیهی است که تحقیق در این بخش، برای حفظ محیط زیست و قطع وابستگی به منابع نفتی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مورد توجه می‌باشد. در کشور ما نیز با توجه به اهمیت استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر از جمله بیوگاز تحقیقاتی در حال انجام است.

هضم بی‌هوازی پس ماندها، معمولاً در راکتوری که هاضم نامیده می‌شود، در شرایط کنترل شده انجام می‌شود و بیوگاز تولید شده پس از تصفیه جزئی، ذخیره و به‌عنوان سوخت برای گرم کردن، پخت و پز، تولید الکتریسیته و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب نوع هاضم، بر اساس نوع و غلظت خوراک، نحوه نگهداری میکروارگانیسم‌ها در داخل هاضم، زمان ماند مورد نیاز برای هضم کامل خوراک و نحوه اختلاط محتویات صورت می‌پذیرد (شانباخر و همکاران، ۲۰۰۵). هضم بی‌هوازی که به متان‌زایی بیولوژیکی نیز شهرت دارد، فرآیندی است که به‌طور طبیعی در خاک، روده جانوران، باتلاق‌ها، مرداب‌ها، فاضلاب‌ها و اماکن دفن زباله انجام می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶). این فرآیند، که در شرایط بدون

بخش‌های اصلی غذای بشر را غلات و محصولات دامی تشکیل می‌دهند. نتیجه آن تولید روزافزون پسماندهای کشاورزی و کود دامی می‌باشد (هان و شین، ۲۰۰۴). انباشتگی حجم بالای این مواد در بسیاری از مناطق دنیا به مشکلی جدی برای سلامت محیط زیست تبدیل شده است. از آنجا که مواد زائد مذکور دارای مقدار قابل توجهی ماده آلی می‌باشند پتانسیل تبدیل به سوخت‌های نوین از جمله بیوگاز را دارند (ویوکاندان و کاماراج، ۲۰۱۱).

در حال حاضر بیوگاز به‌عنوان یکی از منابع تأمین انرژی در دنیا مطرح است و این گاز را هم به‌طور مستقیم در تأمین انرژی حرارتی و روشنایی و هم به‌عنوان یک گزینه مناسب برای استفاده در مولدهای احتراق داخلی، میکروتوربین‌ها، پیل‌های سوختی و... جهت تولید برق مورد استفاده قرار می‌دهند. همچنین در برخی مناطق صعب‌العبور که امکان استفاده و دسترسی به سایر منابع انرژی وجود ندارد با ایجاد دستگاه‌های بیوگاز می‌توان جوابگوی بسیاری از معضلات انرژی مورد نیاز منطقه بود (بوئه و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به این‌که

جذب محصولات اصلی و انتقال مواد سمی توسط فاز جامد، فعالیت تولیدکنندگان اسید و متان را مختل می‌کند. در این صورت علی‌رغم افزایش تولید بیوگاز در ابتدای کار، پس از گذشت مدت زمانی به دلیل افزایش غلظت اسیدهای چرب فرار، تولید بیوگاز و متان کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷). از ترکیب کود خوک و پسماند چغندر در یک راکتور ۱۰ لیتری نیمه پیوسته به ازای نرخ بارگذاری روزانه ۱۱/۲ گرم ماده جامد، ۲/۹ لیتر متان به دست آمد. زمان ماند کوتاه تجمع اسیدهای چرب را افزایش داده و موجب کاهش pH می‌شود و در نتیجه راکتور به خوبی عمل نمی‌کند (ابودی و همکاران، ۲۰۱۵).

مقدار pH عامل مهمی در رشد میکروارگانیسم‌ها و معیار تعیین میزان پایداری هاضم می‌باشد (بوآلاگی و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار pH یک راکتور بی‌هوازی با فعالیت متابولیسی میکروارگانیسم‌ها، که منجر به تولید CO<sub>2</sub>، اسیدهای چرب فرار و آمونیاک می‌شود تغییر می‌کند (اسپینوسا و وسیلیند، ۲۰۰۱). مقدار pH کم‌تر از ۶ و بیش‌تر از ۸ اثر بازدارندگی بر متان‌زها دارد (زاهر و همکاران، ۲۰۰۷). در صورتی که pH به کمتر از ۵/۵ برسد این باکتری‌ها غیرفعال می‌گردند. محدوده بهینه pH برای میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی ۶/۸-۷/۵ و بهترین pH برای متان‌زها ۷-۷/۲ می‌باشد، به طوری که بیش‌ترین کاهش در جامدات فرار در این محدوده رخ می‌دهد (یادویکا و همکاران، ۲۰۰۴). در ترکیب کود گاوی و کلش برنج در یک هاضم ۴۰ لیتری و در دمای مزوفیلیک بیش‌ترین میزان تولید متان در نسبت ۱:۱ کلش به کود گاوی به دست آمد. نرخ بارگذاری بالا موجب تجمع اسیدهای چرب فرار شد و در نتیجه تولید متان را محدود کرد (لی و همکاران، ۲۰۱۵).

زمان ماند هیدرولیکی (HRT) مواد مدت زمانی است که مواد باید در مخزن هضم به‌مانند تا به‌طور کامل تجزیه و به بیوگاز تبدیل شوند. در زمان ماند هیدرولیکی کوتاه‌تر احتمال مواجهه با خطر از بین رفتن جمعیت باکتری‌های فعال وجود دارد، در حالی که افزایش این مقدار باعث نگر داشتن مواد در شرایط مناسب انجام واکنش می‌شود، که تجزیه کامل آن را به‌همراه خواهد داشت اما به هاضم حجیم‌تر نیاز است (یادویکا و همکاران، ۲۰۰۴). زمان ماند یک هاضم، ممکن است به‌صورت روزانه با تغییر مقدار خوراک، و یا به‌صورت فصلی با تغییر دما، تغییر کند (بوکنز، ۲۰۰۵). رابطه بین دما و زمان ماند هنوز کاملاً درک نشده است و در بیش‌تر موارد، زمان ماند بهینه به‌صورت تجربی طی مراحل ابتدایی فرآیند بدست می‌آید (پولسن، ۲۰۰۳). بنابراین، برحسب نوع خوراک، شرایط کاری و نحوه استفاده از ماده هضم شده، زمان ماند بهینه تعیین می‌شود.

هدف این تحقیق بررسی نقش عوامل موثر بر تولید بیوگاز از جمله ترکیب پس‌ماندها، زمان ماند، نسبت کربن به نیتروژن، pH و غلظت جامدات کل بر میزان تولید بیوگاز می‌باشد.

اکسیژن به وقوع می‌پیوندد، محصولی به نام بیوگاز تولید می‌نماید که معمولاً حاوی ۷۰-۵۵٪ متان و ۴۵-۳۰٪ دی‌اکسیدکربن و نیز مقادیر اندکی نیتروژن، هیدروژن و سولفید هیدروژن می‌باشد (جوآنگا، ۲۰۰۵).

