بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه صنعتی اصفهان**

دانشکده مهندسی شیمی

# بهبـود راندمان تولید هیدروژن از کاه برنج با پیش‌فرآوری ترکیبی شیـمیایی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

**مرجان نصـیرپور**

استاد راهنما :

**دکتر حمید زیلویی**

**۱۳۹۲**

**دانشگاه صنعتی اصفهان**

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی مرجان نصیرپور

تحت عنوان

# بهبود راندمان تولید هیدروژن از کاه برنج با پیش‌فرآوری ترکیبی شیمیایی

در تاریخ ۹۲/۶/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه — دکتر حمید زیلویی

۲. استاد مشاور پایان‌نامه — دکتر کیخسرو کریمی

۳. استاد داور — دکتر اکرم زمانی

۴. استاد داور — دکتر احمد اسدی نژاد

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر حمید زیلویی

**از جناب آقای دکتر حمید زیلویی و جناب آقای دکتر کیخسرو کریمی که با راهنمایی و مشاوره‌هایشان مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، بسیار سپاسگزارم.**

**از سرکار خانم مهندس غلامزاد و جناب آقای مهندس حسامی و تمامی دوستان عزیز در آزمایشگاه بیوتکنولوژی بابت همکاری و یاریشان در انجام آزمایشات قدردانی می‌نمایم.**

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

**تقدیم به**

**هر آن‌که به من آموخت**

**و هر آن‌که امید بخشید**

**از جناب آقای دکتر حمید زیلویی و جناب آقای دکتر کیخسرو کریمی که با راهنمایی و مشاوره‌هایشان مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، بسیار سپاسگزارم.**

**از سرکار خانم مهندس غلامزاد و جناب آقای مهندس حسامی و تمامی دوستان عزیز در آزمایشگاه بیوتکنولوژی بابت همکاری و یاریشان در انجام آزمایشات قدردانی می‌نمایم.**

