

الحمد لله  
الرحمن  
الرحيم



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

**بهبود تولید بیوگاز از کاه برنج با استفاده از پیش‌فرآوری قلیایی و بررسی استفاده از  
بیوراکتور غشایی بی‌هوایی (An-MBR) در تولید بیوگاز از کاه برنج**

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر

مازیار دهقانی

اساتید راهنما:

دکتر کیخسرو کریمی

دکتر مرتضی صادقی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی پلیمر مازیار دهقانی  
تحت عنوان

بهبود تولید بیوگاز از کاه برنج با استفاده از پیش فرآوری قلیایی و بررسی استفاده از بیوراکتور  
غشایی بی هوازی (An-MBR) در تولید بیوگاز از کاه برنج

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۲۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای اول پایان نامه

دکتر مرتضی صادقی

۲. استاد راهنمای دوم پایان نامه

دکتر کیحسرو کریمی

۳. استاد داور

دکتر اکرم زمانی

۴. استاد داور

دکتر پوران گلکار

سرپرست تحصیلات تکمیلی

دکتر مرتضی صادقی

شکر و سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

با سپاس فراوان از مادر و همسر عزیزم که همواره مایه امید و دلگرمی ام بودند و اگر نبود زحمات بی دریغ ایشان، پیمودن این راه بسیار مشکل می نمود.

و با تشکر ویژه از پدری که امروز در میان ما نیست، اما دعای خیرش برای همیشه، پشتیبان من خواهد بود.

از اساتید گرامی جناب آقای دکتر صادقی و دکتر کریمی که در طول انجام این پروژه در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند صمیمانه سپاسگزارم.

از تمام اساتید و معلمانی که در تمام مراحل زندگی راهنمای من بودند کمال تشکر را دارم.

و در پایان از کلیه دوستان و کارمندان دانشگاه صنعتی اصفهان جهت همکاری بی دریغ ایشان جهت پیشبرد این پژوهش سپاسگزارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی  
اصفهان است.

تقدیم به پدر پر کشیده‌ام ...

## فهرست:

دوازده	فهرست شکل ها
پانزده	فهرست جدول ها
۱	چکیده
۲	فصل اول:مقدمه
۲	۱-۱ اهمیت پروژه
۴	۲-۱ اهمیت موضوع در ایران
۴	۳-۱ هدف از انجام پروژه
۵	۴-۱ محتوای سایر فصول
۶	فصل دوم:مفاهیم و تعاریف
۶	۱-۲ بیوگاز
۷	۲-۲ اثرات زیست محیطی تولید بیوگاز
۷	۱-۲-۲ کاهش گازهای گلخانه ای
۸	۲-۲-۲ تولید کود برای کشاورزی و پرورش گیاهان
۸	۳-۲ هضم بی هوازی
۹	۴-۲ مراحل مختلف تجزیه بیولوژیکی به روش هضم بی هوازی
۹	۱-۴-۲ هیدرولیز
۹	۲-۴-۲ تخمیر
۹	۳-۴-۲ تولید گاز متان
۱۰	۵-۲ بیوراکتور غشایی
۱۲	۱-۵-۲ مزایای بیوراکتورهای غشایی بی هوازی
۱۳	۶-۲ مواد لیگنوسلولزی
۱۴	۱-۶-۲ سلولز

۱۵	۲-۶-۲ همی سلولز
۱۶	۲-۶-۳ لیگنین
۱۷	۲-۷-۲ کاه برنج
۱۸	۲-۸-۲ پیش فرآوری
۱۹	۲-۹-۲ انواع روش های پیش فرآوری
۱۹	۲-۹-۱ روش های فیزیکی
۱۹	۲-۹-۲ روش های فیزیکی-شیمیایی
۱۹	۲-۹-۳ روش های شیمیایی
۲۰	۲-۹-۴ روش های بیولوژیکی
۲۰	۲-۱۰-۲ مروری بر کارهای انجام شده
۲۰	۲-۱۰-۱ بیوگاز
۲۱	۲-۱۰-۲ کاه برنج
۲۲	۲-۱۰-۳ پیش فرآوری
۲۳	۲-۱۰-۴ بیوراکتور غشایی
۲۴	فصل سوم: مواد و روش ها
۲۴	۳-۱-۳ مواد مورد استفاده
۲۴	۳-۱-۱ کاه برنج
۲۴	۳-۱-۲ کربنات سدیم
۲۴	۳-۱-۳ مخلوط میکروبی
۲۶	۳-۱-۴ سایر مواد مورد نیاز
۲۶	۳-۲ تجهیزات مورد استفاده
۲۶	۳-۲-۱ بیوراکتور غشایی بی هوازی
۳۲	۳-۲-۲ راکتور پیش فرآوری



