بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

تولید اتانول و کیتوزان توسط مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس از کاه برنج

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

حمیدرضا بهشتی

اساتید راهنما
دکتر کیخسرو کریمی
دکتر اکرم زمانی

1392

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی آقای حمیدرضا بهشتی

تحت عنوان

تولید اتانول و کیتوزان توسط مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس از کاه برنج

در تاریخ ۹۲/۱۰/۲۵ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر کیخسرو کریمی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر اکرم زمانی
۳- استاد داور	دکتر حمید زبلویی
۴- استاد داور	دکتر طیبه بهزاد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مرتضی صادقی

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بپوشانید و تجلیات قدرت لایتزالی را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید. بار الها! من با یاد تو، به تو تقرّب می‌جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می‌آورم و از تو خواستارم به کرمت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام واداری.

به سبک مرسوم نگارش پایان‌نامه، ناچارم با واژه ها بنویسم: متشکرم، قدردانی می کنم، سپاسگزارم و ... ولی خوب واقفم که آنچه تحریر می‌شود کجا و مکنونات دلم کجا. چه کنم جز اینکه امید ببندم به این که همگان آگاهند "ورای حد تقریر است ...".

در ابتدا از دوستان عزیزم آقایان مهندس حمید امیری، مهندس هادی عدلو، مهندس مهدی حسامی، مهندس بهزاد ستاری و خانم مهندس زهرا صفایی که هر یک به نوعی با همدلی و همکاری یاریم دادند، تشکر می کنم. همچنین از خانم‌ها هادیان و تن‌سازان سپاسگزارم که با صبر و حوصله فراوان در انجام کارهای اداری و آزمایشگاهی با بنده همکاری نمودند. از جناب آقای رئوفی برای فراهم کردن مواد و لوازم آزمایشگاهی کمال تشکر را دارم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کریمی که در کلیه‌ی مراحل انجام این پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمائی‌ام نمودند و با دلگرمی‌ها و تشویق‌هایشان همواره راهنما و چراغ راه من بوده‌اند، سپاسگزار و متشکرم. همچنین از استاد فرهیخته سرکار خانم دکتر زمانی که وقت خود را بی‌شائبه در اختیار من گذاشته و با دقت نظر خاصی راهنمایی‌های لازم را در این خصوص ارائه نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از کلیه‌ی معلمان و اساتید دوران تحصیلم از ابتدا تاکنون صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در نهایت، حاصل این کار را به پدر و مادرم، پشتیبانان بی‌قید و شرط و همیشگی‌ام، خورشیدهایی که هرگاه دنیا برایم به تاریکی می گرایید، روشنای راهم بودند و تنها مأوای امن من، تقدیم می کنم. امید که سپاس کوچک مرا پذیرا باشند.

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

تقدیم به پدر و مادر و مادربزرگ عزیزم

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است:

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان پرمهر مادرم

به مادربزرگم که نفس خیر و دعای روح پرورش بدرقه‌ی راهم بود.

هر چه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هر چه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما.

ره آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم، نسیم‌گونه غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده..... 1

فصل اول مقدمه..... 2
1-1- مقدمه 2
1-2- پیکربندی پایان‌نامه 6

فصل دوم مطالعات مروری 7
2-1- تاریخچه تولید اتانول..... 7
2-2- بیواتانول..... 7
2-2-1- مفهوم تجدیدپذیری 8
2-2-2- بیواتانول و کاربرد آن به عنوان سوخت..... 9
2-2-3- بیواتانول به عنوان جایگزینی مناسب برای MTBE 10
2-2-4- تأثیرات زیست محیطی بیواتانول 11
2-3- مواد لیگنوسلولزی به عنوان ماده‌ی اولیه‌ی تولید اتانول..... 13
2-4- کاه برنج 15
2-4-1- زیست‌توده‌ی کاه برنج و بهره‌برداری از آن..... 16
2-4-2- ترکیبات کاه برنج..... 16
2-4-3- پتانسیل کاه برنج در تولید بیواتانول 18
2-5- تولید بیواتانول از کاه برنج..... 19
2-5-1- اهمیت پیش‌فرآوری 19
2-5-2- پیش‌فرآوری فیزیکی..... 22
2-5-3- پیش‌فرآوری شیمیایی..... 22
2-5-4- فرآیند هیدرولیز 24
2-6- میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اتانول 26
2-6-1- مخمر 27
2-6-2- باکتری‌ها..... 27
2-6-3- قارچ‌های زیگومایست 28
2-7- موکور هیمالیس 34
2-7-1- رشد دوشکلی 34
2-7-2- عوامل محیطی مؤثر بر مورفولوژی‌های قارچ موکور 36
2-7-3- تفاوت رشد مخمری شکل و فیلامنتوسی 40
2-7-4- دیواره‌ی سلولی..... 40