عوامل مختلفی که بر تولید بیوگاز تأثیر گذارند شامل شرایط عملیاتی اعمال شده و مشخصات فیزیکی-شیمیایی خوراک می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به pH، نسبت کربن به نیتروژن، غلظت جامدات کل، زمان ماند هیدرولیکی و دما اشاره کرد (المشاد و همکاران، ۲۰۱۰). در یک تحقیق، با استفاده از ترکیب ۸۵٪ کود گاوی، ۵٪ تفاله سیب و ۲۰٪ تفاله زیتون در یک راکتور ۱۲۸ لیتری و در مرحله مزوفیلیک بیوگاز استخراج شد. پس از ۴۰ روز زمان ماند هیدرولیکی ۴۰۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم بیوگاز تولید شد (ریجیو و همکاران، ۲۰۱۵). لیبیداها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های موجود در کلش و مدفوع حیوانات تعیین‌کننده پتانسیل تولید متان این مواد هستند. جامدات فرار (VS) شامل لیگنین، کربوهیدرات‌ها، لیبیداها، پروتئین‌ها و اسیدهای چرب فرار می‌باشد. فضولات گاوی تقریباً شامل: ۱۲٪ لیگنین، ۳٪ اسیدهای چرب فرار، ۱۵٪ پروتئین، ۵٪ لیبید، ۴۵٪ کربوهیدرات‌های سریع تجزیه‌پذیر و ۲۰٪ کربوهیدرات‌های کند تجزیه‌پذیر می‌باشد. کلش شامل: ۷٪ لیگنین، فاقد اسیدهای چرب فرار، ۴٪ پروتئین، ۲٪ لیبید، ۵۷٪ کربوهیدرات‌های سریع تجزیه‌پذیر و ۳۰٪ کربوهیدرات‌های کند تجزیه‌پذیر می‌باشد (پوند و همکاران، ۱۹۸۱).

نسبت (C/N) نشان‌دهنده وجود میزان کربن به‌عنوان منبع تغذیه میکروارگانیسم‌ها و نیتروژن به‌عنوان ماده مورد نیاز برای ساخت وسازهای سلولی در طی فرآیند تجزیه مواد آلی است. مشاهده شده که میکروارگانیسم‌های متانوژن کربن را ۲۵ تا ۳۵ برابر سریع‌تر از نیتروژن مصرف می‌کنند. بنابر این نسبت C/N مواد ورودی باید ۲۵ تا ۳۵ به ۱ باشد. در صورتی که نسبت C/N بالا باشد، نیتروژن سریعاً توسط باکتری‌های متان‌زا مصرف می‌شود و نرخ تولید گاز کاهش می‌یابد. اگر نسبت C/N پایین باشد و یا مقدار نیتروژن بالا باشد، امکان تجمع آمونیاک و افزایش pH به بالاتر از ۸/۵ وجود دارد (بوکنز، ۲۰۰۵). معمولاً با ترکیب یک ماده سلولزی با کودهای دامی می‌توان به نسبت مطلوب دست یافت. بله و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ترکیب علوفه یونجه با کود دامی در یک هاضم ۸۵۰ لیتری میزان متان تولیدی را نسبت به حالت غیر ترکیبی و جداگانه افزایش داد و نیز سولفید هیدروژن موجود در بیوگاز را کاهش داد.

مقدار ماده آلی قابل تجزیه در واحد حجم که در فاصله‌های معین زمانی به مخزن هضم تغذیه می‌شود به‌عنوان غلظت جامدات تعریف می‌گردد. برای تغذیه روزانه مخزن با مواد تازه باید غلظت جامدات کل در حدود ۷ تا ۱۰ درصد باشد (یادویکا و همکاران، ۲۰۰۴). پایین بودن نرخ بارگذاری، میکروارگانیسم‌ها را با کمبود مواد غذایی مواجه می‌کند. هم‌چنین، بارگذاری بیش از حد نیز به دلیل

## ۲- مواد و روش ها

کود گاوی مورد استفاده در این تحقیق از گاوداری فلاحتی و کود مرغی نیز از مرغداری ماهان واقع در شهرستان ساری تهیه شد. برای هر مرحله از آزمایش از کود تازه استفاده گردید. هم‌چنین از کلش برنج طارم سال قبل استفاده شد. کلش‌ها ابتدا توسط چاپر و سپس توسط آسیاب غلات، به قطعات یک سانتی‌متری تبدیل شدند.

### ۲-۱- تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی

برای تولید بیوگاز ابتدا تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه مانند درصد رطوبت، درصد جامدات کل و جامدات فرار، درصد خاکستر، میزان کربن، نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن ضروری است. این ویژگی‌ها محقق را قادر می‌سازد تا مخلوطی مناسب از مواد اولیه برای استفاده در مخزن هضم بیابد. تمامی پارامترهای فوق بر اساس استانداردهای APHA اندازه‌گیری شد.

### ۲-۲- تعیین pH مواد

قبل از ریختن مواد به درون هاضم و هم‌چنین در طول آزمایش pH مواد اندازه‌گیری شد تا روند تغییرات pH در طول آزمایش مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور برای کود گاوی و مرغی ۳ گرم از نمونه مورد نظر را درون ارلن ریخته و ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و خوب هم‌زده تا مخلوطی همگن حاصل گردد. سپس pH نمونه‌ها توسط pH متر در عصاره حاصل اندازه‌گیری گردید. برای کلش نیز ابتدا کلش‌ها به قطعات یک میلی‌متری ریز شده و سپس مانند قبل ۳ گرم از نمونه درون ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و خوب مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه گذاشته شد و سپس pH عصاره حاصل اندازه‌گیری شد. برای تعیین pH محیط واکنش در طول فرآیند، هر ۵ روز یک بار به مقدار مورد نیاز نمونه برداشته و pH اندازه‌گیری شد.

### ۲-۳- سامانه آزمایشگاهی تولید بیوگاز

در این آزمایش از مخزن‌های پلاستیکی ۶۸ لیتری به‌عنوان هاضم استفاده شد و یک شیر ورودی در پایین و یک شیر خروجی در بالا تعبیه گردید. شیر ورودی کمی بالاتر از کف مخزن قرار گرفت زیرا انگل‌ها به علت وزنشان در قسمت کف هاضم ته‌نشین می‌شوند. لذا لوله ورودی نباید در کف مخزن باشد. شیر ورودی و خروجی توسط لوله‌های پلاستیکی شماره ۴ به دو ظرف پلاستیکی که از آن‌ها به‌عنوان مخازن ورود و خروج استفاده شد متصل گردید. جریان مواد از حوضچه ورودی به هاضم و از آنجا به حوضچه خروجی توسط نیروی ثقلی صورت گرفت. در قسمت فوقانی مخزن که نقش مخزن جمع‌آوری گاز را دارد یک شیر گازی یک چهارم جهت خروج گاز تعبیه گردید. گاز خروجی توسط شلنگ گاز به بخش اندازه‌گیری و

جمع‌آوری منتقل شد. شکل ۱ سامانه آزمایشگاهی تولید بیوگاز را نشان می‌دهد.