۳۵	..... حمام آب ۳-۲-۳
۳۵	..... اتوکلاو ۴-۲-۳
۳۵	..... گرماخانه‌ی همزن‌دار ۵-۲-۳
۳۵	..... آسیاب ۶-۲-۳
۳۵	..... آون ۷-۲-۳
۳۵	..... کوره ۸-۲-۳
۳۵	..... دستگاه اسپکتروفوتومتری ۹-۲-۳
۳۵	..... pH متر ۱۰-۲-۳
۳۶	..... پمپ خلاء ۱۱-۲-۳
۳۶	..... ترازو ۱۲-۲-۳
۳۶	..... دستگاه کروماتوگرافی مایع با بازدهی بالا (HPLC) ۱۳-۲-۳
۳۶	..... دستگاه کروماتوگراف گاز (GC) ۱۳-۲-۳
۳۷	..... روش انجام آزمایش‌ها ۳-۳
۳۷	..... اندازه‌گیری میزان جامدات کل و جامدات فرار کاه برنج ۱-۳-۳
۳۷	..... پیش‌فرآوری ۲-۳-۳
۳۹	..... تولید بیوگاز به صورت بسته ۳-۳-۳
۴۱	..... آنالیز گاز تولیدی ۴-۳-۳
۴۳	..... آنالیز به روش NREL برای تعیین کربوهیدرات‌های موجود ۵-۳-۳
۴۴	..... آزمایش‌های تکمیلی ۸-۳-۳
۴۵	..... فصل چهارم: ارائه و تحلیل نتایج
۴۵	..... ۱-۴ مقدمه
۴۵	..... ۲-۴ اندازه‌گیری جامدات کل و جامدات فرار موجود در کاه برنج
۴۷	..... ۳-۴ بررسی تاثیر پیش‌فرآوری بر میزان تولید بیوگاز

۴۷	..... ۱-۳-۴ زمان
۵۳	..... ۲-۳-۴ دما
۵۷	..... ۳-۳-۴ غلظت
۵۸	..... ۴-۴ تولید بیوگاز با استفاده از بیوراكتور غشایی بی‌هوازی
۶۱	..... ۵-۴ میزان کربوهیدرات‌های موجود
۶۲	..... ۶-۴ نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۶۶	..... ۷-۴ نتایج FTIR
۷۰	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه و پیشنهادات
۷۰	..... ۱-۵ مقدمه
۷۰	..... ۲-۵ نتایج کلی حاصل از این تحقیق
۷۱	..... ۳-۵ پیشنهادات
۷۳	..... مراجع

## فهرست شکل‌ها:

- شکل ۲-۱: فرآیند کلی هضم بی‌هوازی..... ۱۰
- شکل ۲-۲: نمای کلی یک فرآیند بیوراکتور غشایی ..... ۱۱
- شکل ۲-۳: سه حالت متفاوت استفاده از غشا در بیوراکتور غشایی [۱۳]..... ۱۲
- شکل ۲-۴: ساختار کلی مواد لیگنوسلولزی ..... ۱۴
- شکل ۲-۵: ساختار شیمیایی سلولز ..... ۱۵
- شکل ۲-۶: ساختار شیمیایی همی سلولز ..... ۱۶
- شکل ۲-۷: ساختار شیمیایی لیگنین ..... ۱۷
- شکل ۲-۸: طرحی از بیوراکتور غشایی بی‌هوازی شرکت کوباتای ژاپن ..... ۲۳
- شکل ۳-۱: هاضم‌های بی‌هوازی تصفیه خانه شمال اصفهان..... ۲۵
- شکل ۳-۲: ظرف نگهداری مخلوط میکروبی ..... ۲۵
- شکل ۳-۳: مخزن اصلی بیوراکتور غشایی بی‌هوازی ساخته شده ..... ۲۸
- شکل ۳-۴: مازول غشایی مورد استفاده در این پروژه ..... ۳۱
- شکل ۳-۵: نمای کلی بیوراکتور غشایی بی‌هوازی آماده بارگیری ..... ۳۲
- شکل ۳-۶: طرح نمادین راکتور پیش‌فرآوری [۴۴]..... ۳۳
- شکل ۳-۷: راکتور پیش‌فرآوری و کپسول نیتروژن ..... ۳۴
- شکل ۳-۸: شست و شوی نمونه پیش‌فرآوری شده با آب مقطر ..... ۳۹
- شکل ۳-۹: بطری‌های شیشه‌ای ۱۱۸ میلی لیتری ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۰: فرآیند بی‌هوازی کردن ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۱: نمونه‌ها در گرماخانه همزن‌دار ..... ۴۱
- شکل ۳-۱۲: نمودار کالیبراسیون متان خالص ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۳: قرار گرفتن نمونه‌ها در حمام آب جهت انجام آزمایش به روش NREL ..... ۴۳
- شکل ۴-۱: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش‌فرآوری شده در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، علامت‌های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (×) پیش‌فرآوری نشده می باشد ..... ۴۸
- شکل ۴-۲: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش‌فرآوری شده در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، علامت‌های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (×) پیش‌فرآوری نشده می باشد ..... ۴۸