2-7-5- کیتین و کیتوزان 41
2-8- هدف از پژوهش حاضر 43

فصل سوم مواد و روش‌های انجام آزمایش‌ها 44
3-1- مواد مورد استفاده در آزمایش‌ها 44
3-2- میکروارگانیسم و محیط نگهداری آن 45
3-3- روش انجام آزمایش‌ها 45
3-3-1- روش تهیه محیط‌های کشت مایع 45
3-3-2- فرآیند تلقیح 45
3-3-3- تعیین اجزای تشکیل‌دهنده‌ی کاه برنج مورد استفاده 45
3-3-4- پیش‌فرآوری 47
3-3-5- فرآیند هیدرولیز آنزیمی 48
3-3-6- فرآ یند تخمیر 48
3-3-7- روش جداسازی بیومس از محیط کشت 49
3-3-8- اندازه‌گیری میزان کیتوزان بیومس 49
3-3-9- اندازه‌گیری فسفات 50
3-3-10- اندازه‌گیری میزان پروتئین بیومس 51
3-4- روش آنالیز 51

فصل چهارم ارائه‌ی نتایج و تحلیل آن 52
4-1- مقدمه 52
4-2- بررسی اثر پیش‌فرآوری‌های انجام شده بر ترکیبات کاه برنج 53
4-2-1- اثر پیش‌فرآوری با هیدروکسید سدیم بر ترکیبات کاه برنج 53
4-2-2- اثر پیش‌فرآوری با هیدروکسید سدیم به همراه اولتراسونیک بر ترکیبات کاه برنج 55
4-2-3- اثر پیش‌فرآوری با اسید فسفریک بر ترکیبات کاه برنج 55
4-2-4- اثر پیش‌فرآوری با اسید فسفریک به همراه اولتراسونیک بر ترکیبات کاه برنج 55
4-3- فرآیند هیدرولیز آنزیمی 56
4-4- بررسی اثر مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بر تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری شده با هیدروکسید سدیم 57
4-4-1- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی خالص 58
4-4-2- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی غالب 58
4-4-3- اثر مورفولوژی مخمری شکل غالب 58
4-4-4- اثر مورفولوژی مخمری شکل خالص 59
4-5- بررسی اثر مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بر تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری شده با هیدروکسید سدیم همراه با اولتراسونیک 60

4-5-1- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی خالص 60
4-5-2- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی غالب 60
4-5-3- اثر مورفولوژی مخمری شکل غالب 60
4-5-4- اثر مورفولوژی مخمری شکل خالص 61
4-6- بررسی اثر مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بر تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری شده با اسید فسفریک 62
4-6-1- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی خالص 62
4-6-2- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی غالب 62
4-6-3- اثر مورفولوژی مخمری شکل غالب 62
4-6-4- اثر مورفولوژی مخمری شکل خالص 63
4-7- بررسی اثر مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بر تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری شده با اسید فسفریک همراه با اولتراسونیک 63
4-7-1- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی خالص 64
4-7-2- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی غالب 64
4-7-3- اثر مورفولوژی مخمری شکل غالب 65
4-7-4- اثر مورفولوژی مخمری شکل خالص 65
4-8- بررسی اثر مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بر تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری نشده ... 65
4-8-1- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی خالص 65
4-8-2- اثر مورفولوژی فیلامنتوسی غالب 66
4-8-3- اثر مورفولوژی مخمری شکل غالب 66
4-8-4- اثر مورفولوژی مخمری شکل خالص 67
4-9- مقایسه و تحلیل نتایج فرآیند تخمیر 67
4-9-1- بررسی عوامل مؤثر بر تولید متابولیت‌ها 67
4-9-2- بررسی بازده‌ی بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس و میزان پروتئین، فسفات و کیتوزان آن 75

