مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

استفاده از انرژی تابش یونیزان برای تبدیل زیست توده به بیوسوخت اتانول

فریورحریری*، محسن صفی خانی، میریعقوب هاشمی
آذربایجانشرقی–بناب–کیلومتر۷ جاده بناب،تبریز- مجتمع پژوهشی شمالغرب کشور، نویسنده مسئول:fhariri@bnrc.ir

چکیده: در حال حاضر ضایعات باقیمانده از تفاله نیشکر ، فقط مورد مصرف دام قرار می گیرند. در حالیکه همین مواد می‌توانند بعنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار گیرند. تفاله نیشکر می تواند طی فرآیندهای مختلفی به اتانول تبدیل شود. اتانول به منظور بالا بردن عدد اکتان می‌تواند به بنزین اضافه گردد ونیز می‌تواند بعنوان سوخت در صنایع مختلف استفاده گردد. یکی دیگر از مزایای آن حفاظت ازمحیط زیست می باشد(عدم تولید گازهای مضر مانند SO_2 و NO_Xو...). بیو اتانول که بیوبنزین نیز نامیده می شود به عنوان جایگزینی مستقیم برای بنزین بوده زیرا مستقیماً می‌تواند در موتور بنزینی بکار رود همانطور که بیودیزل در موتور دیزلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روشهایی که در دنیا هم اکنون مورد استفاده می‌باشد استفاده از پرتو الکترونی به منظور تسریع در فرآیند تبدیل سلولز به اتانول است. بدین صورت که پیوند لیگنین و سلولز که بسیار محکم می‌باشد توسط پرتو الکترونی و باتولیدرادیکال آزاد،گسسته می‌شود و زمینه را برای تبدیل سلولز به اتانول سرعت می‌بخشد. فرآیند تابش الکترونی باعث جداشدن لیگنین از سلولز می‌گردد، ودر واقع بازده هیدرولیز آنزیمی سلولز با اپتیمم دز جذبی ۳۰-۲۰ کیلوگری به ۳۰۰٪ -۷۵٪ افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی:زیست توده،بیوسوخت،تابش یونیزان

: fhariri@bnrc.ir

Abstract: Now the remaining waste bagasse , only feed on. While this material can be used as an energy source . Bagasse different processes can be converted into ethanol . Ethanol is added to gasoline to increase octane number can also be used as fuel in various industries.. Another advantage is that conservation (such as SO_2 and NO_X emissions failure , etc.) . Bio- ethanol is also called Bio gas as a direct replacement for gasoline because the gasoline engine can be directly used as biodiesel in diesel engine is used . One of the methods that are currently being used in the world of the electron beam in order to accelerate the process of converting cellulose to ethanol. Lignin and cellulose , which is very tightly linked by electron beam with a free radical production areas for conversion of cellulose to ethanol broken and speed . Electron irradiation process is causing separation of lignin from cellulose , and cellulose enzymatic hydrolysis yields the optimum dose of 20-30 kGy to %75 -300% increase.

Keywords: biomass, bio fuel, ionizing radiation

۱- مقدمه:

با توجه به نیاز روز افزون بشر به منابع انرژی و محدود بودن این منابع، تلاشهای فراوانی در جهت دستیابی به منابع انرژی جدید و نیز استفاده ازمنابع موجود بطور بهینه صورت می‌پذیرد.باگاس یکی از محصولات صنایع تولید قند می باشد که پس از خرد کردن و عصاره گیری از گیاه نیشکر حاصل می‌گردد.در این پروژه سعی گردیده است که تبدیل باگاس بعنوان یک ماده

