تولید بیوگاز از پساب کارخانه کاغذ بازیافت شده توسط UASB هاضم: شرایط بهینه و مزوفیلیک

علیرضا طلوعی[۱*]، محمد احمدی[۲]

۱*- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: Alirezatoloueiuma@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۳/۱۹

چکیده

هضم بی هوازی (AD) به یک منبع جایگزین و یک روش درمانی جذاب تبدیل شده است. هاضم لجن بی هوازی Upflow (UASB) برای تصفیه پساب کارخانه کاغذ بازیافتی (RPMW) طراحی شده است. این مقاله تحقیقی را در مورد هضم بی هوازی RPMW با استفاده از فناوری UASB ارائه می‌کند. هاضم UASB با توجه به مشخصات پساب و نرخ تغذیه با حجم ۷۰ لیتر طراحی شود. راکتور UASB که RPMW را تصفیه می کند به مدت ۱۳۰ روز با حداقل مشکلات اضافه بار کار می‌کند. آزمایش‌ها در دمای مزوفیل (۳۷ درجه سانتی‌گراد) با نرخ‌های بارگذاری آلی مختلف (OLR) انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل روزانه برای اطمینان از کارایی هاضم انجام می‌شود. در این مطالعه، آزمایش AD در حالت پیوسته با دبی ورودی پساب معادل ۱ لیتر در ساعت انجام می‌شود. راکتور در زمان ماند هیدرولیکی بهینه ۱۵,۱۴ (HRT) ساعت با حجم تولید بیوگاز با مقدار بهینه ۶۲.۵ L/d کار می کند. پیش بینی می‌شود که RPMW را می توان به طور موثر در یک راکتور UASB با مزیت تولید بیوگاز تیمار کرد.

کلمات کلیدی

"تولید بیوگاز"، "پساب کاغذ سازی"، "کاغذ بازیافتی"، "UASB"

۱- مقدمه

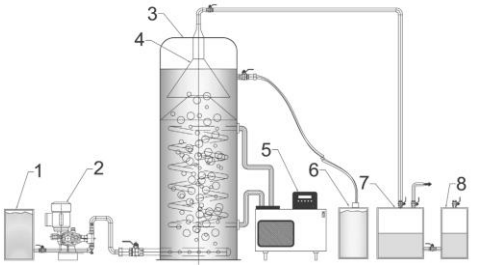
صنعت خمیر و کاغذ مصرف کننده بزرگ انرژی و آب است. فرآیند صنعتی آن مقادیر قابل توجهی پساب آلی با غلظت اکسیژن شیمیایی بالا (COD) تولید می کند (Badshah et al., ۲۰۱۲). با توجه به مواد خام مورد استفاده در فرآیند، دو نوع صنعت تولید کاغذ وجود دارد: خمیر کاغذ خالص و کاغذ بازیافتی. در این کار ما بر پساب صنعت کاغذ بازیافتی تمرکز می‌کنیم. مقدار عظیمی از مواد زائد آلی تولید شده از صنعت کاغذ بازیافتی ممکن است به بیومتان تبدیل شده و به انرژی تجدیدپذیر تبدیل شود (Bakraoui, Karouach, et al., ۲۰۱۹; Meyer & Edwards, ۲۰۱٤). روش های مختلفی برای تصفیه پساب خمیر و کاغذ، روش های تصفیه فیزیکوشیمیایی مانند (رسوب گذاری و شناورسازی، انعقاد و رسوب، فیلتراسیون، اسمز معکوس، جذب، اکسیداسیون مرطوب، ازن زنی و سایر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته) و روش های تصفیه بیولوژیکی مانند (هضم بی هوازی، درمان هوازی و درمان قارچ) (Kamali & Khodaparast, ۲۰۱۵). از جمله این تکنیک ها می توان به هضم بی هوازی اشاره کرد که فرآیندی پایدار برای تصفیه پساب محسوب می شود. در واقع کاهش قابل توجهی در جرم مواد ورودی (Bakraoui, Hazzi, et al., ۲۰۱۹) و غلظت COD را در مقایسه با فرآیند لجن فعال کاهش می دهد (Pontual et al., ۲۰۱۵). این تکنیک مزایای بیشتری نسبت به فرآیندهای هوازی و فیزیکوشیمیایی از جمله سادگی طراحی و نیاز به انرژی کمتر دارد (Zwain et al., ۲۰۱۳). توجه داشته باشید که در حالت تصفیه هوازی، لجن غلیظ تولید شده در مقادیر زیاد توسط تاسیسات تصفیه پساب کارخانه های بازیافت کاغذ یک مشکل جدی دفع است که نیاز به راه حلی فوری دارد، فرآیند تخریب در مقایسه با فرآیندهای هوازی معمولی موثر است و تنها ۵ تا ۱۰ درصد لجن تولید می کند. این باعث صرفه جویی قابل توجهی در هزینه و اقدامات مرتبط با دفع لجن می شود (Badshah et al., ۲۰۱۲; Nkemka & Murto, ۲۰۱۳; Verma & Kumar, ۲۰۱۳). علاوه بر این، UASB هاضم می تواند در مقیاس کوچک و بزرگ قابل استفاده باشد (Ouhammou et al., ۲۰۱۹; Verma & Kumar, ۲۰۱۳). بسیاری از انواع مختلف راکتورهای بی هوازی مانند فیلتر بی هوازی با جریان بالا، لجن بی هوازی پوشیده شده با جریان بالا (UASB) + چرخش جزئی، بیوراکتور غشایی بی هوازی غوطه ور (SAnMBR) و راکتور بافل شده بی هوازی اصلاح شده (MABR) (Deshmukh et al., ۲۰۰۹; Lin et al., ۲۰۱۱). رایج ترین مورد استفاده برای تصفیه پساب های صنعتی و شهری، هاضم UASB است که از نظر عملیاتی پایدار و از نظر انرژی کارآمد است. UASBreacto در جایی که در ته لجن دانه ای قرار دارد، یک سیستم تشویق کننده است زیرا می تواند راندمان حذف COD نسبتاً بالایی و تولید انرژی به شکل متان فراهم کند (Na et al., ۲۰۱٦; Nkemka & Murto, ۲۰۱۳). به دلیل بازده کم بیوگاز، پردازش بی هوازی لجن زیستی هنوز در کارخانه های خمیر کاغذ انجام نشده است (Bonilla et al., ۲۰۱۸). کارایی حذف COD به طور قابل توجهی با تشکیل لجن دانه ای غلیظ که در ارتفاع نسبتاً بالایی از فیلتر بیولوژیکی در هاضم بازیافت می شود، بهبود می یابد (Li et al., ۲۰۱۸). علاوه بر این، یکی از شرایط اساسی برای موفقیت فرآیند هضم بی‌هوازی با سرعت بالا در راکتورهای UASB، توسعه لجن دانه‌ای است، لجن بسیار قابل ته‌نشینی با فعالیت متانوژن بالا (Badshah et al., ۲۰۱۲).