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات 83
5-1- مقدمه 83
5-2- نتیجه‌گیری 84
5-3- پیشنهادات 85
مراجع 87

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1-1- روند تولید و مصرف جهانی بیواتانول در سال‌های 2010-2000 4

شکل 2-1- نموداری از چرخه‌ی کربن بیواتانول 12

شکل 2-2- زنجیره‌ی سلولزی 18

شکل 2-3- ساختار لیگنین 18

شکل 2-4- مراحل اصلی تولید اتانول از کاه برنج 20

شکل 2-5- تأثیر پیش‌فرآوری بر زیست‌توده‌ی لیگنوسلولزی 22

شکل 2-6- مسیر متابولیکی قارچ ها در تبدیل هگزوزها به اتانول، گلیسرول یا چرخه‌ی اسید تری‌کربوکسیلیک، الگوبرداری شده از روی ساکارومایسس سرویسیه 30

شکل 2-7- متداولترین مسیر متابولیکی تبدیل L-آرابینوز و D- زایلوز به D- زایلولوز -P-5 در قارچ ها و مسیر گلیکولیز ساده شده‌ی متعاقب آن و تشکیل پیروات 33

شکل 2-8- جایگاه موکور ایندیکوس و موکور همالیس در سلسله‌ی قارچی و زیگومایست‌ها 35

شکل 2-9- نحوه‌ی تشکیل مورفولوژیهای مختلف قارچ موکور 36

شکل 2-10- چرخه‌ی مورفولوژیکی قارچ موکور 37

شکل 2-11- ضخامت دیواره‌ی سلولی مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس: سلول مخمری شکل (Y)، سلول میسیلیومی (M) 41

شکل 2-12- ساختار کیتین و کیتوزان 42

شکل 4-1- نتایج تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری شده با هیدروکسید سدیم توسط مورفولوژی (الف) فیلامنتوسی خالص، (ب) فیلامنتوسی غالب، (ج) مخمری شکل غالب و (د) مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس. علائم پروفایل غلظت گلوکز (¯)، اتانول (™) و گلیسرول (r) را نشان می‌دهد. 59

شکل 4-2- نتایج تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری شده با هیدروکسید سدیم همراه با اولتراسونیک توسط مورفولوژی (الف) فیلامنتوسی خالص، (ب) فیلامنتوسی غالب، (ج) مخمری شکل غالب و (د) مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس. علائم پروفایل غلظت گلوکز (¯)، اتانول (™) و گلیسرول (r) را نشان می‌دهد. 61

شکل 4-3- نتایج تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری شده با اسید فسفریک توسط مورفولوژی (الف) فیلامنتوسی خالص، (ب) فیلامنتوسی غالب، (ج) مخمری شکل غالب و (د) مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس. علائم پروفایل غلظت گلوکز (¯)، اتانول (™) و گلیسرول (r) را نشان می‌دهد. 63

شکل 4-4- نتایج تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری شده با اسید فسفریک همراه با اولتراسونیک توسط مورفولوژی (الف) فیلامنتوسی خالص، (ب) فیلامنتوسی غالب، (ج) مخمری شکل غالب و (د) مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس. علائم پروفایل غلظت گلوکز (¯)، اتانول (™) و گلیسرول (r) را نشان می‌دهد. 64

شکل 4-5- نتایج تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری نشده توسط مورفولوژی (الف) فیلامنتوسی خالص، (ب) فیلامنتوسی غالب، (ج) مخمری شکل غالب و (د) مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس. علائم پروفایل غلظت گلوکز (¯)، اتانول (™) و گلیسرول (r) را نشان می‌دهد. 66

شکل 4-6- ماکزیمم بازده‌ی تئوری تولید اتانول حاصل از تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش‌فرآوری شده با روش‌های مختلف توسط مورفولوژی‌های قارچ موکور هیمالیس 69

