

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه اراک

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

تولید مداوم اتانول زیستی از ضایعات لیگنوسلولزی با استفاده از سیستم تراوش تبخیری مجهز به

غشای نانوفیلتراسیون پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون

پژوهشگر

پویا جعفری

استاد راهنما

دکتر مصطفی کشاورز مروجی

دکتر غلامرضا صالحی جوزانی

استاد مشاور

دکتر جلال برزین

زمستان ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تولید مداوم اتانول زیستی از ضایعات لیگنوسلولزی با استفاده از سیستم تراوش تبخیری مجهز به

غشای نانوفیلتراسیون پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون

توسط

پویا جعفری

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی

ارشد

در رشته مهندسی شیمی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر مصطفی کشاورز مروجی (استاد راهنما) دانشگاه اراک.....

دکتر غلامرضا صالحی جوزانی (استاد راهنما) پژوهشکده تحقیقاتی بیوتکنولوژی کشاورزی کرج.....

دکتر جلال برزین (استاد مشاور) پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.....

دکتر عبدالرضا مقدسی (استاد مدعو داخلی) دانشگاه اراک.....

دکتر سید محسن حسینی (استاد مدعو داخلی) دانشگاه اراک.....

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به مادر مهربان و پدر عزیزم،

دریایی از مهر و آسمانی از محبت،

که حضور گرمی شان پژواک امید و روشنگر تاریکی هاست...

با سپاس از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر مصطفی کشاورز مروجی ، جناب آقای دکتر
غلامرضا صالحی جوزانی و جناب آقای دکتر جلال برزین که با بزرگواری مرا در سایه لطف
و حکمت خود قرار دادند.

افتخار شاگردی شان ، همواره مایه مباهات من است.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه اراک

می باشد.

چکیده:

اتانول زیستی اخیراً توجه زیادی را در صنعت به خاطر تهیه آن از مواد اولیه ارزان، در دسترس بودن و آلودگی کمتر زیست محیطی به خود توجه کرده است. از اتانول به عنوان مکمل بنزین و همچنین به عنوان سوخت می توان استفاده کرد. روش های زیادی برای جداسازی اتانول از محصولات تولید شده در فرایند تخمیر وجود دارد. یکی از این روش ها تراوش تبخیری می باشد که به خاطر مصرف انرژی کمتر و تولید آلودگی کمتر، بسیار مورد توجه می باشد. در این تحقیق از غشاهای پلیمری پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون برای تخلیص اتانول استفاده شده است. در ابتدا ساختار زیر لایه پلی اتر سولفون و رو لایه پلی دی متیل سیلوکسان توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که افزودنی پلی وینیل پیرولیدن سبب افزایش تخلخل زیر لایه شده و فرایند پیش آغشته سازی مانع نفوذ محلول پلی دی متیل سیلوکسان به زیر لایه می شود. سپس زبری غشاهای ساخته شده توسط دستگاه عکسبرداری میکروسکوپی نیروی اتمی اندازه گیری شد و محاسبه عوامل زبری سطح نشان می دهد که با لایه نشانی پلی دی متیل سیلوکسان بر روی پلی اتر سولفون زبری سطح کاهش یافته و سطح کاملاً پوشش داده شده است. در ادامه عملکرد غشای کامپوزیت توسط روش سطح پاسخ به مدل های ریاضی درجه دوم تبدیل شد. در این مدل ها که از طراحی مرکب مرکزی چرخشی برای طراحی آزمایش ها در آن استفاده شده است، ثابت شد که غلظت درجه اول پلیمر بیشترین تاثیر را بر میزان شار عبوری و میزان انتخاب پذیری دارد. سپس با استفاده از غشای ساخته شده برای جداسازی مداوم اتانول از محیط کشت در طول ۵۰ ساعت انجام آزمایش نشان داده شد که میزان غلظت اتانول در بیورآکتور به ۷۰ گرم بر لیتر و غلظت آن در محصول به ۲۲۰ گرم بر لیتر می رسد.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
ز.....	فهرست مطالب
۱.....	چکیده
	فصل اول
۲.....	مقدمه
	فصل دوم: تئوری
۶.....	۱-۲- اتانول
۷.....	۱-۱-۲- تولید اتانول در دنیا
۸.....	۲-۱-۲- روش های تولید اتانول
۸.....	۱-۲-۱-۲- تولید اتانول به روش شیمیایی
۹.....	۲-۲-۱-۲- تولید اتانول به روش تخمیر
۱۰.....	۳-۱-۲- منابع تولید اتانول تخمیری
۱۲.....	۲-۲- روش های فرماتاسیون
۱۴.....	۳-۲- استخراج اتانول
۱۵.....	۴-۲- فرایند تراوش تبخیری
۲۹.....	۱-۴-۲- تاریخچه فرایند تراوش تبخیری
۳۴.....	۲-۴-۲- مروری بر کارهای دیگر محققین
۳۹.....	۳-۴-۲- فرایند تراوش تبخیری: تئوری های انتقال جرم