جهت اندازه‌گیری حجم گاز انتقالی از روش جابه‌جایی مایع استفاده شد. برای این کار از یک ظرف آب ۲۰ لیتری و یک بشر دو لیتری استفاده گردید. بدین طریق که بشر ۲ لیتری پر از آب را به صورت واژگون درون ظرف پر از آب غوطه‌ور کرده و شلنگ گاز درون بشر دو لیتری قرار گرفت؛ با ورود گاز به درون بشر، آب از داخل بشر خارج شده و از این طریق حجم گاز اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- سامانه آزمایشگاهی تولید بیوگاز

برای جلوگیری از نشت گازها تمامی اتصالات آب‌بندی گردید. مخازن توسط پوششی از پشم شیشه عایق شد تا از نوسانات دمایی که اثر نامطلوبی بر تولید بیوگاز دارد جلوگیری شود. برای جلوگیری از نوسانات دمایی و جلوگیری از تاثیر تغییر شرایط جوی این واحد آزمایشگاهی تولید بیوگاز در یک اتاقک قرار داده شد. به‌علت کوچک بودن دهانه ورودی نصب همزن امکان‌پذیر نبود لذا برای جلوگیری از سفت شدن و بستن مواد و نیز ایجاد یک مخلوط همگن مخزن‌ها هر روز تکان داده می‌شد.

### ۲-۴- آزمایش‌های انجام شده

در این تحقیق ترکیبات مختلف کود گاوی، مرغی و کلش برنج و تاثیر نرخ بارگذاری بر میزان بیوگاز تولیدی از کود گاوی در مدت زمان ماند ۴۵ روز مورد بررسی قرار گرفت. در تمام آزمایش‌ها در هاضم‌های شماره یک و دو تاثیر ترکیبات مختلف مواد بر میزان بیوگاز تولیدی در نسبت‌های مختلف (C/N) و در هاضم شماره سه نرخ بارگذاری بر میزان بیوگاز تولیدی بررسی شد. ترکیب مواد در هر هاضم برای سه آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. هر هفته از هر سه هاضم نمونه‌گیری شد تا تغییرات pH در طول فرآیند مورد

جدول ۲- خصوصیات مواد مورد استفاده در آزمایش اول\*

پارامتر	کود گاوی	کود مرغی	کلش برنج
درصد نیتروژن کل	۲/۱ ± ۰/۱۲	۷ ± ۰/۳۰	۱/۲ ± ۰/۲۶
درصد جامدات کل (TS)	۱۴/۶ ± ۰/۹	۲۴/۶ ± ۱/۲	۸۹/۵ ± ۲/۵
درصد جامدات فرار (VS)	۸۵ ± ۱/۴	۴۵ ± ۱/۴	۸۴ ± ۳/۶
درصد کربن (C)	۴۴/۷۳	۵۳/۳۴	۹۶
نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	۲۱/۳۰	۷/۶۲	۸۰
درصد رطوبت (MC)	۸۵/۴ ± ۱/۲	۷۵/۴ ± ۱/۵	۱۰ ± ۰/۱۶
درصد خاکستر	۱۵ ± ۱/۱۰	۵۵ ± ۱/۲۷	۱۶ ± ۰/۸۳

\* پارامترها به صورت میانگین سه تکرار و با انحراف استاندارد می‌باشند.

جدول ۳- خصوصیات مواد مورد استفاده در آزمایش دوم

پارامتر	کود گاوی	کود مرغی	کلش برنج
درصد نیتروژن کل	۱/۸ ± ۰/۲۲	۷/۱ ± ۰/۸۰	۱/۲ ± ۰/۳۶
درصد جامدات کل (TS)	۱۴/۸ ± ۰/۸۸	۲۳/۸ ± ۱/۳	۸۹/۶ ± ۲/۱
درصد جامدات فرار (VS)	۸۲ ± ۲/۱۵	۵۶ ± ۱/۸۷	۸۵ ± ۳/۱۳
درصد کربن (C)	۳۸/۳۴	۵۴/۱۰	۹۶
نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	۲۱/۳۰	۷/۶۲	۸۰
درصد رطوبت (MC)	۸۵/۲ ± ۲/۳۹	۷۵/۲ ± ۱/۲	۱۰/۴ ± ۰/۱۹
درصد خاکستر	۱۸ ± ۱/۴۵	۴۴ ± ۱/۶۴	۱۵ ± ۱/۳۰

جدول ۴- خصوصیات مواد مورد استفاده در آزمایش سوم

پارامتر	کود گاوی	کود مرغی	کلش برنج
درصد نیتروژن کل	۲ ± ۰/۴۳	۶/۸ ± ۰/۹۰	۱/۱ ± ۰/۱
درصد جامدات کل (TS)	۱۴/۳ ± ۱/۱	۲۴/۴ ± ۱/۴	۹۰ ± ۲/۷
درصد جامدات فرار (VS)	۸۵ ± ۲/۰۷	۴۰ ± ۱/۰۵	۸۴ ± ۴/۴۰
درصد کربن (C)	۴۲/۶۰	۵۱/۸۲	۸۸
نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	۲۱/۳۰	۷/۶۲	۸۰
درصد رطوبت (MC)	۸۵/۷ ± ۱/۹	۷۵/۶۲ ± ۱/۹۲	۹/۹ ± ۰/۳
درصد خاکستر	۲۱/۵ ± ۱/۶	۶۰ ± ۲/۱۸	۱۵ ± ۰/۷۸

بررسی فرار گیرد. هم‌چنین، هر هفته از هر سه هاضم آزمون شعله گرفته شد تا قابلیت اشتعال و میزان متان مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی تاثیر نرخ بارگذاری مواد بر میزان بیوگاز تولیدی هاضم شماره سه انتخاب گردید و در آزمایش اول، دوم و سوم به- ترتیب با نرخ بارگذاری ۱، ۳ و ۶ لیتر از ترکیب مواد هر هاضم به- صورت دوغاب تازه به ازای هر ۳ روز بارگذاری شد. میانگین دمای محیط آزمایشگاه ۳۲ درجه سلسیوس بود. با توجه به عایق‌بندی و فعالیت میکروبی میکروارگانیسم‌ها دمای داخل مخزن کمی بالاتر از دمای محیط می‌باشد که شرایط مزوفیل را برای هاضم به‌وجود می‌آورد.