شکل 4-7- ماکزیمم بازده‌ی تولید گلیسرول حاصل از تخمیر هیدرولیزیت کاه برنج پیش فرآوری شده با روش های مختلف توسط مورفولوژی‌های قارچ موکور هیمالیس 70
شکل 4-8- مورفولوژی فیلامنتوسی خالص قارچ موکور هیمالیس 71
شکل 4-9- مورفولوژی فیلامنتوسی غالب (فیلامنتوس همراه با تعداد کمی سلول‌های مخمری شکل) قارچ موکور هیمالیس 71
شکل 4-10- مورفولوژی مخمری شکل غالب (مخمری شکل همراه با تعداد کمی فیلامنت) قارچ موکور هیمالیس 72
شکل 4-11- مورفولوژی مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس 72
شکل 4-12- نمودار تغییرات غلظت گلوکز در فرآیند تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج پیش‌فرآوری شده با (الف) هیدروکسید سدیم، (ب) هیدروکسید سدیم همراه با اولتراسونیک، (ج) اسید فسفریک و (د) اسید فسفریک همراه با اولتراسونیک توسط مورفولوژی‌های قارچ موکور هیمالیس: فیلامنتوسی خالص (™)، فیلامنتوسی غالب (˜)، مخمری شکل غالب (¢) و مخمری شکل خالص (*).....74
شکل 4-13- نتایج مربوط به بازده‌ی بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس حاصل از فرآیند تخمیر 77
شکل 4-14- میزان پروتئین بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس حاصل از فرآیند تخمیر 78
شکل 4-15- میزان AIM حاصل از بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس 79
شکل 4-16- نسبت گلوکزآمین و N- استیل گلوکزآمین به AIM حاصل از بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس. NaOH: پیش‌فرآوری با هیدروکسید سدیم، NaOH Ultra: پیش‌فرآوری با هیدروکسید سدیم و اولتراسونیک، H_3PO_4: پیش‌فرآوری با اسید فسفریک، H_3PO_4 Ultra: پیش‌فرآوری با اسید فسفریک و اولتراسونیک، PF: مورفولوژی فیلامنتوسی خالص، MF: مورفولوژی فیلامنتوسی غالب، MY: مورفولوژی مخمری شکل غالب، PY: مورفولوژی مخمری شکل خالص. 80
شکل 4-17- نسبت فسفات به AIM حاصل از بیومس مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس 82

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 2-1- بالانس انرژی فسیلی برای سوخت‌های مایع 9
جدول 2-2- خواص فیزیکی- شیمیایی افزودنی‌های اکسیژن‌دار بالابرنده‌ی عدد اکتان بنزین 11
جدول 2-3- ترکیبات تشکیل دهنده‌ی کاه برنج مورد استفاده در برخی تحقیقات 17
جدول 2-4- بازده‌ی تولید اتانول و بیومس گونه‌های مختلف زیگومایست در یک محیط کشت هوازی حاوی 50 گرم بر لیتر گلوکز 29
جدول 2-5- بازده‌ی تولید اتانول و بیومس گونه‌های مختلف زیگومایست در یک محیط کشت هوازی حاوی 50 گرم بر لیتر زایلوز 29
جدول 2-6- اثر غلظت اولیه‌ی اسپور بر مورفولوژی رشد قارچ موکور ایندیکوس.....39
جدول 3-1- ترکیبات افزوده شده به محلول محیط‌های کشت 45
جدول 3-2- غلظت اسپورهای تلقیح شده برای دستیابی به مورفولوژی مورد نظر قارچ موکور هیمالیس 46
جدول4-1- ترکیبات کاه برنج پیش‌فرآوری شده و پیش‌فرآوری نشده (درصد وزنی جرم خشک).....54
جدول4-2- نتایج حاصل از 72 ساعت فرآیند هیدرولیز آنزیمی کاه برنج پیش‌فرآوری شده و پیش‌فرآوری نشده 57
جدول 4-3- ماکزیمم بازده های اتانول و گلیسرول (گرم اتانول تولید شده بر گرم گلوکز مصرفی) حاصل از تخمیر هیدرولیزیت پیش‌فرآوری‌های مختلف کاه برنج 67
جدول 4-4- نتایج بیومس حاصل از فرآیند تخمیر هیدرولیزیت‌های کاه برنج توسط مورفولوژیهای مختلف قارچ موکور هیمالیس 76