شکل ۴-۳: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، علامت های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (x) پیش فرآوری نشده می باشد..... ۴۹

شکل ۴-۴: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، علامت های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (x) پیش فرآوری نشده می باشد..... ۵۱

شکل ۴-۵: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد و غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، علامت های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (x) پیش فرآوری نشده می باشد..... ۵۱

شکل ۴-۶: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، علامت های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) ۱ ساعت، (□) ۲ ساعت، (Δ) ۳ ساعت و (x) پیش فرآوری نشده می باشد..... ۵۲

شکل ۴-۷: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۱ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۴

شکل ۴-۸: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۲ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۴

شکل ۴-۹: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۳ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۵

شکل ۴-۱۰: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۱ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۶

شکل ۴-۱۱: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۲ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۶

شکل ۴-۱۲: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج پیش فرآوری شده در غلظت ۰/۵ مولار کربنات سدیم، مدت زمان ۳ ساعت و دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کاه پیش فرآوری نشده..... ۵۷

شکل ۴-۱۳: آب خروجی از غشا..... ۵۹

شکل ۴-۱۴: نمودار تجمعی گاز متان از کاه برنج به صورت پیوسته، علامت های موجود در نمودار به ترتیب نشانگر: (◇) با غشا، (□) بدون غشا..... ۶۰

شکل ۴-۱۵: تفاوت رنگ نمونه خروجی بدون غشا و با غشا..... ۶۱

شکل ۴-۱۶: کاه برنج پیش فرآوری نشده..... ۶۳

شکل ۴-۱۷: پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ۰/۲۵ مولار، در ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱ ساعت ..... ۶۴

شکل ۴-۱۸: پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ۰/۵ مولار، در ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲ ساعت ..... ۶۵

شکل ۴-۱۹: نمودار جذب برحسب عدد موج حاصل از آنالیز FTIR: (۱) کاه پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ۰/۵ مولار در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت و (۲) کاه پیش‌فرآوری نشده ..... ۶۷

## فهرست جدول‌ها:

- جدول ۳-۱: مواد مورد استفاده جهت رشد و تکثیر مخلوط میکروبی [۵۰]..... ۲۶
- جدول ۳-۲: مشخصات ماژول غشایی مورد استفاده ..... ۳۰
- جدول ۳-۳: پیش‌فرآوری‌های انجام شده جهت بهینه‌سازی تولید بیوگاز از کاه برنج ..... ۳۸
- جدول ۴-۱: درصد جامدات کل و جامدات فرار نمونه‌های پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم و پیش‌فرآوری نشده ..... ۴۶
- جدول ۴-۲: درصد جامدات کل و جامدات فرار مخلوط میکروبی ..... ۴۷
- جدول ۴-۳: میزان بهبود تولید متان نسبت به نمونه پیش‌فرآوری نشده در غلظت ۰/۲۵ مولار ..... ۵۰
- جدول ۴-۴: میزان بهبود تولید متان نسبت به نمونه پیش‌فرآوری نشده در غلظت ۰/۵ مولار ..... ۵۳
- جدول ۴-۵: ترکیب مواد درون بیوراکتور غشایی بی‌هوایی ..... ۵۸
- جدول ۴-۶: نتایج آزمایش به روش NREL کاه برنج پیش‌فرآوری نشده و پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ..... ۶۲
- جدول ۴-۷: نتایج حاصل از آنالیز FTIR (جذب اندازه‌گیری شده در عدد موج‌های مشخص) برای کاه برنج پیش‌فرآوری نشده و کاه پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ۰/۵ مولار در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۲ ساعت ..... ۶۸
- جدول ۴-۸: شاخص بلورینگی و شاخص بلورینگی کل حاصل از آنالیز FTIR ..... ۶۹