زیست توده[1]به یک ماده زیست سوخت[2] مانند اتانول که بعنوان سوخت پاک می تواند جایگزین سوختهای فسیلی گردد توسط فرآیند پرتو الکترونی مورد بررسی قرار گیرد. ازمنابع تجدیدپذیری که مدت طولانی است موردتوجه بشر قرار گرفته زیست توده می باشد که بااستفاده از تکنیکهای مختلف بدست آمده، می‌توان از این مواد محصولات گوناگونی تولید نمود. بیومس، توده ای از مواد آلی می باشد که بطور مثال می‌توان باگاس ،ریزه های چوب ،پوشال و مواد آلی دیگر رانام برد.از مصارف عمده بیومس استفاده از آن در تولید بیوگاز می‌باشد که بعنوان سوخت گازی مورد استفاده قرارمی‌گیرد همچنین با پیشرفتهای جدیدی که در دانش بیوتکنولوژی حاصل گردیده می‌توان از بیومس مواد گوناگونی جهت مصارف پزشکی ،صنعتی و غذایی تولید نمود.باگاس حاوی فیبر، مواد سلولزی ، آلی و مقداری رطوبت می‌باشد.یکی از روشهای معمول برای انجام تبدیل فوق روش پیرولیز می‌باشد (تجزیه شیمیایی بوسیله حرارت) یعنی طی آن مواد اولیه در دمای بالا تجزیه شده و بصورت مواد گازی ، جامد و مایع تشکیل می‌شوند که با ایجاد تغییرات در شرایط واکنش، کیفیت و مقادیر متفاوتی از این مواد حاصل می‌گردند[1]. در حال حاضر در کشورهای با منابع کم نفت، از واحدهایی با اندازه های مختلف جهت تولید بیوسوخت استفاده می‌شود.بطور مثال از واحد کوچکی با مصرف ۲ تن ماده اولیه در حدود ۶ بشکه بیوسوخت در روز تولید می‌شود.بهتر است بدانیم که اگر یک لیتر اتانول با ۵۰ لیتر بنزین مخلوط شود اکتان بنزین را ۲ تا ۲,۵ درجه افزایش می‌دهد. که این امر موجب افزایش کیفیت بنزین می‌شود . برای درک بهتر این موضوع کافی است که بدانیم تفاوت بین بنزین معمولی و بنزن سوپر در میزان اتانول آن است. به گونه ای که افزودن مقدار کمی اتانول ، بنزین معمولی را تبدیل به بنزین سوپر می‌کند[2].هم اکنون در ایران از ماده ای بنام MTBE[3]برای افزایش اکتان بنزین و بهسوزی سوخت در موتورهای خودرو استفاده می‌شودو اخیراً مشخص شده که ماده MTBE سرطان زاست و وجود آن در هوا و آب باران موجب راه یافتن این ماده بسیار سمی به محیط زیست می‌شود.«بیواتانول» ماده‌ای است که به بنزین افزوده می‌شود تا اکتان (میزان خلوص یا آرام‌سوزی) بنزین را افزایش دهد. **۲- سوخت های زیستی**

زیست سوخت ماده‌ای است که با استفاده از فرآیندهای شیمیایی پیرولیز از موادی که بعنوان بیومس مورد استفاده قرارمی گیرند بدست می‌آید. این سوخت ها شامل اتانول مایع، متانول،بیودیزل و سوخت های دیزل گازی مانند هیدروژن و متان هستند. از منابع اولیه تولید این سوخت ها می توان به ضایعات چوبی ، تفاله های محصولات کشاورزی، نیشکر، غلات، روغن گیاهان و سبزیجات اشاره کرد. و با توجه به فراوانی و قابلیت دسترسی به باگاس نیشکر و بکارگیری تکنیکهای بدست آمده در فرآیندهای بازیافت مواد، از این ماده می توان به آسانی و بطور گسترده جهت تولید بیومس به سوخت استفاده نمود.امروزه بیشتر کشورها در بخش انرژی، نیاز و تقاضای خود را بسوی استفاده ازاین گونه سوخت ها سوق می‌دهند.زیرا