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

**تقدیم به**

**هر آن‌که به من آموخت**

**و هر آن‌که امید بخشید**

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

فهرست مطالب..... هشت

فهرست شکل ها.....دوازده

فهرست جداول.....چهارده

چکیـده .....۱

پیـش گفتار.....۲

**فصل اول : مقدمه**

۱-۱- اهمیت تولید هیدروژن از منابع لیگنوسلولزی.....۴

۱-۲- اهداف پروژه.....۵

۱-۳- کارهای مرتبط انجام‌شده تاکنون.....۶

۱-۴- محتوای سایر فصول.....۸

**فصل دوم : تئوری**

۲-۱- هیدروژن – حامل انرژی پاک.....۹

۲-۲- روش‌های تولید هیدروژن.....۹

۲-۳- روش‌های بیولوژیکی تولید هیدروژن.....۱۱

۲-۳-۱- بیوفوتولیز.....۱۲

۲-۳-۲- تخمیر نوری.....۱۲

۲-۳-۳- تخمیر در تاریکی.....۱۳

۲-۳-۴- فرآیند دومرحله ای تخمیر نوری و تخمیر در تاریکی.....۱۳

۲-۳-۵- الکترولیز بیوکاتالیستی.....۱۳

۲-۴- تولید بیوهیدروژن- یک رویکرد جهانی.....۱۴

۲-۵- تعریف زیست‌توده.....۱۴

۲-۶- مواد لیگنوسلولزی.....۱۵

۲-۶-۱-ساختمان لیگنوسلولزها.....۱۵

۲-۶-۲-پلی‌ساکاریدها.....۱۵

۲-۷- کاه برنج.....۱۸

۲-۸- پیش‌فرآوری زیست‌توده..... ۲۰
۲-۸-۱- پیش‌فرآوری فیزیکی..... ۲۱
۲-۸-۲- پیش‌فرآوری فیزیکی – شیمیایی..... ۲۱
۲-۸-۳-پیش‌فرآوری شیمیایی..... ۲۲
۲-۸-۴-پیش‌فرآوری بیولوژیکی..... ۲۳
۲-۸-۵- هیدرولیز آنزیمی..... ۲۵
۲-۹- زیست فن آوری بی‌هوازی..... ۲۶
۲-۹-۱- تولید بیوگاز و بیوهیدروژن..... ۲۷
۲-۹-۲- مراحل انجام فرآیند هضم بی‌هوازی..... ۲۸
۲-۹-۳- عوامل عمده‌ی مؤثر بر فرآیند هضم بی‌هوازی در تولید هیدروژن..... ۳۲
۲-۱۰- پیش‌فرآوری مخلوط باکتریایی جهت تولید هیدروژن..... ۳۲
۲-۱۰-۱-عملیات شوک گرمایی(HST)..... ۳۳
۲-۱۰-۲-پیش‌فرآوری اسیدی..... ۳۳
۲-۱۰-۳-عملیات شوک بار(LST)..... ۳۳
۲-۱۰-۴-پیش‌فرآوری شیمیایی..... ۳۴
۲-۱۰-۵-پیش‌فرآوری بازی..... ۳۴
۲-۱۰-۶-کنترل سینتیک واکنش ..... ۳۴
۲-۱۰-۷-جریان الکتریسیته..... ۳۵

**فصل سوم : مواد و روش ها**

۳-۱- تجهیزات به کار رفته..... ۳۶
۳-۲- مواد به کار رفته..... ۳۷
۳-۳- آماده سازی سوبسترا..... ۳۷
۳-۴- پیش‌فرآوری سوبسترا..... ۳۸
۳-۴-۱- پیش‌فرآوری تک‌مرحله‌ای کاه برنج..... ۳۸
۳-۴-۲- پیش‌فرآوری ترکیبی کاه برنج..... ۳۸
۳-۵- آماده‌سازی مخلوط میکروبی..... ۴۰
۳-۶- پیش‌فرآوری مخلوط میکروبی..... ۴۱

۳-۷- رآکتورهای هاضم بی‌هوازی..... ۴۲
۳-۸- روش‌های اندازه‌گیری..... ۴۳
۳-۸-۱- اندازه‌گیری مقدار جامدات کل و جامدات فرار..... ۴۳
۳-۸-۲- تعیین کربوهیدرات‌ها، لیگنین و خاکستر زیست‌توده..... ۴۵
۳-۸-۳- اندازه‌گیری و آنالیز گاز تولید شده..... ۴۶
۳-۹- بررسی کیفی اثر پیش‌فرآوری..... ۴۸
۳-۱۰- تحلیل آماری..... ۴۹
**فصل چهارم : ارائه و تحلیل نتایج**
۴-۱- فرآیند کلی انجام شده در این تحقیق..... ۵۰
۴-۲- میزان جامدات کل و جامدات فرار..... ۵۱
۴-۲-۱- میزان جامدات کل و جامدات فرار مخلوط میکروبی..... ۵۱
۴-۲-۲- میزان جامدات کل و جامدات فرار سوبسترا..... ۵۱
۴-۳- ترکیب درصد لیگنین و کربوهیدرات‌های موجود در سوبسترا..... ۵۳
۴-۳-۱- ترکیب درصد لیگنین و کربوهیدرات‌های موجود در کاه برنج اولیه..... ۵۳
۴-۳-۲- ترکیب درصد لیگنین و کربوهیدرات‌های موجود در سوبسترا پس از پیش‌فرآوری بازی..... ۵۳
۴-۳-۳- ترکیب درصد لیگنین و کربوهیدرات‌های موجود در سوبسترا پس از پیش‌فرآوری ترکیبی..... ۵۶
۴-۴- بررسی شرایط مختلف پیش‌فرآوری بر میزان هیدروژن تولید شده..... ۵۸
۴-۴-۱- بررسی تأثیر پیش‌فرآوری بازی بر میزان هیدروژن تولیدشده..... ۵۹
۴-۴-۲- بررسی تأثیر پیش‌فرآوری ترکیبی بر میزان هیدروژن تولیدشده..... ۶۱
۴-۵- آزمایش‌های بررسی ساختار ترکیبات..... ۶۴
۴-۵-۱- نتایج حاصل از آنالیز FTIR..... ۶۴
۴-۵-۲- نتایج حاصل از تصویربرداری SEM..... ۶۷
**فصل پنجم : نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات جهت ادامه‌ی کار**
۵-۱-نتیجه‌گیری..... ۶۹
۵-۲- ارائه‌ی پیشنهادات جهت ادامه‌ی کار..... ۷۰
**مراجع**..... ۷۲