## چکیده:

کاه برنج ماده‌ای لیگنوسلولزی و دارای مقدار قابل توجهی از کربوهیدرات‌ها است که می‌توان از آن در تولید سوخت-های زیستی مانند بیوگاز استفاده کرد. ساختار منظم، میزان بلورینگی بالا، درجه‌ی پلیمری بالا و وجود لایه‌های محکم از موادی همچون لیگنین به دور ماکرومولکول‌های کربوهیدراتی مانع از دسترسی مناسب ریزسازواره‌ها به این مواد می‌شود. در این پژوهش از پیش‌فرآوری‌های با کربنات سدیم ۰/۲۵ و ۰/۵ مولار، در دماهای ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان‌های ۱، ۲ و ۳ ساعت جهت افزایش سلولز در دست‌رس و در نتیجه بهبود تولید متان استفاده شد و تاثیر هر یک از عوامل دما، زمان و غلظت کربنات سدیم مورد بررسی قرار گرفت. کلیه پیش‌فرآوری‌ها، در راکتور تحت فشار همزن دار با قابلیت تزریق مواد در دمای مورد نظر به منظور حذف هرگونه اثر پیش‌گرمایشی انجام شد. هضم بی‌هوایی برای تولید متان در درون بطری‌های ۱۱۸ میلی‌لیتری در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۷ روز صورت گرفته و گاز تولیدی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مورد سنجش قرار گرفت. نمونه پیش‌فرآوری شده با کربنات سدیم ۰/۵ مولار، در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت با تولید ۲۹۲ میلی‌لیتر متان به ازای هر واحد گرم جامد فرار با افزایش ۱۲۵ درصدی تولید متان نسبت به نمونه پیش‌فرآوری نشده، پیش‌فرآوری بهینه بوده است. این در حالی است که نمونه پیش‌فرآوری نشده در شرایط یکسان، ۱۳۰ میلی‌لیتر متان به ازای هر واحد گرم جامد فرار تولید نمود. در ادامه این پژوهش از بیوراکتور غشایی بی‌هوایی برای تولید بیوگاز از کاه برنج استفاده شد که در مدت ۵۵ روز و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۴۱ میلی‌لیتر متان به ازای هر واحد گرم جامد تولید شد. این در حالی است که در عدم استفاده از غشا این میزان به ۱۱۱ میلی‌لیتر متان به ازای هر واحد گرم جامد کاهش یافت.

**واژگان کلیدی:** بیوگاز، متان، کاه برنج، لیگنوسلولز، پیش‌فرآوری، بیوراکتور غشایی بی‌هوایی

## فصل اول: مقدمه

### ۱- اهمیت پروژه

انرژی منشاء اصلی و اساس زندگی انسان‌ها است. دوره‌های مختلف تمدن بشر بر اساس کشف، اختراع و چگونگی بهره‌گیری از منابع انرژی گوناگون شکل گرفته است و بنابراین می‌توان بحث انرژی را به عنوان بنیاد و اساس زندگی اجتماعی امروز بشر بررسی کرد.

منابع انرژی‌های سنتی، سوخت‌های فسیلی و برق حاصل از شکاف هسته‌ای عملاً بر چگونگی سیستم عرضه انرژی در جهان امروز تسلط دارند ولی وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی فسیلی به خصوص نفت و گاز و به کارگیری و مصرف بی‌رویه‌ی آن‌ها ممکن است منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرین زمین تشکیل شده است، تخلیه نماید. با توجه به این که منابع انرژی زیرزمینی با سرعت فوق العاده‌ای مصرف می‌شوند و در آینده‌ای نه چندان دور چیزی از آن‌ها باقی نخواهد ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و پتانسیل زیادی بوده و در حقیقت تجدیدپذیر هستند روی آورده و دانش خود را برای بهره‌برداری از آن‌ها گسترش دهد.

از ویژگی‌های مهم دیگری که توجه بشر امروز را به انرژی‌های تجدیدپذیر یا به عبارتی سوخت‌های پاک معطوف داشته بحث آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و خطرات و آسیب‌های بعضاً جبران‌ناپذیر آن بر جوامع بشری است.



بنابراین فن آوری ساده، جلوگیری از آلودگی هوا و حفظ محیط زیست و از همه مهمتر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان و یا تبدیل آن‌ها به مواد و مصنوعات پر ارزش با استفاده از تکنیک‌های پتروشیمی، از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر را برای ایران و جهان آشکار می‌سازد.