[1]Biomass

[2]Biooil

[3]MTBE methyl tertbuthyl ether

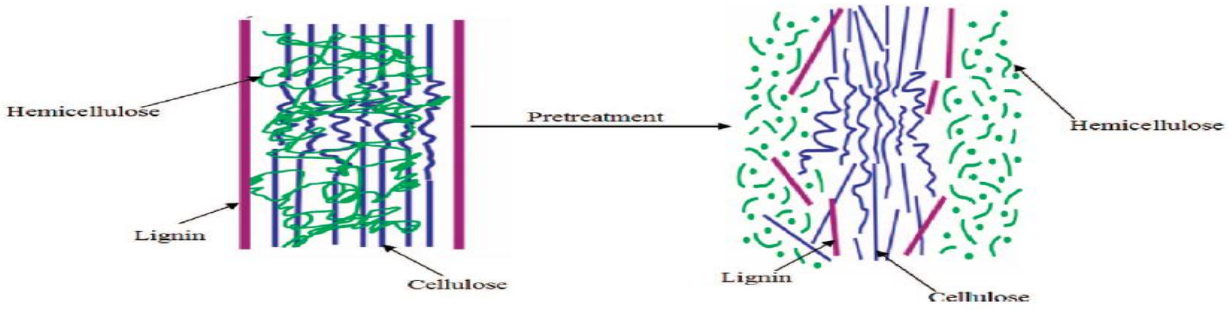
معضلاتیمانندآلودگی فزاینده محیط زیست با سوخت های فسیلی به نوبه خود سبب برهم خوردن شرایط اکولوژیکی می‌شوند و خطرهای زیست محیطی را به دنبال دارند، همچنین محدود بودن ذخایر سوخت فسیلی سبب شده تا به این نوع انرژی ها پیش از پیش توجه شود[3].

۲,۱- مزایای بیوسوخت در مقایسه با سوخت های دیگر

تبدیل انبوه بیومس لیگنو سلولزی به بیوسوخت به عنوان سوختهای مورد نیاز در حمل و نقل ،یک گزینه پردوام برای ارتقای ایمنی انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می باشد. برخلاف سوختهای فسیلی که از گیاهانی که میلیونها سال قبل رشد کرده‌اند،حاصل می‌شود. بیوسوختها از گیاهانی بدست می‌آیند که امروزه رشد کرده‌اند. بیوسوختها سوختهای پاک‌تری نسبت به سوختهای فسیلی هستند و چرخه کوتاه رشد گیاهان و سوخت حاصل از آنها دی‌اکسیدکربن به اتمسفر اضافه نمی‌کنند[4].گزارش شده است که اتانول سلولزی و اتانول حاصل از دیگر منابع بیومس تا ۸۶٪ از انتشار گازهای گلخانه ای جلوگیری می‌کنند. مواد لیگنوسلولزی مانند باقیمانده‌ها و تفاله‌های کشاورزی (به عنوان مثال سبوس گندم ،باگاس نیشکر و ذرت) محصولات جنگلی (چوبهای سخت و نرم)و... همه منابع انرژی تجدید پذیر هستند.این مواد خام بقدر کافی فراوان بوده و گازهای گلخانه‌ای اندکی منتشر می‌کنند.بیوسوخت بعنوان یک سوخت پاک دارای مزایایی نسبت به سوختهای مشتق شده ازنفت خام است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:در تولیداین ماده انتشار ترکیبات سنگین اکسید گوگرد(SO_x) وجود ندارد.میزان تولید ترکیبات اکسید نیتروژن(NO_x) در حدود ۵۰٪ کمتر از دیگر سوختهای استفاده شده جهت کاربرد در توربین گازی و موتورهای دیزلی ایستگاهی می‌باشد.باتوجه به اینکه این ماده ازمواد زائد آلی و طبیعی تولید می‌گردد میزان تولید گازهای گلخانه‌ای توسط این سوخت در حد نرمال و طبیعی می‌باشد.در نواحی و مناطقی که مواد زائد آلی مانند باگاس نیشکر به راحتی و به وفوردر دسترس می باشد می توان به جای استفاده از سوختهای فسیلی از این ماده استفاده نمود و از آلودگی محیط زیست و اتلاف سوختهای فسیلی جلوگیری کرد.در مقایسه با دیگر سوختهای تولید شده از مواد بیومس ،این ماده به راحتی قابل انتقال و جابجایی ،پمپ شدن و انبارشدن می‌باشد[1].