۴۴	..... ساختار غشاهای قابل کاربرد در فرایند تراوش تبخیری
۴۶	..... نیروهای محرکه در فرایند تراوش تبخیری
۴۶	..... پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد غشا
۴۶	..... دما
۴۷	..... اثر غلظت خوراک
۴۷	..... اثر اندازه، شکل و ساختار شیمیایی مولکول ها
۴۸	..... پلاریزاسیون غلظتی
۴۹	..... اختلاف فشار
۴۹	..... اجزا سازنده و ابعاد غشا
۵۰	..... روش سطح پاسخ (Response Surface Methodology)
۵۱	..... طراحی مرکب مرکزی چرخشی (Central Composite Rotatable Design)

فصل سوم: تجزیه

۵۳	..... مواد
۵۳	..... پلی اتر سولفون
۵۴	..... پلی وینیل پیرولیدین
۵۴	..... دی متیل استامید
۵۵	..... پلی دی متیل سیلوکسان
۵۵	..... ان هپتان
۵۵	..... تترا اتیل اورتو سیلیکات
۵۶	..... دی بوتیل تین دی لوئورات
۵۶	..... مواد استفاده شده در کشت، تولید مداوم و همزمان اتانول و زایلیتول
۵۷	..... تجهیزات

۵۷	..... فیلم کش ۱-۲-۳
۵۸	..... دستگاه میکروسکوپ الکترونی ۲-۲-۳
۵۹	..... دستگاه عکسبرداری میکروسکوپی نیروی اتمی ۳-۲-۳
۵۹	..... همزن مغناطیسی ۴-۲-۳
۶۰	..... آون ۵-۲-۳
۶۰	..... تانک خوراک (بیورآکتور) ۶-۲-۳
۶۰	..... مدول غشا ۷-۲-۳
۶۱	..... پمپ پرستالتیک ۸-۲-۳
۶۲	..... تله بخار و فلاسک نیتروژن مایع ۹-۲-۳
۶۲	..... پمپ خلا ۱۰-۲-۳
۶۳	..... کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا ۱۱-۲-۳
۶۴	..... ساخت غشاهای صفحه ای پلی اتر سولفون ۳-۳
۶۴	..... ساخت محلول پلیمری ۱-۳-۳
۶۵	..... قالب گیری فیلم پلیمری ۲-۳-۳
۶۶	..... ساخت غشا ۳-۳-۳
۶۷	..... ساخت غشا کامپوزیت PDMS/PES ۴-۳
۶۹	..... عملکرد غشای PDMS/PES ۵-۳
۶۹	..... طراحی آزمایشات ۶-۳
۷۱	..... تئوری حلالیت-نفوذ-تبخیر ۷-۳
۷۳	..... شرایط کشت نهایی و تولید مداوم اتانول توسط فرایند کشت همزمان در بیورآکتور غشایی ۸-۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۷۴	..... ارزیابی ساختاری پایه های پلی اتر سولفون
۷۶	..... اثر حضور PVP بر روی ساختار غشا
۷۸	..... ارزیابی ساختاری غشاهای پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون
۷۸	..... تصاویر SEM غشای پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون
۷۹	..... تعیین میزان زبری غشاهای تهیه شده
۸۲	..... نتایج عملکرد غشا در بازه آزمایشات طراحی شده
۸۲	..... آنالیز واریانس برای مدل تطبیق داده شده با RSM
۹۲	..... تاثیرات هر دو متغیر بر روی پاسخ ها
۹۲	..... تاثیر پارامترها بر شار عبوری
۹۳	..... تاثیر متغیرها بر میزان انتخاب پذیری
۹۶	..... امتحان اعتبار مدل های به دست آمده
۹۷	..... تولید مداوم و همزمان اتانول و زایلیتول به صورت کشت همزمان در بیو راکتور و جداسازی اتانول توسط سیستم تراوش تبخیری