امکان سنجی راکتور UASB به اندازه کافی برای تصفیه پساب های عمدتا محلول نشان داده شده است (Rosa et al., ۲۰۱۸). هدف از این تحقیق طراحی یک هاضم بی هوازی با جریان بالا از نوع UASB می باشد. این فرآیند با توجه به راندمان حذف COD و VFA آن ارزیابی می‌شود. نتایج برای درک بهتر فرآیند ارائه شد. هضم با بستری از لجن دانه ای بی هوازی که از یک کارخانه بیوگاز بازیافت می شود شروع می شود. برای جداسازی فاز مایع و گاز یک جداکننده فاز در بالای هاضم تعبیه می‌شود. این سیستم می تواند راه حل مناسبی برای تصفیه پساب صنعتی در جامعه باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- راه اندازی و روش آزمایشی

شکل ۱. تنظیمات آزمایشی را نشان می دهد که از یک مخزن بافر ذخیره ورودی نصب شده قبل از هاضم UASB تشکیل شده است؛ نقش مخزن بافر کنترل و تنظیم پارامترهای فیزیکوشیمیایی ورودی قبل از تغذیه به راکتور است. یک پمپ پریستالتیک تغذیه هاضم را با دبی ۰.۵ تا ۴.۵ لیتر در ساعت حفظ می کند. نتایج طراحی هاضم حجم کلی ۷۰ لیتر به ارتفاع ۱ متر و قطر ۰.۳۰ متر بود. قسمت بالای هاضم UASB شامل جداکننده گاز–مایع–جامد با ارتفاع ۰.۳۰ متر می باشد. این دستگاه امکان بازیابی بیوگاز را فراهم می کند. به منظور حفظ شرایط مزوفیلیک فرآیند، یک مبدل مارپیچ در داخل هاضم ثابت شده است (Ouhammou et al., ۲۰۱۷).



شکل ۱. شماتیک یک هاضم UASB، طراحی شده برای تصفیه پساب صنایع خمیر و کاغذ بازیافتی.

شکل ۱ هاضم UASB طراحی شده مورد استفاده در این کار، مخزن ورودی (۱)، پمپ تغذیه ورودی (۲)، هاضم مخزن سیلندر UASB(۳) با حجم کل ۷۰ لیتر، جداکننده "مایع–گاز جامد" (۴) شامل آب گرمایش ترموستات (۵) برای شرایط مزوفیل(۳۷ درجه سانتیگراد)، مخزن پساب (۶)، گازومتر (۷)، لوله مدرج (۸) برای اندازه گیری حجم آب جابجا شده از گازومتر.