## فهرست شکل ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۲-۱- برخی منابع و فرآیندهای تولید هیدروژن..... ۱۰

شکل ۲-۲- ساختمان لیگنوسلولزها..... ۱۵

شکل ۲-۳- (الف) مولکول گلوکز – (ب) پلیمر سلولز که از مجموعه‌ای از مولکول‌های گلوکز تشکیل یافته است..... ۱۶

شکل ۲-۴- بخش های مختلف کاه..... ۲۰

شکل ۲-۵- فرآیندهای تبدیل بیولوژیکی بی‌هوازی جهت بازیابی منابع از پسماند..... ۲۷

شکل ۲-۶- مراحل فرآیند هضم بی‌هوازی..... ۳۰

شکل ۳-۱-کاه برنج قبل و بعد از آسیاب..... ۳۷

شکل ۳-۲-شماتیک کلی از فرآیند انجام شده در این تحقیق جهت تولید هیدروژن..... ۳۹

شکل ۳-۳- ظروف دو لیتری تیره‌رنگ جهت نگه‌داری مخلوط میکروبی..... ۴۰

شکل ۳-۴- مخلوط میکروبی تهیه شده از تصفیه خانه آب و فاضلاب شمال اصفهان..... ۴۱

شکل ۳-۵- رآکتورهای هاضم بی‌هوازی..... ۴۳

شکل ۳-۶- الف) نمونه‌های قرار گرفته در حمام آب در روش NREL – ب) سیستم فیلتراسیون خلأ..... ۴۶

شکل ۳-۷-منحنی استاندارد گاز هیدروژن برای آنالیز گاز با GC..... ۴۸

شکل ۴-۱- میزان گلوکز، زایلوز و لیگنین موجود در نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی در مدت زمان ۳۰ دقیقه و نمونه‌ی پیش‌فرآوری‌نشده ..... ۵۴

شکل ۴-۲- میزان گلوکز، زایلوز و لیگنین موجود در نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی در مدت زمان ۶۰ دقیقه و نمونه‌ی پیش‌فرآوری‌نشده..... ۵۵

شکل ۴-۳-تولید روزانه‌ی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی به مدت ۶۰ دقیقه و نمونه‌ی بدون پیش فرآوری..... ۵۹

شکل ۴-۴-نمودار تجمعی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی به مدت ۶۰ دقیقه و نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری..... ۵۹

شکل ۴-۵-تولید روزانه‌ی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی با اسیدفسفریک ۰٫۵٪ و نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری..... ۶۱

شکل ۴-۶-تولید روزانه‌ی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی با اسیدفسفریک ۳٪ و نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری..... ۶۲

شکل ۴-۷-نمودار تجمعی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی با اسیدفسفریک ۰٫۵٪ و نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری..... ۶۳

شکل ۴-۸-نمودار تجمعی گاز هیدروژن توسط نمونه‌های پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی با اسیدفسفریک ۳٪ و نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری.....۶۳

شکل ۴-۹- نمودار جذب بر حسب عدد موج حاصل از آنالیز FTIR نمونه‌های (۱) کاه برنج پیش‌فرآوری‌نشده، (۲) کاه برنج پیش‌فرآوری شده‌ی بازی (۱۲۰°C) ، (۳) کاه برنج پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی (بازی ۱۲۰°C و اسیدی ۳٪ ).....۶۴

شکل ۴-۱۰- شاخص کریستالی برای نمونه‌ی بدون پیش‌فرآوری و نمونه‌های بهینه‌ی پیش‌فرآوری شده‌ی کاه برنج.....۶۶