جدول ۱- ترکیبات مواد هاضم ها در سه آزمایش

آزمایش اول	
هاضم ۱	۷/۹ kg کود گاوی + ۱/۳ kg کلش برنج + ۳۶ لیتر آب C/N=۲۷/۱
هاضم ۲	۷ kg کود گاوی + ۲/۲۵ kg کود مرغی + ۰/۵ kg کلش برنج + ۲۱ لیتر آب و C/N=۲۵
هاضم ۳	۱۷ kg کود گاوی + ۳۴ لیتر آب و C/N=۲۲
آزمایش دوم	
هاضم ۱	۹ kg کود گاوی + ۰/۹ kg کلش برنج + ۲۵ لیتر آب و C/N=۲۵
هاضم ۲	۲ kg کود گاوی + ۷/۵ kg کود مرغی + ۰/۹ kg کلش برنج + ۲۲ لیتر آب و C/N=۹/۸۱
هاضم ۳	۱۷ kg کود گاوی + ۳۴ لیتر آب و C/N=۲۲
آزمایش سوم	
هاضم ۱	۶ kg کود گاوی + ۱/۴ kg کلش برنج + ۳۶ لیتر آب C/N=۲۹/۲۶
هاضم ۲	۷ kg کود گاوی + ۱ kg کود مرغی + ۱ kg کلش برنج + ۳۲ لیتر آب و C/N=۲۰
هاضم ۳	۱۷ kg کود گاوی + ۳۴ لیتر آب و C/N=۲۲

## ۲-۵- روش تجزیه آماری

داده‌ها به‌صورت میانگین با یک انحراف استاندارد به‌دست آمد. ارزیابی واریانس نتایج با استفاده از آزمون یک طرفه واریانس به‌کمک نرم افزار SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح  $p < 0.05$  انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد مورد استفاده در هر یک از آزمایش‌ها در جدول‌های ۲ الی ۴ آورده شده است.

### ۳-۱- اثر ترکیبات مختلف و نسبت C/N

طبق جدول ۵ تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش تولید بیوگاز برای سه ترکیب کود گاوی، کود گاوی و کلش، کود گاوی به

در پژوهش‌های مختلف بهترین نسبت C/N، ۲۵ تا ۳۵ گزارش شده است.

نتایج مربوط به تأثیر نسبت C/N و افزایش کلسیم برنج به فضولات دامی در این مطالعه با نتایج وو و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در مطالعه آنها، اثر نسبت C/N بر تولید بیوگاز از کود خوک در ترکیب با سه نمونه ضایعات کشاورزی به‌عنوان منبع کربن مورد بررسی قرار گرفت. این بقایای کشاورزی برای بالا بردن نسبت C/N کود به کار رفتند. زیرا این نسبت در کود خوک در حدود ۶ تا ۸ می‌باشد که با افزودن ضایعات ذرت، یولاف و گندم نسبت ترکیبی C/N افزایش یافت. نسبت‌های بررسی شده آن‌ها برابر ۱۶، ۲۰، ۲۵ بود و به این نتیجه رسیدند که نسبت ۲۰ تا ۲۵ بهترین نسبت برای تولید بیوگاز از ضایعات کشاورزی در ترکیب با کود دامی می‌باشد. بیشترین عملکرد تولید متان در نسبت ۴۰ به ۶۰ کلسیم گندم و کود دامی بدست آمد (سانگ و ژانگ، ۲۰۱۵). در نسبت کربن به نیتروژن ۲۰ تا ۲۵ پتانسیل تولید کلی بیوگاز برای کاه غلات ترکیب شده با کود خوک و کود گاو ۲۰٪ بیشتر از نسبت ۱۵ تا ۲۰ خواهد بود (یادویکا و همکاران، ۲۰۰۴). لهتوماکی و همکاران (۲۰۰۷) نیز به این نتیجه رسیدند که با افزودن ۳۰٪ بقایای یولاف و چغندر قند و علف به کود گاو و افزایش نسبت کربن به نیتروژن از ۱۵ به ۲۰ می‌توان ۱۶ تا ۶۵٪ تولید متان را افزایش داد. اما تولید بیوگاز روزانه در نسبت ۱۵ تقریباً ۲۰٪ بیشتر از تولید روزانه در نسبت ۲۰ خواهد بود. آن‌ها علت را در میزان دسترسی باکتری‌های فعال در تولید بیوگاز به مواد غذایی دانسته و اعلام کردند که تولید گاز روزانه بسته به میزان مواد مغذی به ازای میکروارگانیسم‌ها بوده که هرچه مواد کمتر باشد هجوم باکتری‌ها به ماده غذایی بیشتر شده و در نتیجه مصرف مواد سریع‌تر بوده و تولید گاز نیز زودتر انجام و پایان می‌یابد. اما در نهایت میزان کمتر مواد مغذی منجر به پتانسیل کمتر برای تولید گاز می‌گردد. مولر و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند، از آنجایی که محتوای جامدات فرار کلسیم نسبت به فضولات گاو بیشتر است متان بیشتری تولید می‌کند. اضافه کردن ۱۰ گرم کلسیم به یک کیلوگرم فضولات گاو ۱۰٪ بازده تولید متان را افزایش می‌دهد.

تغذیه محصولات کشاورزی با فضولات دامی در ابتدا باعث کاهش مختصر بازده ویژه متان می‌شود، اما از آنجایی که سهم محصولات کشاورزی در هاضم زیاد می‌شود بازده ویژه متان افزایش می‌یابد. بیشترین بازده متان هنگامی که سهم محصول کشاورزی ۳۰٪ بود به‌دست آمد. افزایش سهم محصول کشاورزی به بیش از ۴۰ درصد بازده ویژه متان را ۴ الی ۱۲٪ کاهش می‌دهد (لهتوماکی و همکاران، ۲۰۰۷). در این آزمایش نیز ترکیب کود گاو و کلسیم در آزمایش اول و کود گاو و کلسیم در آزمایش سوم به ترتیب با ۱۶ و ۲۳ درصد بیشترین و ترکیب کود گاو به همراه فضولات مرغ و کلسیم برنج در آزمایش اول با ۵ درصد کمترین سهم محصول کشاورزی در هاضم را دارا بودند.