حجم بیوگاز تولید شده در طول فرآیند با استفاده از یک مخزن آب ۱۶ لیتری متصل به راکتور (مخزن بویل–ماریوت) اندازه گیری می‌شود. حجم بیوگاز حجم برابر قابل اندازه گیری آب را از مخزن جابجا می‌کند. حجم بیوگاز با در نظر گرفتن تأثیر فشار و دما در مقیاس آزمایشگاهی استاندارد شده و در شرایط عادی (۰ درجه سانتی گراد و ۷۶۰ میلی متر جیوه) بیان می‌شود.

۲-۲- رویه آزمایشی

هاضم مزوفیل UASB با لجن دانه ای از هاضم UASB در مقیاس کامل تلقیح می‌شود و پساب صنعتی را تصفیه می‌کند. در طول راه اندازی UASB، هاضم به طور مداوم با RPWM با استفاده از یک پمپ پریستالتیک تغذیه می‌شود. تغذیه هاضم UASB با جریان کم برای تطبیق لجن دانه ای با شرایط دمای جدید (۳۷±۲C) و برای جلوگیری از خراب شدن آن‌ها در طول اولین مرحله، به منظور تسریع راه اندازی راکتور است. گرم شدن هاضم با چرخش مجدد آب داغ با استفاده از یک مبدل مارپیچی در داخل هاضم حفظ می‌شود (شکل ۱). آزمایش در حالت پیوسته با معرفی تدریجی RPWM انجام می‌شود. این آزمایش نه مرحله را طی کرده می‌کند؛ از مرحله ای به مرحله دیگر، سرعت جریان را ۰.۵ لیتر در ساعت افزایش می دهیم، از ۰.۵ به ۴.۵ L/h.

۲-۳- تجزیه و تحلیل شیمیایی

پارامترهای زیر در مقیاس آزمایشگاهی عمدتاً: pH، رطوبت، قلیائیت (Alk)، جامدات کل (TS)، جامدات معدنی (MS)، جامدات فرار (VS) و اسیدهای چرب فرار (VFA) تجزیه و تحلیل می‌شوند. همه آنالیزها بر اساس "روشهای استاندارد برای بررسی آب و پساب" [۲۲] انجام می‌شود. COD با استفاده از روش هضم راکتور HACH (HACH Spectrophotometer DR۲۰۱۰, USA) تعیین می‌شود و غلظت زیست توده در راکتور با استفاده از روش استاندارد MLSS (Li et al., ۲۰۰۹; Rice et al., ۲۰۱۲) اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین TS، نمونه ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک می‌شوند، برای اندازه گیری غلظت MS، مواد خشک شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت حرارت داده می‌شوند. محتوای جامد فرار از تفاوت بین جامدات کل و معدنی محاسبه می‌شوند. قلیاییت با روش تیتراسیون در pH ٤٫٥ تعیین می‌شود.

۲-۳-۱-بستر لجن گرانول(دانه‌ای)

راکتور با ۲۵ لیتر لجن دانه‌ای تلقیح می‌شود. بستر لجن دانه ای مورد استفاده در این آزمایش از یک هاضم UASB در مقیاس کامل بازیابی می شود. جدول ۱ مشخصات بستر لجن دانه ای مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد.

پارامتر	واحد	میانگین
PH	-	۷.۴
COD (chemical oxygen demand)	mg/L	۵۳۳۰.۵
ALK (alkalinity)	$mgCaCO_3/L$	۳۲۵۰
TS (total solid)	g/L	۳۲.۹۹
VS (volatile solid)	g/L	۲۷.۲۸
MS (mineral solid)	g/L	۵.۷۱
%TS	%	۳.۲۱
VS (%TS)	%	۸۲.۷۰
رطوبت (%)	%	۹۶.۷۹
قطر	Mm	۱–۱.۵
رنگ	-	مشکی

تکنیک تشکیل بیوگرانول به طور کامل شناخته نشده است. نقش ریز ذرات بی اثر به عنوان آغازگر دانه بندی شناسایی شده است. اهمیت غلظت کلسیم (بیش از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در پدیده تثبیت گرانول اغلب گزارش شده است. وجود نشاسته نیز یک عنصر مطلوب است. خواص ته نشینی این گرانول ها عالی است (۱۵ تا ۸۰ متر در ساعت)، که به آنها اجازه می دهد تا در بستر لجن استفاده شوند که از طریق آن مایع مورد تصفیه از پایین به بالا بدون حباب قابل توجهی جریان می یابد. این فرآیند که به عنوان UASB شناخته می‌شود، امروزه گسترده ترین فرآیند در متانیزاسیون زباله است.