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۱۰۰	..... نتیجه گیری
۱۰۱	..... پیشنهادات
۱۰۲	..... مراجع

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- شمایی از فرایند تراوش تبخیری	۱۷
شکل ۲-۲- نمایی از فرآیند ترکیبی تقطیر/تراوش تبخیری برای جداسازی مخلوط آزنوتروپ	۲۳
شکل ۳-۲- نمایی از یک فرآیند ترکیبی تقطیر - تراوش تبخیری برای جداسازی مخلوط‌هایی با نقطه جوش نزدیک	۲۴
شکل ۴-۲- دسته بندی جداسازی تراوش تبخیری آلی-آلی	۲۹
شکل ۵-۲- تاریخچه فرآیند تراوش تبخیری	۳۱
شکل ۶-۲- شماتیک گرادیان عوامل مؤثر در مدل حلالیت- نفوذ	۴۰
شکل ۷-۲- نمایش نواحی ایجاد شده در غشاهای پلیمری تحت جدایش خوراک مایع	۴۱
شکل ۸-۲- طراحی مرکب مرکزی برای $K=2$	۵۲
شکل ۱-۳- ساختار شیمیایی مونومر PES	۵۳
شکل ۲-۳- پولک‌های پلی اتراولفون	۵۴
شکل ۳-۳- ساختار شیمیایی PVP	۵۴
شکل ۴-۳- ساختار شیمیایی مونومر PDMS	۵۵
شکل ۵-۳- ساختار شیمیایی TEOS	۵۵
شکل ۶-۳- ساختار شیمیایی DBTL	۵۶
شکل ۷-۳- دستگاه فیلم کش	۵۸
شکل ۸-۳- شماتیک سیستم فرمانتاسیون و تراوش تبخیری	۶۱
شکل ۹-۳- مدول صفحه تخت دایره ای برای جداسازی آب و اتانول	۶۱
شکل ۱۰-۳- پمپ خلا	۶۳
شکل ۱۱-۳- دستگاه HPLC مورد استفاده در تحقیق حاضر	۶۴
شکل ۱۲-۳- مراحل شکل گیری غشا	۶۷

- شکل ۳-۱۳- فرایند انعقاد ۶۷
- شکل ۴-۱- تصاویر SEM غشای پلی اتر سولفون با بزرگنمایی های متفاوت ۷۸
- شکل ۴-۲- تصاویر SEM غشای پلی دی متیل سیلوکسان بر پایه پلی اتر سولفون با بزرگنمایی های متفاوت ۷۹
- شکل ۴-۳- تصاویر AFM تک لایه PES و غشای کامپوزیت PDMS ۸۰
- شکل ۴-۴- عوامل زیری سطح در پایه PES و غشا کامپوزیت PDMS بر پایه PES ۸۱
- شکل ۴-۵- نمودارهای پارتو برای (الف) شارعبوری و (ب) میزان انتخاب پذیری ۸۷
- شکل ۴-۶- منحنی توزیع نرمال مقادیر اضافی برای (الف) شارعبوری و (ب) میزان انتخاب پذیری ۸۸
- شکل ۴-۷- نمودار مقادیر اضافی برحسب مقادیر پیش بینی شده برای (الف) شار عبوری و (ب) میزان انتخاب پذیری ۹۰
- شکل ۴-۸- نمودار مقادیر پیش بینی شده بر حسب مقادیر مشاهده شده برای (الف) شارعبوری و (ب) میزان انتخاب پذیری ۹۱
- شکل ۴-۹- نمودار های سطح و کانتور برای (الف) شار عبوری و (ب) میزان انتخاب پذیری ۹۵
- شکل ۴-۱۰- تولید اتانول در سیستم پیوسته جداسازی اتانول از بیو رآکتور ۱۰ به مدت ۵۰ ساعت ۹۸
- شکل ۴-۱۱- شار عبوری بر حسب میزان انتخاب پذیری در فرایند جداسازی مداوم اتانول ۹۸