گاما و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که تولید متان از ترکیب فضولات مرغی و کلسیم گندم دو برابر بیشتر از تولید متان از

همراه کلسیم و کود مرغی نشان داد که تأثیر نسبت C/N بر حجم تولید بیوگاز در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر C/N بر حجم کل بیوگاز حاصل

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تیمار	۶	$1/53 \times 10^4$	$2/55 \times 10^7$	۸۵/۲۳**
خطا	۱۴	$0/419 \times 10^7$	$0/029 \times 10^7$	-
کل	۲۰	-	-	-

\*\* معنی‌دار در سطح ۱٪

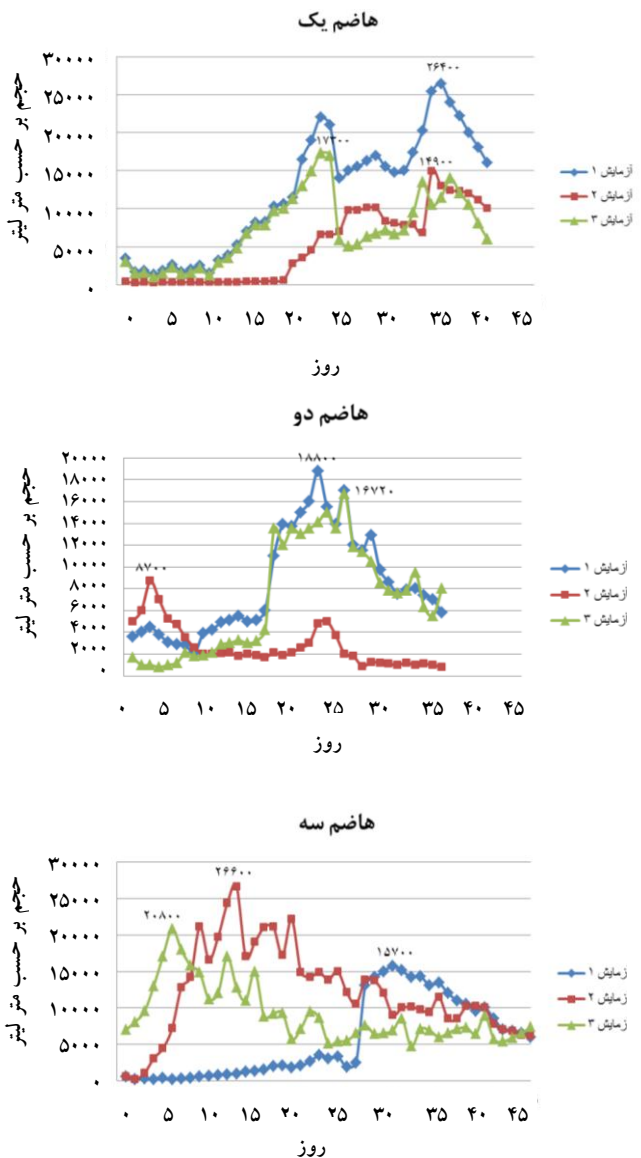
اثر ترکیبات مختلف و نسبت C/N بر میانگین حجم گاز بررسی شد (جدول ۶). همان‌طور که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین عملکرد بیوگاز در ترکیب کود گاو و کلسیم با نسبت  $C/N = 27/1$  به‌دست آمد و تقریباً با کاهش نسبت C/N میانگین حجم بیوگاز تولیدی کاهش یافت، به‌طوری که کمترین میانگین حجم تولیدی مربوط به ترکیب کود گاو به همراه کود مرغی و کلسیم با نسبت  $C/N = 9/81$  است. علت پایین بودن میانگین حجم بیوگاز تولیدی در ترکیب کود گاو و کلسیم با نسبت  $C/N = 29/26$  نسبت به ترکیب کود گاو و کلسیم با نسبت  $C/N = 27/1$  می‌تواند تغییرات زیادتر pH (۵/۹ تا ۸) در نسبت  $C/N = 29/26$  نسبت به  $C/N = 27/1$  با تغییرات pH ۶/۳ تا ۷/۶ باشد. هم‌چنین مقدار مواد درون هاضم در نسبت C/N های ۲۹/۲۶ و ۲۷/۱ به ترتیب برابر ۷/۴ kg و ۹/۲ kg می‌باشد، که پایین بودن مقدار مواد درون هاضم در نسبت  $C/N = 29/26$  نیز می‌تواند دلیلی بر کمتر بودن میانگین حجم بیوگاز تولیدی در این هاضم نسبت به هاضم دیگر باشد. بین میانگین حجم بیوگاز تولیدی در هاضم شامل کود گاو در آزمایش سوم و ترکیب کود گاو و کلسیم با نسبت  $C/N = 25$  تفاوت معناداری وجود ندارد. اما علت پایین بودن حجم گاز تولیدی در ترکیب کود گاو به همراه فضولات مرغ و کلسیم برنج، پایین بودن بیش از حد نسبت کربن به نیتروژن در این هاضم می‌باشد.

جدول ۶- آزمون مقایسه میانگین حجم بیوگاز به روش دانکن

ترکیبات مواد	میانگین حجم بیوگاز تولیدی (ml)
کود گاو + کود مرغی + کلسیم ( $C/N = 9/81$ )	۲۷۱۷/۵ <sup>a</sup>
کود گاو ( $C/N = 21$ )	۴۸۷۶/۳۹ <sup>b</sup>
کود گاو + کلسیم ( $C/N = 25$ )	۷۰۳۳/۳۳ <sup>c</sup>
کود گاو + کلسیم ( $C/N = 29/26$ )	۷۰۴۶/۹۴ <sup>c</sup>
کود گاو + کود مرغی + کلسیم ( $C/N = 20$ )	۸۳۲۲/۲۲ <sup>c</sup>
کود گاو + کلسیم ( $C/N = 27/1$ )	۱۱۲۰۰ <sup>d</sup>

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری معنی‌دار نیستند.

هضم و گاز تولید کنند. در طول انجام آزمایش، دمای محیط بین ۲۴°C تا ۳۶°C متغیر بود که این موضوع می‌تواند تا حدودی بر نرخ تولید روزانه بیوگاز تاثیر داشته باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که pH در آزمایش سوم دارای نوسانات بیشتری است نسبت به آزمایش دوم که در محدوده ایده‌آل می‌باشد. این امر نیز می‌تواند دلیلی بر افت حجم گاز تولیدی در آزمایش سوم باشد.



شکل ۳- تغییرات حجم گاز تولیدی روزانه برای هاضم‌ها در هر سه آزمایش

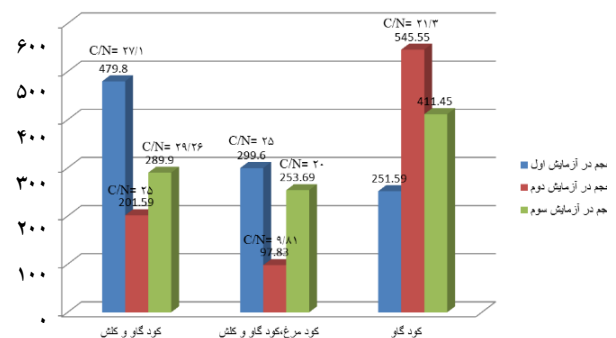
### ۳-۳- تاثیر pH بر حجم بیوگاز تولیدی

طبق جدول ۷ با تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش تولید بیوگاز برای سه ترکیب کود گاوی، کود گاوی و کلش، کود گاوی به‌همراه کلش و کود مرغی مشاهده شد که تاثیر نسبت pH بر حجم تولید بیوگاز در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

هر یک از مواد به تنهایی می‌باشد. افزودن ۱۰ تا ۳۰ درصد کود مرغ به پسماند فاضلاب موجب افزایش عملکرد تولید متان شد (خوفی و همکاران، ۲۰۱۵).