۲-۳-۲- مشخصات تأثیرگذار

تمام تجزیه و تحلیل بر اساس "روش های استاندارد برای بررسی آب و پساب" (Rice et al., ۲۰۱۲) انجام می‌شود. نسبت BOD۵/COD ۱.۴ نشان می دهد که پساب غنی از مواد آلی زیست تخریب پذیر است (Zwain et al., ۲۰۱۳)، به این معنی که می تواند برای تصفیه بی هوازی مناسب باشد. نسبت BOD۵/COD ۰,۵ نشان می دهد که این پساب از نوع آلی با استحکام بالا است (Zwain et al., ۲۰۱۳). در واقع، مطالعات اخیر نشان می دهد که COD پساب کارخانه کاغذ از ۳۳۴۸ تا ۳۷۶۵ میلی گرم در لیتر، TS از ۳۰۶۷ تا ۳۳۰۷ میلی گرم در لیتر و pH از ۶.۳۲ تا ۷.۶ متغیر است (Birjandi et al., ۲۰۱٦). مطالعه دیگری خصوصیات فیزیکوشیمیایی پساب کارخانه کاغذ بازیافتی را خلاصه می‌کند، نشان می دهد که COD بین ۳۳۸۰-۴۹۳۰ میلی گرم COD/L، BOD بین ۱۶۵۰-۲۵۶۵ میلی گرم در لیتر و TS بین ۳۵۳۰-۶۱۶۳ میلی گرم در لیتر متغیر است (Zwain et al., ۲۰۱۳). اینفلوئنت همچنین دارای pH نسبتاً خنثی بین ۶.۲ تا ۷.۶ می‌باشد که بدون هیچ گونه تنظیم قلیایی استفاده می‌شد. (Chandra & Singh, ۲۰۱۲; Dessì et al., ۲۰۱۸).

۲-۴- عملیات راکتور

۲-۴-۱- زمان نگهداری هیدرولیک (HRT)

HRT به عنوان یک پارامتر مهم در نظر گرفته می شود که عملکرد هاضم UASB را کنترل می کند (Kaviyarasan, ۲۰۱٤). HRT در طول آزمایش با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$HTR = \frac{VI}{Q}$$

V l: حجم مایع در راکتور استفاده شده (۵۳ لیتر)

Q: سرعت جریان (L/h)

۲-۴-۲- نرخ بارگذاری آلی (OLR)

به عنوان HRT، OLR یک پارامتر بسیار مهم است که عملکرد هاضم UASB را کنترل می کند (Kaviyarasan, ۲۰۱٤).

OLR با استفاده از رابطه:

$$ORL = \frac{Q \times S.}{VI}$$

با:

Q: سرعت جریان (L/h)

.S: غلظت بستر ورودی (گرم COD/L)

ا V: حجم مایع در راکتور. حجم استفاده شده (۵۳ لیتر)

۳- نتایج و بحث

هدف از نظارت بر پارامترهای پایداری کنترل و اطمینان از عملکرد فرآیند است. پارامترهای اصلی کنترل عبارتند از: تکامل pH، قلیاییت (Alk)، اسید چرب فرار (VFA)، نسبت VFA/Alk و نیاز شیمیایی اکسیژن (COD).

۳-۱- پارامترهای پایداری

۳-۱-۱- تکامل pH

pH یک پارامتر ضروری است که برای کنترل ثبات فرآیند هضم بی هوازی استفاده می شود. مقدار میانگین pH ورودی و خروجی در طول فرآیند محاسبه می‌شود. نوسان pH در محدوده خنثی بود که عملکرد صحیح فرآیند و پایداری هاضم UASB را تایید می‌کند. در واقع، چندین مطالعه گزارش کردند که بیشتر باکتری‌های بی‌هوازی، به‌ویژه متانوژن‌ها، تولید بیوگاز را در محدوده ٦,٥ pH تا ۷.۵ افزایش می‌دهند (Nayono, ۲۰۱۰). یک مطالعه قبلی در مورد تیمار RPMW با استفاده از راکتور بافل شده بی هوازی اصلاح شده (MABR)، گزارش داد که pH در طول فرآیند کمی از ۷.۳ به ۶.۲ کاهش یافته است (Chelliapan et al., ۲۰۱۲; Zwain et al., ۲۰۱۳).

۳-۱-۲- تکامل اسیدهای چرب فرار

محتوای اسید چرب فرار یک پارامتر اساسی برای نظارت بر فرآیند هضم بی هوازی است. تجمع VFA باعث جابجایی بی کربنات به CO۲ محلول می‌شود و CO۲ تا حدی در فاز گاز عبور می‌کند. تجمع آن‌ها در هاضم منجر به اضافه بار آلی و اسیدی شدن محتوای هاضم می‌شود که منجر به شکست فرآیند می‌شود. چندین مطالعه نشان می دهد که اضافه بار آلی در هاضم ها به دلیل تجمع VFA است، و اغلب استات اولین بار را جمع می‌کند، غلظت کل VFA کمی یا ثابت افزایش می‌یابد.