چکیده

بیواتانول به عنوان سوختی پاک و تجدیدپذیر، جایگزین بسیار خوبی برای سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آید. بیواتانول را می‌توان از سه دسته ماده‌ی خام اولیه شامل مواد قندی، مواد نشاسته‌ای و مواد لیگنوسلولزی تولید نمود. کاه برنج یکی از مواد زائد لیگنوسلولزی فراوان در دنیا محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، تولید بیواتانول از کاه برنج توسط مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس مورد بررسی قرار گرفت. کاه برنج با هیدروکسید سدیم و اسید فسفریک، به همراه اولتراسونیک یا بدون آن، قبل از فرآیند هیدرولیز آنزیمی، مورد پیش‌فرآوری قرار گرفت. پیش‌فرآوری قلیایی با محلول هیدروکسید سدیم 12 درصدی در دمای صفر درجه‌ی سانتیگراد و به مدت 3 ساعت انجام شد؛ در حالی که پیش‌فرآوری با اسید فسفریک 85 درصد در دمای 50 درجه‌ی سانتیگراد و به مدت 30 دقیقه صورت گرفت. پیش‌فرآوری‌ها منجر به بهبود فرآیند هیدرولیز آنزیمی گردید و بازده‌ی تئوری تولید گلوکز 93-76 درصد به دست آمد. بهترین عملکرد فرآیند هیدرولیز آنزیمی برای پیش‌فرآوری با هیدروکسید سدیم به همراه اولتراسونیک (93 درصد بازده‌ی تئوری تولید گلوکز) حاصل شد. قارچ موکور هیمالیس از جمله قارچ‌های فیلامنتوس و متعلق به رده زیگومایست‌ها می‌باشد و قادر به رشد با مورفولوژی‌های مختلف است. بر اساس نتایج این پژوهش، قارچ موکور هیمالیس توانایی مناسبی در تولید اتانول از سوبسترای کاه برنج از خود نشان داد. بیومس قارچ موکور هیمالیس مقادیر زیادی کیتوزان دارد و منبع مناسبی برای تولید این بیوپلیمر پرکاربرد به شمار می‌رود. در این تحقیق در ابتدا نحوه‌ی ایجاد مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس بررسی و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تلقیح غلظت‌های کم اسپور برابر با $10^5 \times 4\text{-}1$ اسپور بر میلی لیتر و دسترسی به اکسیژن، منجر به رشد قارچ با مورفولوژی فیلامنتوسی خالص می‌شود؛ در صورتی که تلقیح اسپور با غلظت بیشتر، $10^5 \times 20\text{-}10$ و $10^6 \times 8$ اسپور بر میلی لیتر و اعمال شرایط هوازی، به ترتیب رشد قارچ با مورفولوژی فیلامنتوسی غالب و مخمری شکل غالب را به همراه دارد. همچنین، با تلقیح اسپور با غلظت زیاد ($10^6 \times 8$ اسپور بر میلی لیتر) و به کارگیری شرایط بی‌هوازی، مورفولوژی مخمری شکل خالص حاصل می‌شود. در ادامه‌ی تحقیقات، تولید اتانول از هیدرولیزیت‌های کاه برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، توانایی تولید اتانول کلیه‌ی مورفولوژی‌های قارچ موکور هیمالیس از کاه برنج را نشان داد. ماکزیمم بازده‌ی تولید اتانول برای هیدرولیزیت کاه برنج پیش‌فرآوری شده با هیدروکسید سدیم همراه با اولتراسونیک 0/44 گرم بر گرم گلوکز توسط مورفولوژی مخمری شکل خالص قارچ موکور هیمالیس، حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که بازده‌ی تولید اتانول از هیدرولیزیت کاه برنج برای مورفولوژی مخمری شکل خالص نسبت به سایر مورفولوژی‌ها اندکی بیشتر است (0/44-0/35 گرم بر گرم گلوکز بسته به نوع پیش‌فرآوری). علاوه بر ماکزیمم بازده‌ی تولید اتانول و گلیسرول از هیدرولیزیت کاه برنج توسط مورفولوژی‌های مختلف قارچ موکور هیمالیس، بازده‌ی بیومس و میزان پروتئین، فسفات و کیتوزان دیواره‌ی سلولی نیز مورد بررسی قرار گرفت. بازده‌ی تولید بیومس مورفولوژی مخمری شکل در حالت هوازی بیش از مورفولوژی فیلامنتوسی است و بیومس این مورفولوژی پروتئین بیشتری نیز دارد؛ در حالی که سهم فسفات (0/071-0/063 گرم فسفات بر گرم AIM) و کیتوزان (0/242- 0/184 گرم گلوکزآمین بر گرم AIM) موجود در بیومس این مورفولوژی، کمتر از مورفولوژی فیلامنتوسی (به ترتیب 0/107-0/089 گرم فسفات بر گرم AIM و 0/341- 0/297 گرم گلوکزآمین بر گرم AIM) است.