شکل ۴-۱۱- تصاویر SEM از کاه برنج. (۱) سطح کاه برنج پیش‌فرآوری‌نشده، (۲) سطح کاه برنج پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی (۱۲۰°C). (۳) سطح کاه برنج پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی (بازی ۱۲۰°C و اسیدی ۳٪ ).....۶۸

## فهرست جدول ها

**عنوان** **صفحه**

جدول ۲-۱- میانگین درصد مواد مغذی موجود در کاه برنج جهت مصرف میکروارگانیسم‌ها.....۱۸

جدول۲-۲- مزایا و معایب برخی روش‌های پیش‌فرآوری لیگنوسلولزی.....۲۴

جدول۲-۳- درصد حجمی ترکیبات موجود در بیوگاز.....۲۸

جدول۳-۱- مواد استفاده شده جهت خوراک‌دهی مخلوط میکروبی.....۴۱

جدول۳-۲- حجم‌های هیدروژن تزریق شده به دستگاه GC و سطح زیر هر منحنی.....۴۷

جدول۴-۱- مشخصات مخلوط میکروبی.....۵۱

جدول۴-۲- میزان جامدات موجود در سوبسترا پس از عملیات مختلف پیش‌فرآوری.....۵۲

جدول۴-۳- مشخصات کاه برنج پیش فرآوری نشده (درصد).....۵۳

جدول ۴-۴- میزان گالاکتوز و آرابینوز موجود در سوبسترا پس از عملیات پیش‌فرآوری بازی (درصد) با استفاده از روش NREL.....۵۶

جدول ۴-۵- میزان لیگنین وکربوهیدرات‌های موجود در فاز جامد سوبسترا پس از عملیات پیش‌فرآوری ترکیبی (درصد) با استفاده از روش NREL..... ۵۷

جدول ۴-۶- میزان قند موجود در فاز مایع سوبسترا پس از عملیات پیش‌فرآوری ترکیبی..... ۵۸