۳- روشهای پیش فرآوری بیومس لیگنوسلولز

آنزیم ها توسط انواعی از میکرو ارگانیسم ها تولید می‌شوند که قادرند مواد لیگنوسلولزی را به قندها بشکنند ولی این فرآیند به زمانهای بازداری طولانی تری نیاز دارد.هیدرولیز آنزیماتیک عمومی‌ترین روش تولید اتانول از بیومس لیگنوسلولزی می‌باشد.حضور سلولز قابل هضم در بیومس لیگنوسلولزی توسط فاکتورهای فیزیکوشیمیایی به تاخیر می‌افتد.در تبدیل بیومس لیگنوسلولزی به سوخت لازم است که بیومس فرآوری شود تا سلولز موجود در فیبرهای گیاه بی حفاظ شوند.پیش فرآوری از تکنیک‌های گوناگونی بهره می‌برد که شامل: تخریب آمونیاکی فیبر، فرآوری شیمیایی، فرآوری بیولوژیکی و تخریب با بخار می‌باشد تا ساختار بیومس سلولزی را برای ساخت سلولز تغییر دهد، سپس اسیدها یا آنزیم ها می‌توانند برای شکستن سلولز به قندهای سازنده آن مورد استفاده قرار گیرند. هیدرولیز آنزیمی بطور گسترده‌ای برای شکستن سلولز به قندهای سازنده آن بکار می‌رود[4]. نقش پیش فرآوری درتخریب همی سلولز ولیگنین در شکل ۱ تصویر شده است:



شکل ۱ : نقش پیش فرآوری در تخریب همی سلولز و لیگنین

هدف فرآیند پیش فرآوری شکستن ساختار لیگنین و از هم گسیختگی سلولز می‌باشد تا اسیدها یا آنزیم ها به آسانی بتوانند به آنها دسترسی داشته و سلولز را هیدرولیز نمایند.پیش فرآوری می‌تواند گران ترین فرآیند در تبدیل بیومس به بیوسوخت باشد اما امکان افزایش بازده و کاهش هزینه از طریق تحقیقات بیشتر وجود دارد.پیش فرآوری یک ابزار مهم در تبدیل بیومس به بیوسوخت می‌باشد[4].

۳,۱- اهداف کلی پیش فرآوری

اثرات مفید فرآیند پیش فرآوری مواد لیگنوسلولزی برای مدتهای طولانی است که شناخته شده است.هدف فرآیند پیش فرآوری حذف لیگنین و همی سلولز، کاهش کریستالی بودن سلولز و افزایش خلل و فرج مواد لیگنوسلولزی می باشد. پیش فرآوری باید نیازمندیهای زیر را برآورده سازد:افزایش تشکیل قندها و یا توانایی تشکیل قندها توسط هیدرولیز،جلوگیری از تخریب و یا از دست دادن کربوهیدرات ها،جلوگیری از تشکیل محصولات جانبی که برای فرآیند هیدرولیز و تخمیر عامل بازدارنده هستند.،از نظر هزینه متعادل باشد.روش های پیش فرآوری به دسته های زیر تقسیم می شوند:فیزیکی (آسیاب کردن،تابش و...)فیزیکو شیمیایی (پیش فرآوری با بخار/ اتوهیدرولیز، هیدروترمولیز و اکسیداسیون ترو...)شیمیایی (قلیایی، اسیدرقیق، عوامل اکسید کننده و حلالهای آلی)بیولوژیکیالکتریکیترکیبی از اینها[4].