### ۲-۲- تاثیر نرخ بارگذاری مواد

نتایج حاصل از تغییر نرخ بارگذاری مواد نشان داد که میزان بیوگاز تولیدی در آزمایش دوم (ترکیب کود گاو، مرغ و کلش برنج) بیشتر از دو آزمایش دیگر است. همان‌طور که از شکل ۲ مشخص است مقدار بیوگاز تولید شده در آزمایش دوم ۱۳۴ لیتر بیش از آزمایش سوم و ۲۹۴ لیتر بیشتر از آزمایش اول می‌باشد. دلیل این امر این است که در نرخ بارگذاری پائین، میکروارگانیسم‌ها با کمبود مواد غذایی مواجه می‌شوند و هم‌چنین در نرخ بارگذاری بالا به‌دلیل جذب محصولات اصلی و انتقال مواد سمی توسط فاز جامد، فعالیت تولیدکنندگان اسید و متان مختل می‌شود. در این مواقع، پس از گذشت مدت زمانی به‌دلیل افزایش غلظت اسیدهای چرب فرار، تولید بیوگاز و متان کاهش می‌یابد. این توجیه توسط برخی محققان دیگر از جمله لی و همکاران (۲۰۱۵)، ژانگ و همکاران (۲۰۰۷)، یادویکا و همکاران (۲۰۰۴) و جوانگا (۲۰۰۵) نیز مورد تائید می‌باشد.



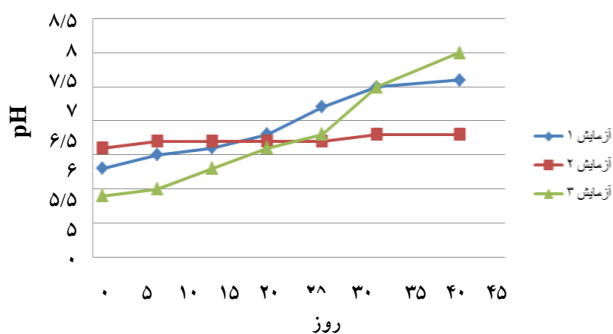
ترکیب مواد در سیکل کامل برای هر هاضم

شکل ۲- تغییرات حجم بیوگاز تولیدی کل در تمام آزمایش‌ها برای هر سه هاضم

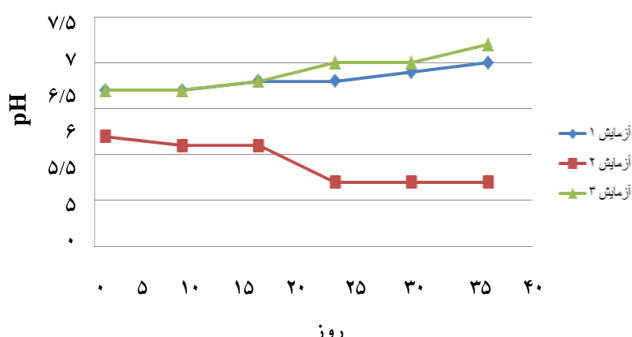
شکل ۳ نشان می‌دهد که در ۱۵ روز اول حجم بیوگاز تولید شده در آزمایش سوم بیشتر است اما با گذشت زمان کاهش می‌یابد که با نتایج سایر محققین تطابق دارد. چون در هاضم سه مقدار کود گاوی بیشتر است لذا آزاد شدن گاز سریع‌تر انجام می‌گیرد. له‌توماکی و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایشات خود بر روی فضولات گاو به همراه علوفه و قسمت فوقانی چغندر قند به این نتیجه رسیدند که افزایش نرخ بارگذاری از ۲ کیلوگرم به ۳ کیلوگرم باعث کاهش اندک بازده ویژه متان شد. اما از ۲ به ۴ کیلوگرم باعث کاهش ۴۰٪ حجم تولیدی می‌شود. مشاهده شد در اکثر مواقع روز بعد از بارگذاری با افت حجم تولیدی مواجه می‌شود که می‌تواند به علت خروج گاز به همراه مواد خروجی باشد. هم‌چنین، مدتی طول می‌کشد تا مواد ورودی جدید

۷/۲ - ۵ بود. به طوری که در ابتدا ۵ بود و با گذشت زمان افزایش پیدا کرد.

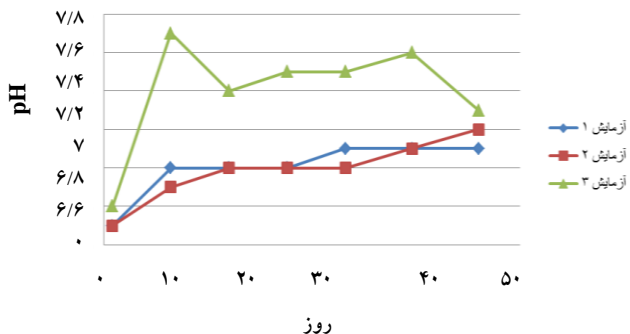
هاضم شماره یک



هاضم شماره دو



هاضم شماره سه



شکل ۴ - تغییرات pH برای هاضمها در هر سه آزمایش

المصری (۲۰۰۱) در آزمایشات خود بر روی فضولات بز، گوسفند و برگ درخت زیتون به این نتیجه رسید که کاهش pH می تواند به علت افزایش برگ زیتون باشد که حاوی مقادیر زیادی مواد لیگنوسولوزی است و هم چنین به علت کاهش در تجزیه پذیری نرخ جامدات فرار و جامدات کل در هاضم می باشد. وی آزمایشات خود را در چهار سطح ترکیبی مختلف انجام داد. سهم برگ زیتون در آزمایشات وی صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد بود. تحقیقات وی نشان داد با افزایش سهم برگ زیتون مقدار بیوگاز تولیدی کاهش یافت. با افزایش سهم برگ زیتون pH کاهش پیدا کرد و با کاهش pH بیوگاز تولیدی کاهش پیدا کرد.

جدول ۷ - تجزیه واریانس اثر pH بر حجم گاز تولیدی

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تیمار	۶	$۰.۶۳۵ \times ۱۰^{-۸}$	$۰.۳۱۸ \times ۱۰^{-۷}$	۴۱/۲۷**
خطا	۱۴	$۰.۱۰۵۴ \times ۱۰^{-۷}$	$۰.۰۱۲ \times ۱۰^{-۶}$	
کل	۲۱			

\*\* معنی دار در سطح ۱٪

جدول ۸ - آزمون مقایسه میانگین pH به روش دانکن

ترکیبات مواد	میانگین مقدار pH
کود گاوی + کود مرغی + کلش (C/N = ۹/۸۱)	۵/۸۳ <sup>a</sup>
کود گاوی + کلش (C/N = ۲۹/۲۶)	۶/۷۲ <sup>b</sup>
کود گاوی + کلش (C/N = ۲۵)	۶/۷۵ <sup>b</sup>
کود گاوی + کلش (C/N = ۲۷/۱)	۶/۸۲ <sup>b</sup>
کود گاوی + کود مرغی + کلش (C/N = ۲۵)	۶/۸۸ <sup>b</sup>
کود گاوی + کود مرغی + کلش (C/N = ۲۰)	۶/۹۸ <sup>b</sup>
کود گاوی (C/N = ۲۱)	۷/۰۵ <sup>b</sup>

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری معنی دار نیستند.