۳-۲- عملکرد هاضم

عملکرد هاضم با توجه به چندین پارامتر مانند راندمان حذف COD، تولید بیوگاز، HRT و OLR اعمال شده، که به نرخ جریان ورودی بستگی دارد، ارزیابی می‌شود. عملکرد هاضم UASB متناسب با رشد OLR افزایش می یابد و تولید بیوگاز زمانی که راندمان حذف مطابق با OLR افزایش می یابد افزایش می یابد. پیش بینی می‌شود حجم بیوگاز تولید شده در مرحله اول فرآیند به طور قابل توجهی تغییر کند و در طول دوره عملیاتی تثبیت شود. راکتور در یک حالت پیوسته با معرفی RPWM در OLR گرم COD/L d راه اندازی می‌شود و به مدت تقریبی۱۰۰ ساعت کار می‌کند تا زمانی که راکتور تثبیت شود.

۳-۲-۱- تولید بیوگاز

پیش بینی می‌شود تولید بیوگاز به طور قابل توجهی در اولین اجرا (HRT) افزایش یابد و در طول دوره عملیاتی تثبیت شود. پس از آن شاهد کاهش قابل توجهی در حجم تولید بیوگاز باشیم. مطالعه هضم بی هوازی با استفاده از هاضم UASB با پساب شستشوی باگاس از کارخانه خمیر و

کاغذ بر پایه کشاورزی، نشان می دهد که راندمان بین ۸۰ تا ۸۵ درصد بوده و تولید بیوگاز به ۵۲۰ لیتر بر کیلوگرم COD رسیده است (Chinnaraj & Rao, ۲۰۰٦). بررسی مطالعه دیگری برای تصفیه بی هوازی پساب صنعتی انجام شد که گزارش داد برای هضم بی هوازی پساب های صنایع خمیر و کاغذ، راندمان از نظر کاهش COD حدود ۸۰ درصد و تولید متان ۳۴۰ لیتر بر کیلوگرم COD بود. با این حال، پساب حاصل از شستشوی سلولزی، کاهش COD تنها ۲۰-۳۰٪ بود و بازده متان ۲۷۰۳۶۰ L/kg COD حذف شد (Rao & Bapat, ۲۰۰٦; Saleh & Mahmood, ۲۰۰٤). همچنین، Gangagni و همکاران دریافتند که تولید متان در محدوده ۳۱۰-۳۳۰ L/kg COD حذف شده است، با تصفیه مایع پیش هیدرولیز رقیق شده از پساب خمیر و کاغذ، با راندمان حذف ۷۵-۷۰ COD٪ [۳۵] . با این حال، مطالعه ای توسط Hasnidah و همکاران انجام شد که در آن‌ها یک راکتور توالی یابی کربن فعال گرانولی در مقیاس آزمایشگاهی برای تصفیه پساب یک کارخانه کاغذ بازیافتی ایجاد کردند. در این مطالعه، حذف COD در محدوده ۵۳ تا ۹۲ درصد بود، طولانی ترین HRT مشاهده شده ۴۸ ساعت است (Osman et al., ۲۰۱۳).

۳-۲-۲- تکامل مواد آلی

نرخ بارگذاری آلی یکی از مهم ترین پارامترها در عملکرد یک هاضم بی هوازی است. به عنوان مقدار مصرف مواد آلی فرار در هر حجم هاضم در روز تعریف می‌شود. این پارامتر نشانه ای از تخریب بیولوژیکی زیرلایه ها را نشان می‌دهد، یعنی کارایی هاضم بی هوازی را توصیف می‌کند. هاضم طراحی شده نشان می دهد که AD از RPWM، برای OLR که از ۱ تا ۱۰ گرم COD/L در روز متغیر است، به عملکرد هاضم پایدار اجازه می دهد.

۳-۲-۳- روش Buswell

تجزیه و تحلیل ابتدایی RPWM نشان می‌دهد: درصد کربن، هیدروژن، اکسیژن، گوگرد و نیتروژن. از این نتایج و معادله Buswell، می‌توان مقدار نظری بیوگاز و تولید بیومتان و درصد هر گاز در بیوگاز را محاسبه کرد (El Bari et al., ۲۰۱۸). نتایج با معادله روش Buswell به دست می‌آید.

۴- نتیجه گیری

پیش بینی می‌شود که گرانول های هاضم UASB در تبدیل مواد آلی از پساب به بیوگاز موثر هستند. به نظر می رسد راکتور بارهای آلی بالایی را پشتیبانی کند؛ همچنین این تکنیک فرصتی عالی برای بهره‌برداری از مزایای اقتصادی انرژی تولید شده از این فرآیند است که می‌تواند به توسعه سیستم‌های کارآمدتر و پایدار کمک کند.

منابع

Badshah, M., Parawira, W., & Mattiasson, B. (۲۰۱۲). Anaerobic treatment of methanol condensate from pulp mill compared with anaerobic treatment of methanol using mesophilic UASB reactors. Bioresource technology, ۱۲٥, ۳۱۸-۳۲۷ .

Bakraoui, M., Hazzi, M., Karouach, F., Ouhammou, B., & El Bari, H. (۲۰۱۹). Experimental biogas production from recycled pulp and paper wastewater by biofilm technology. Biotechnology letters, ٤۱, ۱۲۹۹-۱۳۰۷ .