جدول۴-۷- میزان جذب به دست آمده از آنالیز FTIR مربوط به گروه‌های عاملی.....۶۵

## چکیـده

لیگنوسلولزها، بیوپلیمرهایی ارزان و قابل دسترس در جهان می‌باشند که به‌عنوان مهمترین منبع تولید انرژی طی فرآیندهای بیولوژیکی مورد توجه قرار گرفته‌اند. کاه برنج یکی از فراوان‌ترین لیگنوسلولزهای بازمانده از محصولات کشاورزی در جهان و به خصوص کشورهای آسیایی می‌باشد. مشکل استفاده از کاه برنج، همانند سایر لیگنوسلولزها، استحکام و مقاومت بالای آن در برابر حملات آنزیمی و باکتریایی می‌باشد که جهت رفع آن می‌بایست تحت عملیات پیش‌فرآوری قرار گیرد. در این تحقیق، پتانسیل کاه برنج به عنوان سوبسترایی ارزان، فراوان و قابل دسترس جهت تولید هیدروژن طی فرآیند هضم بی‌هوازی به کمک لجن فاضلاب شهری به عنوان مایع تلقیح، بررسی گردید. پیش‌فرآوری لجن بی‌هوازی به روش شوک گرمایی، در دمای $85^{\circ}C$ به مدت ۴۵ دقیقه، برای افزایش تولید هیدروژن با غیرفعال نمودن باکتری‌های غیراسپورزای مصرف‌کننده‌ی هیدروژن و انتخاب گونه‌های اسپورزای مولد هیدروژن انجام گرفت. آزمایشات در مقیاس آزمایشگاهی درون رآکتورهایی با حجم ۱۱۸ میلی‌لیتر به صورت ناپیوسته انجام شد. عملیات هضم بی‌هوازی در شرایط دمایی مزوفیل انجام شده و جهت آنالیز گاز تولیدشده از دستگاه کروماتوگرافی گاز استفاده شد. عملیات انجام شده جهت پیش‌فرآوری کاه برنج، شامل دو مرحله‌ی شیمیایی به کمک محلول آمونیاک و اسیدفسفریک رقیق در دمای بالا، به منظور افزایش تبدیل بیولوژیکی کاه بود. مرحله‌ی اول شامل حرارت‌دادن کاه برنج در محلول آمونیاک ۱۰٪ (وزنی/وزنی) در مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰، ۱۲۰ و $150^{\circ}C$ جهت حذف لیگنین بوده و تأثیر افزایش زمان بر میزان حذف لیگنین طی پیش‌فرآوری بازی در سه دمای ذکر شده بررسی شد. بهترین نتیجه در دمای $120^{\circ}C$ و مدت زمان پیش‌فرآوری ۶۰ دقیقه با ۳۳/۱٪ حذف لیگنین مشاهده شد. مرحله‌ی دوم هیدرولیز همی‌سلولز و کاهش درجه‌ی کریستالی سلولز با استفاده از محلول اسیدفسفریک رقیق (۰/۵٪ و ۳٪ وزنی/وزنی) در دمای $121^{\circ}C$ به مدت ۶۰ دقیقه بود. افزایش غلظت اسید از ۰/۵٪ به ۳٪ منجر به افزایش میزان قند در فاز مایع به‌دست‌آمده از روش ترکیبی شده، که به عنوان یک منبع کربنی قابل تخمیر برای رشد ابتدایی باکتری‌ها جهت تولید هیدروژن مناسب بود. نتایج آزمایشات نشان داد که پیش‌فرآوری ترکیبی نسبت به حالتی که تنها از آمونیاک استفاده شد، به طور مؤثرتری هضم‌پذیری کاه برنج را جهت فرآیند هضم بی‌هوازی افزایش داد. پیش‌فرآوری تک‌مرحله‌ای و ترکیبی بازده‌ی تولید هیدروژن را به ترتیب ۵۲/۴٪ و ۸۲/۲٪ نسبت به حالت پیش‌فرآوری‌نشده افزایش داد. تصویربرداری SEM جهت بررسی تغییرات مورفولوژیکی ساختار کاه برنج پیش‌فرآوری‌نشده و بهترین نمونه‌ی پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی و ترکیبی انجام شد. تصاویر به‌دست‌آمده نشان دهنده‌ی ایجاد تغییرات زیاد در دیواره‌ی سلولی و به هم ریختن ساختار منظم کاه برنج پس از پیش‌فرآوری بود. هم‌چنین، آنالیز FTIR جهت مشخص نمودن ساختار فیزیکی و تغییرات ایجادشده بر گروه‌های عاملی کاه برنج پیش‌فرآوری‌نشده و نمونه‌های حاصل از پیش‌فرآوری مؤثرتر بازی و ترکیبی انجام گرفت. این آنالیز نشان داد که شاخص کریستالی کاه برنج پیش فرآوری‌نشده، کاه برنج پیش‌فرآوری‌شده‌ی بازی و پیش‌فرآوری‌شده‌ی ترکیبی به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۰/۴۲ و ۰/۴۰ بوده که نشان‌دهنده‌ی کاهش این شاخص پس از پیش‌فرآوری در مقایسه با نمونه‌ی پیش‌فرآوری‌نشده، و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به سلولز و به تبع آن افزایش هضم‌پذیری کاه طی فرآیند هضم بی‌هوازی بود.