فهرست جدول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- منابع اصلی تولید اتانول به روش تخمیری	۱۱
جدول ۲-۲- مقایسه هزینه آب زدایی مخلوط اتانول (۹۴٪) به روش آزنوتروپی و روش تراوش تبخیری	۲۱
جدول ۲-۳- مقایسه انرژی لازم برای آب زدایی از ۱۰۰ کیلوگرم ایزوپروپانول ۸۸٪	۲۱
جدول ۲-۴- مقایسه هزینه های تخلیص دی متیل کربنات به روش تقطیر و فرایند ترکیبی تقطیر-تراوش تبخیری	۲۳
جدول ۳-۱- مواد استفاده شده در تولید مداوم و همزمان اتانول و زایلیتول	۵۶
جدول ۳-۲- روند کدگذاری متغیرها	۷۰
جدول ۴-۱- نتایج به دست آمده از آزمایشات طراحی شده	۸۲

جدول ۲-۴- آنالیز واریانس برای طراحی مرکب مرکزی چرخشی (پاسخ: شار عبوری از غشا) ۸۴

جدول ۳-۴- آنالیز واریانس برای طراحی مرکب مرکزی چرخشی (پاسخ: انتخاب پذیری غشا) ۸۵

جدول ۴-۴- امتحان اعتبار مدل های به دست آمده ۹۶

فصل اول :

مقدمه

امروزه، حمل و نقل بخش عمده ای از منابع نفتی را مصرف می کند و سهم غیر قابل انکاری در آلودگی محیط زیست دارد. از طرف دیگر منابع سوختی موجود در دنیا محدود می باشد و قیمت آن پیوسته در حال افزایش است. اخیراً، سوخت های زیستی^۱ به عنوان منابعی نوین، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. این نوع سوخت ها کم هزینه می باشند و از طرف دیگر دوستدار محیط زیست هستند [۱، ۲]. در طی دهه های گذشته، اتانول زیستی^۲ مورد توجه خاصی قرار گرفته اند زیرا از آن ها می توان به عنوان افزاینده عدد اکتان بنزین، مکمل بنزین و همچنین سوخت در موتورهای تصحیح شده استفاده کرد [۳]. اتانول زیستی مقدار کمتری از گازهای گلخانه ای را به درون اتمسفر آزاد می کند و آن را می توان از مواد خام و تجدید پذیر مانند ساکاروز، نشاسته و مواد لیگنو سلولوزی [۴] تهیه کرد.

استفاده از کربوهیدرات های حاصل از مواد لیگنوسلولزی با فرآیند تخمیر در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، به طوریکه میتوان مواد لیگنوسلولزی را به موادی که دارای ارزش اقتصادی و افزوده بیشتری هستند تبدیل کرد. سالیانه بیش از ۱۵۰ بیلیون تن مواد آلی از طریق فتوسنتز تولید می شود که شامل سه جز اصلی سلولز، همی سلولز و لیگنین می باشد [۵]. این ۳ جزء از قندهای ساده ۵ کربنه مثل زایلوز و آرابینوز و قندهای

^۱ Bio Fuel

^۲ Bio Ethanol

ساده ۶ کربنه مانند گلوکز، مانوز و گالاکتوز تشکیل شده اند که این قندها در حین هیدرولیز مواد لیگنوسلولزی^۳ به وجود می آیند و به طور کلی منابع چوبی موجود در دنیا را می توان به ۹ گروه زیر تقسیم بندی نمود:

۱- پساب های چوبی شهری

۲- ضایعات جامد شهری

۳- ضایعات و بقایای جنگل ها

۴- ضایعات آسیاب ها

۵- ضایعات کارخانجات

۶- صنعت میوه و خشکبار

۷- ضایعات کشاورزی به جا مانده

۸- میوه های درختان

۹- جنگل های طبیعی [۶]

این منابع از یک طرف مشکلات آلودگی زیست محیطی را ایجاد نموده و از طرف دیگر، به علت خصوصیات قابلیت تجدیدپذیری، وفور و دسترسی آسان به آنها می توانند به عنوان یک سوبسترات مناسب جهت تولید انرژی (اتانول) و مواد شیمیایی مختلف (زایلیتول، فورفورال، اسید سیتریک، آنزیم ها و ...) از طریق یک فرایند تبدیل زیستی، با استفاده از میکروارگانیسم ها مورد استفاده واقع شوند. با توجه به توضیحات ذکر شده می توان فرآیندی

^۳ Lignocellulosic Material

تعریف کرد که علاوه بر مصرف قندهای ۶ کربنه و تولید محصولی مانند اتانول، قندهای ۵ کربنه حاصل از هیدرولیز مواد لیگنوسلولزی هم برای تولید زایلیتول مورد مصرف قرار بگیرند که یکی از این فرآیندها کشت همزمان^۴ می باشد. کشت همزمان فرآیندی است که در طی آن چند میکروارگانیسم مختلف که از لحاظ فاکتورهای رشد شباهتهای یکسانی را دارند را با هم کشت داده تا از سوبستراهای مختلف محیط کشت موادی که دارای ارزش اقتصادی و افزوده بیشتری دارند، تولید کنند.

اتانول تولید شده از طریق فرمانتور قبل از استفاده به عنوان سوخت نیاز به چند مرحله خالص سازی دارد. روش های جداسازی متعددی برای تقلیل اتانول تولید شده وجود دارد از قبیل: جذب سطحی^۵، استخراج^۶، تقطیر^۷، اسمز معکوس^۸ و تراوش تبخیری^۹ [۷]. تراوش تبخیری یکی از روش های جداسازی غشایی می باشد که مزیت آن نسبت به دیگر روش های جداسازی، در جداسازی مخلوط های آزنوتروپیک می باشد که در آن نیازی به اضافه کردن جز سوم و سپس یک فرایند جداسازی برای این جز نمی باشد [۸].

تراوش تبخیری نوید بخش ترین فرآیند موجود جهت بهینه سازی و جداسازی پیوسته اتانول به شمار می رود. استفاده از غشاهای نانوفیلتر به دلیل خصوصیات ویژه در جداسازی محلول های آب و اتانول شامل شار بالا، نفوذپذیری و استحکام مناسب غشا (در مقابل خلاء موجود در سیستم)، گزینه مناسبی جهت استفاده در سیستم تراوش تبخیری است.

^۴ Co-Culture

^۵ Adsorption

^۶ Extraction

^۷ Distillation

^۸ Reverse Osmosis

^۹ Pervaporation

در زمینه غشاهای پلیمری برای جداسازی اتانول از آب، محققان توجه خاصی به پلی دی متیل سیلوکسان^{۱۰} داشته اند زیرا در تحقیقات بسیاری نشان داده شده است که این مواد بیشترین انتخاب پذیری را برای اتانول دارا می باشند[۹]. این مواد پلیمری معمولاً بر روی لایه نگه دارنده^{۱۱} به عنوان لایه انتخاب پذیر^{۱۲} پوشانده می شوند. لایه انتخاب پذیر مشخص کننده مقدار عبور پذیری و انتخاب پذیری غشا می باشد در حالی که لایه نگه دارنده مقاومت مکانیکی لازم برای غشا را تامین می کند[۱۰]. بنابراین شرایط ساخت غشای انتخاب پذیر نقش اصلی را در به دست آوردن عملکرد بهینه ای از غشای ساخته شده ایفا می کند.