یکی از مناسب‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر که از زمان‌های بسیار گذشته مورد استفاده بوده و علاوه بر تجدید پذیر بودن با محیط زیست نیز سازگار می‌باشد، بیوگاز است. انرژی حاصل از بیوگاز در میان انرژی‌های تجدیدپذیر مقام نخست را در عرضه انرژی جهان از منابع زیست‌توده تامین گردیده است. در زمینه تولید برق از منابع تجدید شونده، بیوگاز پس از انرژی آب در جایگاه دوم قرار دارد و در سال ۲۰۰۰ میلادی حدود ۶ درصد سهم جهانی را به خود اختصاص داده است، به طوری که در همین سال مجموعه ظرفیت نیروگاهی نصب شده جهت بهره برداری از انرژی حاصل از بیوگاز در کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی معادل ۲۳۰۰۰ مگاوات بوده است [۱-۳].

از طرف دیگر تولید مواد زائد بخش انکار ناپذیر جوامع بشری است. مواد زائد از منابع مختلفی نظیر جنگل‌ها، صنایع، مزارع و منابع شهری تولید می‌شوند. این مواد زائد و چگونگی دفع این مواد از مشکلات مهم زیست محیطی بوده که امروزه جوامع بشری با آن روبرو است.

برنج بعد از گندم، بیشترین غله‌ای است که تولید می‌شود و به همین دلیل سالانه میزان بسیار زیادی کاه برنج<sup>۱</sup> تولید می‌شود [۴]. کاه برنج، قابلیت هضم کمی دارد و هم‌چنین دارای پروتئین قابل توجهی نمی‌باشد و در نتیجه برای خوراک دام در مقایسه با دیگر غلات کمتر مناسب است [۵]. در واقع کاه غلات دیگر برای خوراک دام مناسب است و در عین حال می‌توان از آن‌ها برای تولید سوخت‌های زیستی نیز استفاده کرد. ولی کاه برنج برای خوراک دام مناسب نیست و برای تولید سوخت‌های زیستی نیز نسبت به دیگر غلات رفتار متفاوتی نشان می‌دهد.

از این رو و با توجه به حجم تولید بالا، هر فرآیندی که باعث تبدیل کاه برنج به محصولی با ارزش شود علاوه بر صرفه اقتصادی به مسایل زیست محیطی نیز کمک شایانی می‌نماید.

کاه برنج از جمله ترکیبات لیگنوسلولزی<sup>۲</sup> به شمار می‌آید. مواد لیگنوسلولزی به موادی می‌گویند که به طور عمده از سلولز<sup>۳</sup>، همی سلولز<sup>۴</sup> و لیگنین<sup>۵</sup> تشکیل شده‌اند. سلولز به عنوان اصلی‌ترین جزء تشکیل دهنده‌ی مواد لیگنوسلولزی قابلیت تبدیل به بیوگاز را دارا می‌باشد [۶] به دلیل ساختار پیچیده و تداخلی که این سه جزء با

---

1- Rice straw

2- Lignocellulosic materials

3- Cellulose

4- Hemicellulose

5- Lignin

یکدیگر دارند، دیواره‌ی سلولی معمولاً در برابر تخریب بیولوژیکی پایدار است و نمی‌توان به راحتی به سلولز موجود در این ترکیبات دسترسی یافت. بنابراین برای تبدیل بهتر ماده‌ی لیگنوسلولزی به بیوگاز، استفاده از روش‌های مختلف پیش‌فرآوری<sup>۱</sup> برای تفکیک و شکستن پیوند بین این بیوپلیمرها و در دسترس‌تر کردن سلولز استفاده می‌شود [۷].

### ۱-۲ اهمیت موضوع در ایران

ایران از دیر باز درگیر مشکلات زیست محیطی بوده که بسیاری از آن‌ها در حال حاضر به نقطه‌ی اوج خود رسیده است. مثلاً در مورد شهر بزرگی مثل تهران حجم بالای زباله‌های تولید شده، فاضلاب‌های شهری و صنعتی در چند سال آینده جایی برای زندگی مردم باقی نخواهد گذاشت. اگر آلودگی هوا توسط اتومبیل‌های بنزین سوز و اتوبوس‌های گازوئیل سوز را به آن اضافه کنیم، به اهمیت تولید سوخت-های زیست توده در کلان شهرها پی خواهیم برد.