**کلمات کلیدی:** کاه برنج، تولید هیدروژن، پیش‌فرآوری، هضم بی‌هوازی

## پیـش‌گفتار

با افزایش تقاضای جهانی برای سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع انرژی و آلودگی به‌جامانده از آن، یافتن منابع انرژی جایگزین و پاک، روز به روز ضرورت بیشتری می‌یابد. بیواتانول و بیوگاز دو منبع انرژی می‌باشند که تحقیقات زیادی در زمینه‌ی تولید آن‌ها انجام شده است. اما در سال‌های اخیر بیوهیدروژن به عنوان پاک‌ترین حامل انرژی در جهان مورد توجه قرار گرفته و مطالعات انجام گرفته در زمینه‌ی تولید آن، به سرعت در حال افزایش است. استفاده از قندهای ساده مانند گلوکز و ساکروز به عنوان سوبسترا در تولید هیدروژن به دلیل سادگی هضم‌پذیری‌شان از سوی میکروارگانیسم‌ها، نسبت به سوبستراهای پیچیده ترجیح داده می‌شوند. اما این مواد باعث بالا رفتن هزینه‌ی تولید بیوهیدروژن و سایر منابع انرژی بیولوژیکی شده و مقرون به صرفه نمی‌باشند. زیست‌توده به عنوان منبع جدیدی جهت تولید بیوانرژی می‌باشد و در میان انواع زیست‌توده، مواد لیگنوسلولزی به دلیل فراوانی و ارزان‌بودن، بیشترین توجه را به خود جلب نموده‌است. عمده‌ی این مواد شامل انواع محصولات جنگلی، محصولات کشاورزی و بازمانده‌های آن، فضولات حیوانی، بازمانده‌ی بسیاری از مواد غذایی خانگی و پسماندهای صنایع غذایی و کاغذسازی و نساجی می‌باشد. مشکل استفاده از لیگنوسلولزها، استحکام و مقاومت بالای آن‌ها در برابر حملات آنزیمی و باکتریایی می‌باشد که جهت رفع این مشکل می‌بایست ساختار این‌گونه از مواد با روش‌هایی تحت عنوان پیش‌فرآوری، تغییر یافته و استحکام و مقاومت آن‌ها کاهش یابد. انواع روش‌های پیش‌فرآوری مانند پیش‌فرآوری فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، آنزیمی و یا ترکیبی از روش‌های ذکرشده، جهت آماده‌سازی مواد لیگنوسلولزی به کار گرفته می‌شود. در این میان، پیش‌فرآوری شیمیایی به عنوان یکی از مؤثرترین و پرکاربردترین روش‌ها شناخته می‌شود.

ایران یکی از کشورهای مستعد در تولید انواع محصولات کشاورزی می‌باشد. براساس آمارهای موجود در ایران، تقریباً نیمی از محصولات کشاورزی بدون این‌که به مصرف برسد در مراحل مختلف برداشت، عرضه و مصرف از بین می رود وصنایع تبدیلی موجود در ایران به آن حد از رشد نرسیده است که بتواند از تمامی اجزای یک محصول کشاورزی بهره مناسب و کامل را ببرد. حدود ۲/۵٪ از کل گندم جهان در ایران مصرف می‌شود که نتیجه‌ی آن به‌جا گذاشتن حجم انبوهی از ضایعات است. تولید سالانه‌ی برنج در کشور ما بالغ بر دو میلیون و سیصد هزار تن می‌باشد که بخش عمده‌ی تولید آن در استان‌های شمالی کشور بوده و سهم سایر استان‌ها کم است. در پایان فصل برداشت شالی، سوزاندن کاه و کلش مزارع علاوه برایجاد آلودگی‌های شدید زیست محیطی، سبب می‌شود که بخشی از سرمایه‌های کشور دود شده و به هوا برود. این در حالی است که از کاه و کلش مزارع برنج می‌توان برای تولید کاغذ، نئوپان، کمپوست محصولات قندی، اسیدهایی شامل استیک، لاکتیک و اریتوربیک اسید، ترکیبات سیلیکاتی از جمله سیلیکای آمورف، سیلیکات‌های محلول و سیلیکات‌های نامحلول ، الکل‌ها شامل اتیل و بوتیل الکل، سلوفان و فرآورده‌های دیگر استفاده کرد. همچنین این منبع انبوه و ارزان‌قیمت می‌تواند جهت تولید منابع بیولوژیکی انرژی