از آزمون مقایسه میانگین مشخص است که جز در هاضم شامل ترکیب کود گاوی به همراه کود مرغی و کلش با نسبت C/N = ۹/۸۱، بین pH سایر هاضمها تفاوت معناداری وجود ندارد (جدول ۸). هم چنین مشاهده می شود دو هاضمی که دارای نزدیک ترین pH به حالت خنثی می باشند دارای بیشترین نسبت فضولات گاوی می باشند. پس می توان نتیجه گرفت که فضولات گاوی نسبت به تغییرات pH مقاوم می باشند و به همین علت است که از آنها در هضم هم زمان با مواد دیگر جهت تثبیت pH هاضم استفاده می شود. از نمودارهای شکل ۴ می توان دریافت که میزان اسیدها در اکثر هاضمها در حد متعادل می باشد چرا که محدوده مناسب pH برای فعالیت میکروبی در تولید بیوگاز ۶/۸ تا ۷/۵ می باشد. با پیشرفت آزمایش تولید بیوگاز، تولید اسیدهای چرب فرار در مخزن افزایش یافته و این اسیدها بایستی توسط باکتریهای متانزا مصرف شوند (یادویکا و همکاران، ۲۰۰۴). در صورت عدم تعادل بین این اسیدها و جمعیت میکروبی، pH مخزن اسیدی شده و تولید اسیدهای چرب بیش از حد می شود. بنابراین تولید بیوگاز کند یا متوقف می شود. در این صورت برای بازگرداندن pH به حدود ۶/۵ تا ۷/۵ افزودن یک ماده قلیایی به مخزن هضم یا کاهش میزان تغذیه مواد اولیه روزانه ضروری است (المصری، ۲۰۰۱ و کیم و همکاران، ۲۰۰۶). هم چنین مشاهده شد که در تمام هاضمها جز یکی، تغییرات pH روند صعودی داشت و محیط واکنش به سمت قلیایی شدن پیش رفت. در آزمایشی که پوند و همکاران (۱۹۸۱) بر روی فضولات گاوی انجام دادند، تغییرات pH را بین ۷/۵ - ۷ گزارش کردند. هم چنین تغییرات pH برای ترکیب ۲۳٪ ساقه نیشکر با فضولات گاوی بین

## ۳-۴- آزمون شعله

هر هفته از هاضم‌ها آزمون شعله گرفته شد تا قابلیت اشتعال و میزان متان مورد بررسی قرار گیرد. در تمامی هاضم‌ها در هفته اول شعله به‌دست نیامد که نشان‌دهنده درصد پایین متان در تمامی هاضم‌ها بود. انتهای هفته دوم تنها هاضم شماره دو در آزمایش دوم (ترکیب کود مرغی به‌همراه کود گاوی و کلش برنج) شعله نداد و از مابقی هاضم‌ها شعله گرفته شد، هرچند شعله به خوبی نمی‌سوخت که این امر نشان‌دهنده شروع تولید متان در این زمان می‌باشد. هفته سوم و چهارم بیوگاز تولیدی در تمامی هاضم‌ها به‌جز هاضم شماره دو در آزمایش دوم که شعله بسیار ضعیفی داد، با شعله کاملاً آبی رنگ سوختند که نشان‌دهنده درصد بالای متان در این هاضم‌ها می‌باشد. در هفته پنجم هاضم شماره یک در آزمایش اول و هاضم شماره سه در تمام آزمایش‌ها با شعله آبی رنگ سوختند اما بقیه هاضم‌ها با شعله آبی و نارنجی سوختند که نشان‌دهنده افت مقدار متان در این هاضم‌ها بود. در هفته ششم و هفتم تنها از هاضم‌های شماره سه آزمون شعله گرفته شد که با شعله آبی و نارنجی سوختند. تحقیقات پاتهاک (۱۹۸۵) بر روی فضولات دامی و کلش برنج نشان داد در ۱۰ روز اول میانگین درصد متان در بیوگاز زیر ۴۰ درصد بود، پس از آن افزایش پیدا کرد و بعد از ۵۵ روز دوباره دچار کاهش شد اما به زیر ۵۸ درصد نرسید.

## منابع مورد استفاده

- Aboudi, K., C. J. Alvarez-Gallego and L. I. Romero-Garcia. 2015. **Semi-continues anaerobic co-digestion of sugar beet by product and pig manure, effect of organic loading rate on process performance.** *Bioresource Technology*. 94: 283-290.
- Al-masri, M. R. 2001. **Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes.** *Bioresource Technology*. 77: 97-100.
- Belle, A. J., S. Lansing, W. Mulbry and R. R. Weil. 2015. **Anaerobic co-digestion of forage radish and dairy manure in complete mix digesters.** *Bioresource Technology*. 178: 2390-237.
- Boe, K., D. Karakashev, E., Trably and I. Angelidaki. 2009. **Effect of post digestion temperature on serial CSTR biogas reactor performance.** *Water Research*. 43: 669-676.
- Bouallagui, H., Y. Touhami, R. B. Cheikh, M. Hamdi. 2005. **Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes.** *Process Biochemistry*. 40: 989-995.
- Buekens, A. 2005. **Energy Recovery from Residual Waste by Means of Anaerobic Digestion Technologies.** *The Future of Residual Waste Management in Europe Conference*.
- El-Mashad, H. M. and R. Zhang. 2010. **Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste.** *Bioresource Technology*. 101: 402-408.
- Gamma, A. O., A. H. Eltinari, and F. M. Elyamen. 2006. **Biogas production from agricultural waste.** *Journal of Food Technology*, 4, 33-39.
- Han, S. K., and H. S., Shin. 2004. **Performance of an Innovative Two-Stage Process Converting Food Waste to Hydrogen and Methane.** *Journal of Air and Waste Management Association*. 54: 242-249.
- Juanga, J. P. 2005. **Optimizing dry anaerobic digestion of organic of municipal solid waste.** *Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand*.