کلمات کلیدی: اتانول، پیش‌فرآوری، هیدروکسید سدیم، اسید فسفریک، کاه برنج، کیتوزان، موکور هیمالیس، مورفولوژی.

فصل اول
مقدمه

1-1- مقدمه

اتانول یا اتیل الکل (CH_3CH_2OH) به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، ماده‌ی شیمیایی بسیار مهمی به شمار می‌رود و به طور گسترده برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اتانول در شرایط معمولی مایعی فرار، بی‌رنگ، شفاف، قابل اشتعال، محلول در حلال‌های غیرقطبی و قطبی از جمله آب است. نقطه‌ی جوش اتانول 78/32 درجه‌ی سانتیگراد، نقطه‌ی انجماد آن 114/1- درجه‌ی سانتیگراد و وزن مخصوص آن در 20 درجه‌ی سانتیگراد حدود 0/7893 گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد [1].

استفاده از اتانول به عنوان سوخت وسایل نقلیه سابقه‌ای طولانی دارد. در نسل‌های ابتدایی موتورهای احتراق داخلی ساخته شده در قرن نوزدهم میلادی توسط ساموئل موری[1] در سال 1826 و نیکلاس اتو[2] در سال 1876 از اتانول به عنوان سوخت استفاده می‌شد [2]. نخستین اتوموبیلی که توسط هنری فورد[3] در سال 1896 میلادی ساخته شد، از اتانول خالص به عنوان سوخت استفاده می‌کرد. در سال 1908 اتومبیل فورد مدل T، اولین اتومبیلی که در مقیاس تجاری ساخته شد، خودرویی انعطاف‌پذیر بود و توانایی استفاده از اتانول، بنزین و مخلوطی از هر دو را به عنوان سوخت داشت [3]. اتانول به عنوان سوخت تا اوایل دهه‌ی 1900 میلادی و به طور گسترده در قاره‌ی اروپا و ایالات متحده‌ی آمریکا مورد استفاده قرار می‌گرفت. پس از پایان جنگ جهانی اول، تقاضای تولید اتانول با کاهشی چشمگیر روبه‌رو شد؛ چرا که هزینه‌ی تولید آن از هزینه‌ی تولید سوخت از نفت‌خام بیشتر بود. با این وجود از اتانول

---

[1] Samuel Morey
[2] Nicholas Otto
[3] Henry Ford

به عنوان عامل ضد ضربه (بالابرنده‌ی عدد اکتان) استفاده می‌شد و اتانول به عنوان جایگزینی محتمل برای سوخت‌های فسیلی به شمار می‌رفت [4]. بازار اتانول سوختی در دهه‌ی 1970 به دلایل اقتصادی همچون بحران نفت و مشکلاتی که در بازار بین‌المللی شکر به دلیل تولید اضافی ایجاد شده بود، دوباره احیا شد.