Bakraoui, M., Karouach, F., Ouhammou, B., Aggour, M., Essamri, A., & El Bari, H. (۲۰۱۹). Kinetics study of the methane production from experimental recycled pulp and paper sludge by CSTR technology. Journal of Material Cycles and Waste Management, ۲۱(٦), ۱٤۲٦-۱٤۳٦ .

Birjandi, N., Younesi, H., & Bahramifar, N. (۲۰۱٦). Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology. Applied Water Science, ٦, ۳۳۹-۳٤۸ .

Bonilla, S., Choolaei, Z., Meyer, T., Edwards, E. A., Yakunin, A. F & ,.Allen, D. G. (۲۰۱۸). Evaluating the effect of enzymatic pretreatment on the anaerobic digestibility of pulp and paper biosludge. Biotechnology reports, ۱۷, ۷۷-۸٥ .

Chandra, R., & Singh, R. (۲۰۱۲). Decolourisation and detoxification of rayon grade pulp paper mill effluent by mixed bacterial culture isolated from pulp paper mill effluent polluted site. Biochemical Engineering Journal, ٦۱, ٤۹-٥۸ .

Chelliapan, S., Mahat, S. B., Din, M. F. M., Yuzir, A., & Othman, N. (۲۰۱۲). Anaerobic digestion of paper mill wastewater. Iranica Journal of Energy & Environment, ۳(۲), ۸٥-۹۰ .

Chinnaraj, S., & Rao, G. V. (۲۰۰٦). Implementation of an UASB anaerobic digester at bagasse-based pulp and paper industry. Biomass and Bioenergy, ۳۰(۳), ۲۷۳-۲۷۷ .

Deshmukh, N., Lapsiya ,K., Savant, D., Chiplonkar, S., Yeole, T., Dhakephalkar, P., & Ranade, D. (۲۰۰۹). Upflow anaerobic filter for the degradation of adsorbable organic halides (AOX) from bleach composite wastewater of pulp and paper industry. Chemosphere, ۷٥(۹), ۱۱۷۹-۱۱۸٥ .

Dessì, P., Porca, E., Lakaniemi, A.-M., Collins, G., & Lens, P. N. (۲۰۱۸). Temperature control as key factor for optimal biohydrogen production from thermomechanical pulping wastewater. Biochemical Engineering Journal, ۱۳۷, ۲۱٤-۲۲۱ .

El Bari, H., Bakraoui ,M., & Karouach, F. (۲۰۱۸). Energetic Potentiel of Recycled Pulp and Paper Sludge. Book of Ecological Sustainable Waste Management, Morocco .

Kamali, M., & Khodaparast, Z. (۲۰۱۵). Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment .Ecotoxicology and environmental safety, ۱۱٤, ۳۲٦-۳٤۲ .

Kaviyarasan, K. (۲۰۱٤). Application of UASB reactor in industrial wastewater treatment–a review. Int. J. Sci. Eng. Res, ٥(۱), ٥۸٤-٥۸۹ .

Li, H., Han, K., Li, Z., Zhang, J., Li, H., Huang, Y., Shen, L ,.Li, Q., & Wang, Y. (۲۰۱۸). Performance, granule conductivity and microbial community analysis of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors from mesophilic to thermophilic operation. Biochemical Engineering Journal, ۱۳۳, ٥۹-٦٥ .

Li, J., Carlson, B .E., & Lacis, A. A. (۲۰۰۹). A study on the temporal and spatial variability of absorbing aerosols using Total Ozone Mapping Spectrometer and Ozone Monitoring Instrument Aerosol Index data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, ۱۱٤(D۹) .

Lin, H., Liao, B.-Q., Chen, J., Gao, W., Wang, L., Wang, F., & Lu, X. (۲۰۱۱). New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge. Bioresource technology, ۱۰۲(۳), ۲۳۷۳-۲۳۷۹ .

Meyer ,T., & Edwards, E. A. (۲۰۱٤). Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastewater and sludge. Water research, ٦٥, ۳۲۱-۳٤۹ .

Na, J.-G., Lee, M.-K., Yun, Y.-M., Moon, C., Kim, M.-S., & Kim, D.-H. (۲۰۱٦). Microbial community analysis of anaerobic granules in phenol-degrading UASB by next generation sequencing. Biochemical Engineering Journal, ۱۱۲, ۲٤۱-۲٤۸ .

Nayono, S. (۲۰۱۰). Anaerobic digestion of organic wastes for energy. Hyderabad, Telangana, India .

Nkemka, V. N., & Murto, M. (۲۰۱۳). Biogas production from wheat straw in batch and UASB reactors: the roles of pretreatment and seaweed hydrolysate as a co-substrate. Bioresource technology, ۱۲۸, ۱٦٤-۱۷۲ .

Osman, W. H. W., Abdullah, S. R. S., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Abd Rahman, R. (۲۰۱۳). Simultaneous removal of AOX and COD from real recycled paper wastewater using GAC-SBBR. Journal of environmental management, ۱۲۱, ۸۰-۸٦ .