^{۱۰} Polydimethylsiloxane

^{۱۱} Sublayer

^{۱۲} Selective Layer

فصل دوم:

تئوری

۲-۱- اتانول

اتانول مایعی بی رنگ، شفاف و خوش بویی است که از مجموعه‌ای از ترکیبات شیمیایی گروه هیدروکسیل با اتم کربن تشکیل یافته است. تولید اتانول به صورت خالص از قرن ۱۴ میلادی همگام با پیشرفت در تقطیر بخارات حاصل از جوشیدن مایعات آغاز شد و به علت ظهور بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ میلادی تکنولوژی تولید آن بوسیله فرآیندهای زیستی اهمیت ویژه‌ای یافت. امروزه ۹۸٪ اتانول جهان از طریق فرمانتاسیون قندها تولید شده و اتانول زیستی نامیده می‌شود [۱۱]. فرمانتاسیون اتانول یک فرآیند بیولوژیک است که در طی آن قندهایی مانند گلوکز، ساکارز، لاکتوز و فروکتوز بوسیله میکروارگانیسم‌ها مانند باکتریها و مخمرها تخمیر شده و به اتانول و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. به طور کلی فرآیند تولید اتانول به دو مرحله اصلی فرمانتاسیون و استخراج اتانول تقسیم می‌شود و تاکنون تحقیقات متعددی در مورد استفاده از منابع اولیه مختلف حاوی انواع مونوساکاریدها و پلی ساکاریدها، توسعه سیستم‌های شیمیایی و آنزیمی جهت تولید قندهای قابل تخمیر از مواد سلولزی و لیگنوسلولزی، استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف جهت فرمانتاسیون و دستوری ژنتیکی آنها [۱۲]، بهینه‌سازی شرایط فرآیند فرمانتاسیون و استخراج اتانول تولید شده انجام شده است که به گزیده‌ای از آخرین تحقیقات و دستاوردهای بدست آمده اشاره می‌شود.

تمامی تولید کنندگان خودرو در ایالات متحده استفاده از ترکیبی از ۱۰ درصد اتانول با بنزین را مورد تایید قرار داده‌اند. هر ساله در این کشور برای افزایش اکتان و بالا بردن کیفیت بنزین، دو ملیون بشکه اتانول به بنزین افزوده می‌شود [۱۳].

ایده استفاده از اتانول به عنوان سوخت به اوائل قرن بیستم بر می‌گردد. در سال ۱۹۰۸ هنری فورد مدل ماشینی طراحی نمود که با اتانول کار می‌کرد. اما تا سال ۱۹۷۳ اتانول به عنوان سوخت مورد توجه نبود. در این سال قیمت نفت خام افزایش یافت و باعث توجه زیاد به عملیات تخمیری جهت تولید اتانول شد. با کاهش قیمت نفت، این توجه کاهش یافت تا اینکه در سال ۱۹۷۹ بحران نفت دیگری به وجود آمد. از سال ۱۹۸۰، اتانول به عنوان سوخت جایگزین ممکن در کشورهای زیادی مورد توجه قرار گرفت. در کشورهای نظیر برزیل اتانول سوختی در اشل‌های بزرگ تولید می‌شود در صورتی که در کشورهای دیگر هنوز وارد بازار نشده است [۱۴].

مصرف اتانول وابستگی به نفت را کاهش می‌دهد. برای نمونه در ایالات متحده، مصرف این سوخت تقاضا برای بنزن و متیل ترتیاری بوتیل اتر را تا ۹۸ هزار بشکه در روز کاهش می‌دهد. این الکل سوخت قابل تجدیدی است که بیش از ۴۰ هزار فرصت شغلی به وجود می‌آورد و همین امر سالیانه ۱/۳ بلیون دلار درآمد سرانه را افزایش می‌دهد. صنعت اتانول به صورت مستقیم و غیر مستقیم هر ساله بیش از ۶ بلیون به اقتصاد آمریکا کمک می‌کند. تولید اتانول بی‌نهایت مقرون به صرفه است. آلودگی هوا هم با مصرف این سوخت کاهش می‌یابد. این سوخت همچنین جایگزین مطمئنی برای بالابرنده‌های اکتان سمی در بنزین است و آلودگی ازن را هم کاهش می‌دهد [۱۵].