اتانول به عنوان سوختی پاک و تجدیدپذیر، جایگزین بسیار خوبی برای نفت به شمار می‌آید [5]. اگر چه تراز انرژی اتانول 68 درصد کمتر از سوخت‌های نفتی است، اما به دلیل داشتن اکسیژن، احتراق آن تمیزتر صورت می‌گیرد و متعاقباً میزان انتشار مواد سمی کمتر خواهد بود [1]. همچنین استفاده از بیواتانول به عنوان سوخت حمل و نقل از دو طریق در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مؤثر است: به عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی و ایجاد چرخه‌ی بازگشتی دی‌اکسیدکربنی که در هنگام احتراق سوخت حاصل می‌شود. استفاده از اتانول به جای بنزین، انتشار دی‌اکسیدکربن را بیش از 80 درصد کاهش داده و انتشار دی‌اکسیدگوگرد را که منجر به باران اسیدی می‌شود، به طور کامل متوقف می‌سازد [6]. سوخت‌های اتانولی و بنزین‌های حاوی اتانول با حرف لاتین E و عددی که نشان‌دهنده‌ی درصد اتانول در سوخت می‌باشد، مشخص و با همین عنوان در پمپ بنزین‌ها عرضه می‌گردند. برای مثال E5 برای بنزین حاوی 5 درصد اتانول و E85 برای سوخت اتانولی حاوی 85 درصد اتانول و 15 درصد بنزین.

اتانول به دو طریق سنتزی و بیولوژیکی تولید می‌شود. اتانول بیولوژیکی تقریباً 95 درصد از کل اتانول تولیدی دنیا را تشکیل می‌دهد [7] و 5 درصد باقیمانده از طریق سنتز شیمیایی تولید می‌گردد. اتانول بیولوژیکی را که هم‌اکنون بیش از 80 درصد از تولید سوخت‌های زیستی مایع را به خود اختصاص داده است [8]، می‌توان از سه دسته ماده‌ی خام اولیه تولید نمود:

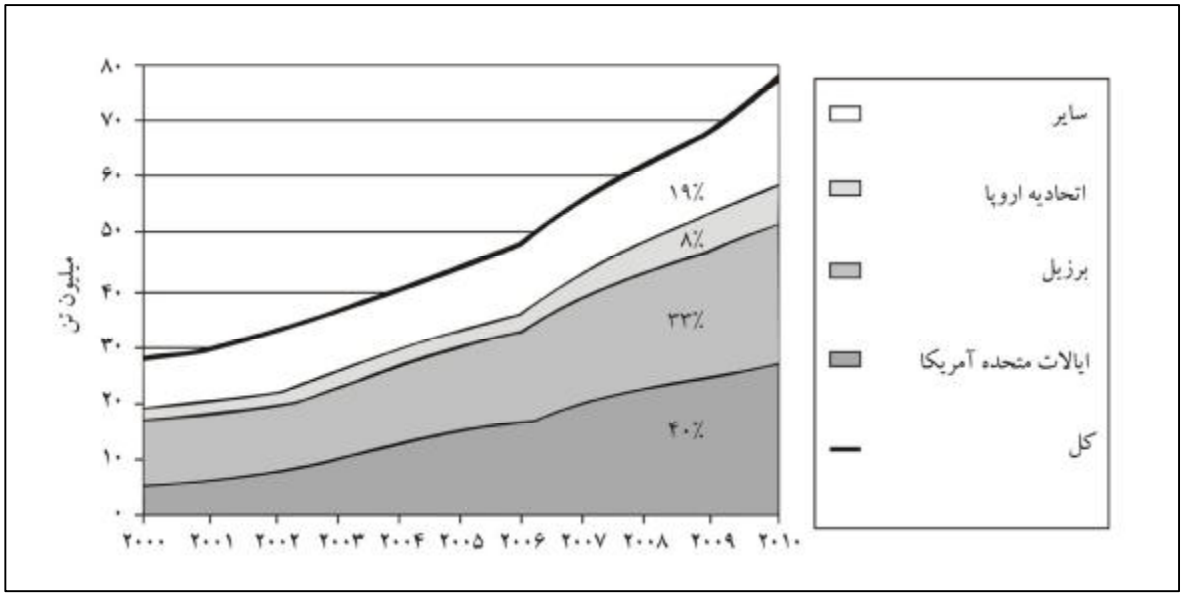
- مواد قندی (نسل اول) مانند نیشکر، ملاس و سورگوم شیرین
- مواد نشاسته‌ای (نسل اول) نظیر ذرت و سیب زمینی
- مواد لیگنوسلولزی (نسل دوم) همچون چوب و ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم و کاه برنج، ساقه‌ی ذرت و باگاس نیشکر