Ouhammou, B., Aggour, M., Frimane, Â., Bakraoui, M., El Bari, H., & Essamri, A. (۲۰۱۹). A new system design and analysis of a solar bio-digester unit. Energy Conversion and Management, ۱۹۸, ۱۱۱۷۷۹ .

Ouhammou, B., Naciri, M., Aggour, M., Bakraoui, M., Karouach, F., & El Bari, H. (۲۰۱۷). Design and analysis of integrating the solar thermal energy in anaerobic digester using TRNSYS: application kenitra-Morocco. Energy Procedia, ۱٤۱, ۱۳-۱۷ .

Pontual, L., Mainier, F., & Lima, G. (۲۰۱٥). The biogas potential of pulp and paper mill wastewater: an essay. Am. J. Environ. Eng, ٥(۳), ٥۳-٥۷ .

Rao, A. G., & Bapat, A. (۲۰۰٦). Anaerobic treatment of pre-hydrolysate liquor (PHL) from a rayon grade pulp mill: pilot and full-scale experience with UASB reactors. Bioresource technology, ۹۷(۱۸), ۲۳۱۱-۲۳۲۰ .

Rice, E. W., Bridgewater, L., & Association, A. P. H. (۲۰۱۲). Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. ۱۰). American public health association Washington, DC .

Rosa, A., Chernicharo, C., Lobato, L., Silva, R., Padilha, R., & Borges, J. (۲۰۱۸). Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. Renewable Energy, ۱۲٤, ۲۱-۲٦ .

Saleh, M. M., & Mahmood, U. F. (۲۰۰٤). Anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Proceedings of the eighth international water technology conference, IWTC , Alexandria, Egypt ,

Verma, A. K., & Kumar, S. (۲۰۱۳). Characterization of Sewage and Design of a UASB Reactor for its Treatment

Zwain, H. M., Hassan, S. R., Zaman, N. Q., Aziz, H. A., & Dahlan, I. (۲۰۱۳). The start-up performance of modified anaerobic baffled reactor (MABR) for the treatment of recycled paper mill wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering, ۱(۱-۲), ٦۱-٦٤ .

Biogas production from recycled paper mill effluent by UASB

Alireza Tolouei[۱] ; Mohammad Ahmadi[۲]
[۱] MSc., Faculty of Agricultural and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[۲] Associate Professor, Faculty of Agricultural and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

۱. Introduction

Pulp and paper industry is a big consumer of energy and water. Its industrial process produces significant amounts of organic effluent with a high chemical oxygen concentration (COD). According to the raw materials used in the process, there are two types of paper production industry: pure pulp and recycled paper. In this work, we focus on the effluent of the recycled paper industry. A large amount of organic waste produced from the recycled paper industry may be converted into biomethane and converted into renewable energy. Different methods for pulp and paper wastewater treatment, physicochemical treatment methods such as (sedimentation and flotation, coagulation and sedimentation, filtration, reverse osmosis, absorption, wet oxidation, ozonation and other advanced oxidation processes) and biological treatment methods such as Anaerobic digestion, aerobic treatment and fungal treatment). Among these techniques, we can mention anaerobic digestion, which is a sustainable process for wastewater treatment. In fact, it significantly reduces the input mass and COD concentration compared to the activated sludge process. This technique has more advantages than aerobic and physicochemical processes, including simplicity of design and less energy requirement. Note that in the case of aerobic treatment, the thick sludge produced in large quantities by wastewater treatment facilities of paper recycling plants is a serious disposal problem that requires an immediate solution, the degradation process is effective compared to conventional aerobic processes, and only ۵ It produces up to ۱۰٪ sludge. This results in significant savings in costs and measures associated with sludge disposal. In addition, UASB digester can be used in small and large scale. Many different types of anaerobic reactors such as high flow anaerobic filter, high flow coated anaerobic sludge (UASB) + partial recirculation, submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) and modified anaerobic baffled reactor (MABR). The most commonly used for industrial and municipal wastewater treatment is the UASB digester, which is operationally stable and energy efficient. UASBreacto is an encouraging system where it is located at the bottom of granular sludge because it can provide relatively high COD removal efficiency and energy production in the form of methane. Due to the low yield of biogas, anaerobic processing of bio sludge has not yet been carried out in pulp mills.