## ۴- نتیجه گیری نهایی

در این پژوهش به بررسی اثر ترکیب مواد مختلف با نسبت‌های متفاوت و در نتیجه نسبت‌های متفاوت C/N، نرخ بارگذاری مواد و pH بر تولید بیوگاز در ترکیبات مختلف فضولات گاوی، مرغی و کلش برنج پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که بهترین نسبت کربن به نیتروژن برای تولید بیوگاز در ترکیب کود گاوی و کلش با نسبت‌های C/N، ۲۵، ۲۷/۱ و ۲۹/۲۶ در نسبت C/N=۲۷/۱ به‌میزان ۱۱۲۰۰ ml به‌دست آمد. pH تمامی هاضم‌ها به جز هاضم شامل ترکیب کود گاوی، مرغی و کلش برنج با نسبت C/N=۹/۸۱ که دارای pH برابر با ۵/۸۳ بود، تقریباً در محدوده خنثی (pH=۷) قرار داشت. در هاضم سوم با نرخ بارگذاری ۳ لیتر به‌ازای هر سه روز، بیشترین میزان بیوگاز تولیدی به‌میزان ۴۷۲/۶۵ لیتر در مدت زمان ۳۶ روز بدست آمد. از هاضم شامل کود گاوی با نرخ بارگذاری ۳ لیتر به‌ازای هر سه روز در زمان ماند ۴۵ روز، حدود ۱۳۴ لیتر بیش از هاضم با نرخ بارگذاری یک لیتر و ۲۹۴ لیتر بیش از نرخ بارگذاری ۶ لیتر گاز به‌دست آمد.

## سپاس‌گزاری

از همکاری مدیر محترم گاوداری فلاحتی و کمک آقایان مهندس هاشم نژاد و طلوتی در انجام آزمایش‌ها سپاس‌گزاری می‌شود.



- Khoufi, S., A. Louhichi and S. Sayadi. 2015. **Optimization of anaerobic co-digestion of olive mill waste water and liquid poultry manure in batch condition and semi-continues reactor.** *Bioresource Technology*. 182: 67-74.
- Kim, J. K., B. R. Oh, Y. N., Chun and S.W. Kim. 2006. **Effects of temperature and retention time on anaerobic digestion of food waste.** *Journal of Bioscience and Bio-energy*. 102: 328-332.
- Lehtomaki, A., S. Hultunen and A. Rintala. 2007. **Laboratory investigation of co-digestion of crop residues with cow manure for methane production.** *Resources, Conservation and Management*. 51: 591-609.
- Li, D., S. C. Liu, L. Mi, Z. D. Li, Y. X. Yuan, Z. Y. Yan and X. F. Liu. 2015. **Co-digestion of tobacco wastewith different agricultural biomass feedstocks and inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion.** *Bioresource Technology*. 189: 210-216.
- Muller, H. B., Sommer, S. G. and B. K. Ahring. 2004. **Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure.** *Biomass and Bioenergy*. 26: 485-495.
- Pathak, B. S., A. K., Jain, and D. S. Dev. 1985. **Biogasification of cattle dung and cattle dung-rice straw manure at different solid waste methanization in landfills: Biotechnology and Bioenergy.** 97: 473-482.
- Pound, B., F. Done and T. R. Preston. 1981. **Biogas production from mixtures of cattle slurry and pressed sugar cane stalk, with and without urea.** *Tropical animal production*. 16: 345 -351.
- Poulsen, T. G. 2003. **Anaerobic digestion, Solid waste management,** Aalborg University Publications, 25, 93-115.
- Riggio, V., E. Comino and M. Rosso. 2015. **Energy production from anaerobic co digestion processing of cow slurry, olive pomace and apple pulp.** *Renewable Energy*, 83, 280-293.
- Schanbacher, F. L., L. B., Willett, D. C., Borger, R. L., Neiswander and M., Gratz. 2005. **Bioprocess Associated with anaerobic Digestion of Manure and Food Wastes for the Production of Biogas.,** *Animal Waste Management Symposium.*
- Song, Z. I. and C. Zhang. 2015. **Anaerobic co-digestion of pretreated wheat straw with cattle manure and analysis of microbial community.** *Bioresource Technology*. 186: 128-135.
- Spionosa, L. and P. A. Vesilind. 2001. **Sludge in to Biosolids: Processing, Disposal, Utilization,** IWA Publication.
- Vivekanandan, S. and G. Kamaraj. 2011. **Investigation on cow dung as co-substrate with pretreated sodium ydroxide on rice chaff for efficient biogas production.** *International Journal of Science and Technology*. 4: 354-360.
- Wu, X., W. Yao, J. Zhu and C. Miller. 2010. **Biogas and CH<sub>4</sub> productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source.** *Bioresource Technology*. 101 (11): 4042-4047.
- Yadvika, S., T. R. Sreekrishnan, S. Kohli and V. Rana. 2004. **Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—A review.** *Bioresource Technology*. 95: 1-10.
- Zaher, U., D. Y. Cheong, B. Wu and S. Chen. 2007. **Producing energy and fertilizer from organic municipal solid waste,** Department of Biological Systems Engineering Washington State University, Ecology Publication No. 07-07-024
- Zhang, R., H. M. El-Mashad, K. Hartman, F. Wang, G. Liu, C. Choate and P. Gamble. 2007. **Characterization of Food Waste as Feedstock for Anaerobic Digestion.** *Bioresource. Technology*. 98: 929-935.
- Zhang, Q., J. Hu, and D. J. Lee. 2016. **Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates.** *Renewable Energy*, 98, 108-119.

# Investigation of the effect of C/N, material loading rate and pH on biogas production from animal wastes and rice straw

A. Koluri<sup>1</sup>, R. Tabatabaekoloor<sup>1\*</sup> and S. J. Hashemi<sup>1</sup>

Received: 20 Sep 2014

Accepted: 13 June 2017

<sup>1</sup>Department of Biosystems Engineering, Agricultural Engineering Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

\*Corresponding Author: r.tabatabaei@sanru.ac.ir

## Abstract

One of the useful and innovative solutions to solve the problems of agricultural and animal wastes is biogas production from these materials that is valuable and environmentally friendly fuel. In this study, the factors affecting biogas production including C/N ratio, loading rate, retention time and pH were investigated in combination of poultry manure, cattle dung and rice straw. The experiments were carried out in three stages and in each stage three digesters were used in each experiment. The first digester contained the combination of cow manure and rice straw, the second digester contained the combination of cow manure, poultry manure and rice straw, and the third digester was devoted to the cow manure. The ratio of materials to water was approximately 1 to 2 in all digesters. The results showed that the maximum amount of biogas (11200 ml) obtained at the first digester with C/N=27.1, and the minimum biogas (2717.5 ml) was produced in the second digester with C/N=9.81. It was determined that the large reduction in C/N caused a sharp drop in the amount of biogas production so that in the second test at digesters No.2 with C/N=9.81, the rate of biogas production dropped to 97.83 liters. At the third digester with 3 liter loading rate per three days, the maximum biogas production was 472.6 liter during 36 days. Also, the closer pH to neutral resulted in higher performance. Cow manure was resistant against pH changes so it can be used as a stabilizer of the digestion process. In general, adding rice straw to cattle dung increased the amount of produced biogas. Flame test showed that the highest amount of methane in the biogas is in the middle of digestion process.

**Keywords:** Biogas, C/N ratio, Organic waste, Anaerobic digestion