کشورهای مختلف اتانول را از مواد اولیه‌ی در دسترس خود تولید می‌کنند. برای مثال در ایالات متحده‌ی آمریکا ذرت برای تولید اتانول مورد استفاده قرار می‌گیرد و در برزیل از ساکاروز نیشکر استفاده می‌شود.

اتانول، سوختی تجدیدپذیر است و تولید آن در طی سال‌های اخیر به طور چشمگیری افزایش یافته است (شکل 1-1). آمارهای رسمی موجود میزان تولید جهانی اتانول در سال 2010 و 2011 میلادی را به ترتیب 102 و 106 میلیارد لیتر (معادل 80 و 84 میلیون تن) تخمین می‌زند[1] [8] . از این میزان تولید در سال 2011، حدود 88 میلیارد لیتر معادل 83 درصد از تولید جهانی اتانول، اتانول سوختی بوده که حدود 3/2 میلیارد لیتر از تولید جهانی اتانول سوختی در سال قبل بیشتر است. سایر کاربردهای اتانول عبارت است از: حلال صنعتی (10 درصد) و مشروبات الکلی (7 درصد) [7].

[1] آمارهای رسمی حداقل 3 ماه پس از پایان هر سال میلادی منتشر می‌گردد

دلیل اصلی موقعیت کنونی بیواتانول و اهمیت آن در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای، فراوانی و تنوع مواد اولیه‌ی قابل استفاده در حال و آینده، به ویژه منابع عظیم زیست‌توده‌ی کره‌ی زمین است. برزیل و امریکا بزرگترین تولیدکنندگان اتانول زیستی در دنیا هستند. این دو کشور در مجموع حدود 70 درصد اتانول دنیا را تولید می‌کنند. در اتحادیه‌ی اروپا، اسپانیا، فرانسه و سوئد و در آسیا چین و هند مهمترین تولیدکنندگان اتانول زیستی به حساب می‌آیند. سهم ایران در تولید جهانی اتانول در حال حاضر حدود 90 میلیون لیتر است [8]. شکل 1-1 کشورهای عمده‌ی تولیدکننده‌ی اتانول و میزان تولید آن‌ها را در سالیان اخیر نشان می‌دهد.



شکل 1-1- روند تولید و مصرف جهانی بیواتانول در سال‌های 2010-2000 [9]

در ایران با توجه به وجود منابع بالقوه‌ی مواد اولیه برای تولید اتانول شامل ملاس نیشکری و چغندری، مواد نشاسته‌دار (ذرت و گندم) و مواد لیگنوسلولزی (ضایعات چوب، ضایعات کشاورزی، کاغذ بازیافتی از زباله و ...)، امکان تولید اتانول فراهم است. در صورت ایجاد بازار مصرف و سرمایه‌گذاری مناسب، می‌توان سالانه بیش از 2 میلیون تن اتانول در کشور تولید کرد. در حال حاضر، بخش اعظم اتانول تولیدی کشور از ملاس نیشکر و چغندر به دست می‌آید [8].

کاه برنج محصول فرعی عمده‌ی شلتوک برنج محسوب می‌شود و از برداشت هر تن برنج، یک و نیم تن کاه و کلش در مزارع به صورت ضایعات گیاهی برجای می‌ماند. بر اساس آمار اعلام شده در سال 1389 سطح زیرکشت برنج در کشور بیش از 620 هزار هکتار بوده است که بر همین اساس سالیانه حدود 2/5 میلیون تن شلتوک از مزارع برنج برداشت می شود. به واسطه‌ی برداشت این مقدار شلتوک، حدود 3 میلیون تن کاه برنج در مزارع بر جای می‌ماند که به جهت ارزش غذایی اندک جهت تغذیه‌ی دام چندان مورد توجه قرار نگرفته و در حاشیه‌ی مزارع