مورد استفاده قرار گرفته و میزان مصرف سوخت‌های فسیلی را در کشور کاهش دهد. با توجه به این‌که در سراسر جهان تحقیقات زیادی در زمینه‌ی یافتن روش‌هایی جهت تولید مقرون به صرفه‌ی انرژی‌های بیولوژیکی در حال انجام است، کنار گذاشتن مصرف سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع انرژی، در آینده‌ای بسیار نزدیک قابل مشاهده خواهد بود. بنابراین می‌توان پیش‌بینی نمود که در بسیاری از کشورهای واردکننده‌ی نفت و سایر سوخت‌های فسیلی، تأمین انرژی مورد نیاز بومی شده و با استفاده از منابع همان کشور تولید گردد. این امر صدمات زیادی بر پیکره‌ی اقتصاد کشور ما و سایر کشورهای صادرکننده‌ی منابع فسیلی خواهد زد. بنابراین ضروری است که پیش از وقوع آن، با توجه به پتانسیل بالای کشاورزی کشور، در زمینه‌ی تولید و بررسی امکان صادرات انرژی‌های بیولوژیکی گام‌های بلند و سریع برداشته شود.

در این تحقیق به بررسی پتانسیل تولید هیدروژن از کاه برنج که یکی از فراوان‌ترین مواد لیگنوسلولزی می‌باشد، پرداخته شد. به این منظور، ابتدا پیش‌فرآوری بازی بر روی کاه برنج به دست‌آمده از مزارع شرق اصفهان انجام شده و سپس تأثیر افزودن یک مرحله‌ی پیش‌فرآوری اسیدی رقیق به دنبال پیش‌فرآوری بازی بر تغییر ساختار کاه و همچنین بازده‌ی تولید هیدروژن طی فرآیند هضم بی‌هوازی، بررسی گردید.

# فصل اول
# مقدمه

## ۱-۱- اهمیت تولید هیدروژن از منابع لیگنوسلولزی

کاهش منابع انرژی و از طرفی آلودگی محیط زیست از چالش‌های قرن بیست و یک در زمینه‌ی تأمین انرژی جوامع می‌باشد. همچنین با پیامدهای تغییرات آب و هوا، افزایش تقاضای جهانی برای سوخت‌های فسیلی و اوج گرفتن قیمت آن، بحران‌های انرژی در حال رشد و عدم تأمین انرژی مورد نیاز و استفاده مداوم و بی حد از منابع محیطی محدود روبه‌رو هستیم. بنابراین بسیار مهم است که تحقیقات مداوم نه تنها در جهت کاهش آلودگی محیطی، بلکه جلوگیری از کاهش منابع طبیعی و یافتن منابع انرژی جایگزین و پاک صورت گیرد [۱]. از سوی دیگر مجموعه انرژی‌های تجدیدپذیر روز به روز سهم بیشتری در تأمین انرژی جهان بر عهده می‌گیرند. عمده‌ترین چالش فراروی انرژی‌های تجدیدپذیر، مسائل اقتصادی آن‌هاست. در حال حاضر هزینه تولید این انرژی‌ها معمولاً بیش از سایر انواع انرژی است. با این حال این هزینه در طول سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت فن‌آوری به شدت کاهش یافته و در صورت ادامه این روند، آهنگ رشد تولید انرژی‌های تجدیدپذیر از سرعت بیشتری برخوردار خواهد بود [۲-].

انرژی‌های بیولوژیک مانند چوب و زیست توده‌های[1] دیگر از مدت‌ها قبل شناخته شده و بشر همواره از آن سود برده است. اما امروزه انرژی‌های بیولوژیک به صورت‌های جدیدتری وارد عرصه شده اند. از آن جمله می‌توان به بیوگاز، بیوهیدروژن، بیودیزل و بیواتانول اشاره کرد. بسیاری بر این باورند که سوخت نهایی بشر هیدروژن بوده و بشر درآینده‌ای نه چندان دور عصر هیدروژن را تجربه خواهد نمود. تولید و مصرف آن به‌عنوان حامل انرژی به سراسر اقتصاد جهانی سرایت نموده و اقتصاد هیدروژنی تثبیت خواهد شد. با این وجود نباید انتظار داشت که هیدروژن در بدو ورود از نظر قیمتی بتواند با سایر حامل‌های انرژی رقابت نماید. در حال حاضر تولید عمده‌ی هیدروژن در جهان

[1] Biomass