۲- Materials and methods

۲-۱- Setting up and test method

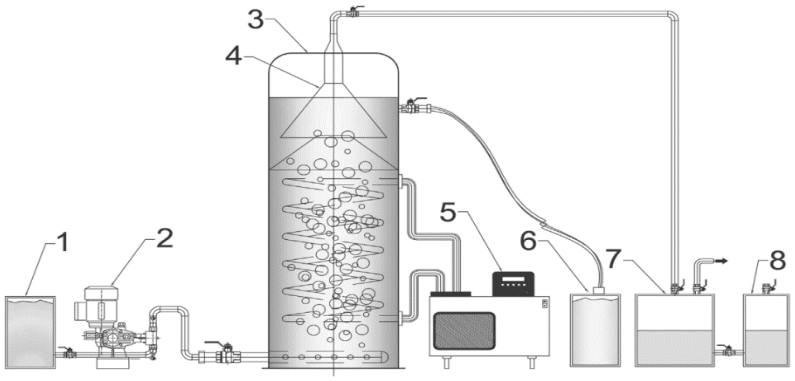


Figure ١. shows the experimental setup consisting of an inlet storage buffer tank installed before the UASB digester; The role of the buffer tank is to control and adjust the input physicochemical parameters before feeding to the reactor. A peristaltic pump maintains digester feeding at a flow rate of ٠,٥ to ٤,٥ liters per hour. The results of the digester design were ٧٠ liters with a height of ١ meter and a diameter of ٠,٣٠ meters. The upper part of the UASB digester includes a gas-liquid-solid separator with a height of ٠,٣٠ m. This device allows the recovery of biogas. In order to maintain the mesophilic conditions of the process, a spiral exchanger is fixed inside the digester.

Fig. ١. Schematic of a UASB digester, designed to treat wastewater from recycled pulp and paper industry. Fig. ١ Illustrates the designed UASB digester used in this work, influent tank (١), influent feed pump (٢), UASB cylinder tank digester (٣) with a total volume of ٧٠ L, "solid-liquid-gas" separator (٤), including thermostat heating water (٥) for mesophilic conditions (٣٧°C) C, effluent tank (٦), Gazometer (٧), graduated tube (٨) for measuring the water volume displaced from the gasometer.

The volume of biogas produced during the process is measured using a ١٦-liter water tank connected to the reactor (Boyle-Marriott tank). The volume of biogas displaces an equal measurable volume of water from the tank. The volume of biogas is expressed in normal conditions (٠ °C and ٧٦٠ mmHg) taking into account the effect of pressure and temperature on a standardized laboratory scale.

٢-٣-١-granular sludge bed

The reactor is inoculated with ٢٥ liters of granular sludge. The granular sludge bed used in this experiment is recovered from a full-scale UASB digester. Table ١ shows the characteristics of the granular sludge bed used in this study.

Table ١ Physicochemical characteristics of the granular sludge bed

Parameter	Unit	Average value
PH	-	٧.۴
COD (chemical oxygen demand)	mg/L	٥٣٣٠.٥
ALK (alkalinity)	mgCaCO٣/L	٣٢٥٠
TS (total solid)	g/L	٣٢.٩٩
VS (volatile solid)	g/L	٢٧.٢٨
MS (mineral solid)	g/L	٥.٧١
%TS	%	٣.٢١
VS (%TS)	%	٨٢.٧٠
Moisture (%)	%	٩۶.٧٩
Diameter	Mm	١-١.٥
Color	-	Black

The initial granular sludge had respectively ٢٧,٢٨ and ٣٢,٩٩ g/L as VS and TS value, and the COD equals to ٥٣٣٠,٥ mg/L. In General, the alkalinity varies from ١٠٠٠ to ٥٠٠٠ mg/L as CaCO٣ in anaerobic.

۳- Results and discussion

The purpose of monitoring stability parameters is to control and ensure process performance. The main control parameters are: evolution of pH, alkalinity (Alk), volatile fatty acid (VFA), VFA/Alk ratio and chemical oxygen demand (COD).

۳-۱- Stability parameters

۳-۱-۱- Evolution of pH

pH is an essential parameter used to control the stability of the anaerobic digestion process. The average value of input and output pH is calculated during the process. The pH fluctuation was in the neutral range, which confirms the correct operation of the process and the stability of the UASB digester. Indeed, several studies reported that most anaerobic bacteria, especially methanogens, increase biogas production in the pH range of ٦,٥ to ٧,٥. A previous study on RPMW treatment using a modified anaerobic baffled reactor (MABR), reported that the pH decreased slightly from ٧,٣ to ٦,٢ during the process.

۳-۱-۲- Evolution of volatile fatty acids

Volatile fatty acid content is an essential parameter for monitoring the anaerobic digestion process. Accumulation of VFA causes displacement of bicarbonate to dissolved $CO^{٢}$, and $CO^{٢}$ partially passes into the gas phase. Their accumulation in the digester leads to organic overload and acidification of the digester content, which leads to process failure. Several studies show that organic overload in digesters is due to VFA accumulation, and often acetate accumulates first, the total VFA concentration increases slightly or steadily.

۴ - Conclusion

It is predicted that UASB digester granules are effective in converting organic matter from wastewater to biogas. The reactor seems to support high organic loads; Also, this technique is an excellent opportunity to exploit the economic benefits of the energy produced from this process, which can contribute to the development of more efficient and sustainable systems.

key words
Biogas production; Paper making waste; Recycled paper; UASB