با توجه به وجود منابع عظیم طبیعی سرشار و منحصر به فرد در ایران، می‌توان امید داشت که با افزایش میزان تولید انرژی از منابع تجدید پذیر و به خصوص زیست توده و نیز اتخاذ سیاست‌های صحیح جنگلداری و حفظ منابع طبیعی، بتوان بخشی از این مشکلات را حل نمود.

بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که در ایران میزان پتانسیل بالقوه انرژی قابل استحصال از منابع زیست توده معادل ۱۵/۶ میلیون تن نفت خام در سال ۲۰۰۰ میلادی بوده است که از این میزان ۵۹ درصد سهم کشاورزی و جنگل، ۱۱ درصد سهم زباله‌های شهری، ۲۸ درصد سهم فضولات دامی، ۲ درصد سهم فاضلاب‌های شهری و ۵ درصد سهم صنایع غذایی خواهد بود [۱].

### ۱-۳ هدف از انجام پروژه

در این پروژه تلاش بر آن بود که با پیش‌فرآوری‌های با کرنات سدیم، میزان بیوگاز تولیدی از کاه برنج به عنوان منبع غنی از مواد آلی، افزایش یابد. در ادامه نیز با بهره‌گیری از بیوراکتور غشایی بی‌هوازی ساخته شده در این پژوهش، بهبود تولید بیوگاز به صورت پیوسته و با استفاده از غشا بررسی شود.

از مهم‌ترین جنبه‌های این پروژه می‌توان به مسایل زیست محیطی و اقتصادی آن اشاره کرد. که با بهره‌گیری از فرآیند تولید بیوگاز، از یک محصول کم ارزش که تا پیش از آن برای حذف هزینه‌های زیست محیطی و مالی فراوانی پرداخت می‌شد محصولاتی با ارزشی مانند متان به عنوان یک منبع پر اهمیت انرژی، بدست آورد.

#### ۴-۱ محتوای سایر فصول

در فصل دوم مقدمه‌ای بر بیوگاز، مواد لیگنوسلولوزی، کاه برنج، ریزسازواره‌های تولید متان و بیوراکتورهای غشایی ارائه شده است. سپس مطالعات مروری بر روی تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مشابه ارائه گردیده است.

در فصل سوم کلیه‌ی مواد و تجهیزات استفاده شده، نحوه طراحی و ساخت بیوراکتور غشایی بی‌هوای و روش انجام مراحل مختلف آزمایش‌ها توضیح داده شده است.

فصل چهارم گزارشی از نتایج به دست آمده در این تحقیق و هم‌چنین تحلیل و مقایسه‌ی نتایج با مطالعات دیگر محققان ارائه گردیده است.

در فصل پنجم به جمع بندی نتایج در این پژوهش پرداخته شده و همچنین پیشنهاداتی جهت ادامه‌ی کار ارائه شده است.

## فصل دوم: مفاهیم و تعاریف

### ۱-۲ بیوگاز

بیوگاز محصول واکنش‌های تجزیه ای بی هوازی میکروارگانیسم‌های زنده در محیطی که مواد آلی وجود دارند می‌باشد. از این محیط‌ها می‌توان به باتلاق‌ها و مرداب‌ها اشاره کرد و گازی که در این محیط‌ها تولید می‌شود، به گاز مرداب معروف است [۸].

دلیل نام‌گذاری این گاز به بیوگاز این است که بر اثر تجزیه بی‌هوازی مواد آلی و بیولوژیک به وسیله ریزسازواره‌های زنده تولید می‌شود. در حقیقت به تبدیل زیست توده به گاز قابل اشتعال، تولید بیوگاز گفته می‌شود [۹].

بیوگاز به عنوان سوختی تمیز شناخته شده است. این سوخت ایجاد آلودگی محیطی نمی‌کند. افزایش دی‌اکسید کربن در مخلوط بیوگاز، انرژی حرارتی و قابلیت اشتعال آن را به شدت کاهش می‌دهد لذا با استفاده از فیلترهایی جهت جداسازی دی‌اکسید کربن، میزان انرژی حرارتی آن را افزایش می‌دهند. این مخلوط گازی که از تخمیر مواد زاید آلی در شرایط بی‌هوازی حاصل می‌شود دارای میزان ۷۰-۵۰ درصد متان، ۳۰-۵۰ درصد دی‌اکسید کربن و مقادیر ناچیز از گازهایی نظیر هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، منو اکسید کربن و سولفید هیدروژن است و همان‌طور که مشخص است اعظم این گاز از متان و دی‌اکسید کربن