۳,۲- پیش فرآوری الکترون بیم باگاس نیشکر برای هیدرولیز سلولز

این پیش فرآوری یکی از فر آیندهای فیزیکی است که کریستالی بودن را کاهش داده وپیوندهای هیدروژنی سلولز را برای انجام واکنش های دپلیمریزاسیون می‌شکند.هیدرولیز آنزیمی نیز یکی از واکنشهای پیش فرآوری است که توسط آنزیم های سلولاز انجام می‌گیرد.مطالعات نشان داده است که تابش سلولز کتان پارامترهای مکانیکی آن را در نتیجه واکنشهای زنجیری مابین مولکولهای سلولز تضعیف می‌کند. مطالعات کتابخانه ای گزارش کرده است که تابش با انرژی بالا موجب کاهش درجه پلیمریزاسیون وافزایش ماهیت کربونیلی سلولز کتان می شود.مطالعات دیگر نشان داده است که به عنوان یک روش پیش فرآوری ،تابش یونیزان می تواند همزمان باروش تصفیه قلیایی به منظور افزایش کارآیی مورد استفاده قرار گیرد[5].شکستن و تقسیم پلی ساکاریدهای باگاس نیشکر با استفاده از تابش یونیزان حاصل از شتابدهنده صنعتی الکترون بیم به منظور تسهیل هیدرولیز آنزیمی سلولز مطالعه شده است. مانع اصلی هیدرولیز سلولز توسط تابش، تخریب محصول است که دراین روش

دزهای جذبی به قدری پایین گرفته می‌شود که هم برای شکستن لیگنین مناسب باشد و هم اینکه از تخریب گلوکز در نتیجه دگراداسیون سلولز و همی سلولز جلوگیری شود.باگاس نیشکر حاوی حدوداً ۴۵٪ گلوکز، ۴۰٪ همی سلولز و ۲۰٪ لیگنین می باشد.پلیمر سلولز خالص توسط تابش براحتی شکسته می‌شود ولی در بیومس که اتصال به لیگنین دارد دربرابر تابش ازخود مقاومت نشان می دهد. در برزیل چگونگی این عمل توسط شتاب دهنده الکترونی باقدرت ۱/۵ مگا الکترون ولت و انرژی ۳۷ کیلو وات مورد بررسی قرار گرفته است.فرآیند تابش الکترونی باعث جداشدن لیگنین از سلولز می‌گردد، و در واقع بازده هیدرولیز آنزیمی سلولز با اپتیمم دز جذبی ۳۰-۲۰ کیلوگری به ۳۰۰٪- ۷۵٪ افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل ازآزمایشات این است که تابش بادز پایین حدود ۳۰-۲۰ کیلوگری بدون اثر تخریبی برروی ساختمان سلولز موجب جدایی سریعتر لیگنین از سلولز باراندمان بیشترشده و همچنین شرایط را برای انجام عملیات هیدرولیز آنزیمی تسهیل می‌کند.فرآیند تابش سلولز توسط اشعه گاما نیز باشکستن پیوندهای $\beta-(1,4)-$ گلیکوسیدیک سطح بزرگتر و بلورینگیکمتری ایجاد می کند این روش هزینه بر نبوده و در اشل بالا از آن بهره می‌برند.

۳,۳- خلاصه ای از متد های پیش فرآوری بیو توده

دسته بزرگی از مواد هستند که برای تولید بیو سوخت به کار می روند و همیشه انتقال نتایج پیش فرآوری از یک نوع ماده به ماده دیگر امکان پذیر نیست، بعلاوه یک تکنولوژی که برای یک نوع بیو توده خاص مناسب است ممکن است برای ماده دیگر کار نکند.انتخاب تکنولوژی پیش فرآوری مورد استفاده از یک نوع بیومس خاص بستگی به ترکیب آن و محصولات جانبی که به عنوان نتیجه ای از پیش فرآوری تولید می‌شوند، دارد. این فاکتورها روی هزینه های فرآیند تاثیر می‌گذارند[6]. فرآیندهای پیش فرآوری گوناگون برای بیو توده لیگنوسلولزی ،مزایا و معایب آنها در جدول۱ آورده شده است[7].

جدول ۱ : خلاصه ای از روشهای مختلف مورد استفاده برای پیش فرآوری بیومس لیگنوسلولزی

Process (Mosier 2005a)	Increases Surface Area	Decrystallizes Cellulose	Removes Hemicellulose	Removes Lignin	*Alters Lignin Structure*
Steam Explosion	X		X		*X*
Liquid Hot Water	X	ND	X		*X*
pH Controlled Hot Water	X	ND	X		*ND*
Flow Through Hot Water	X	ND	X	X	*X*
Dilute Acid	X		X		*X*
Flow Through Acid	X	X	X	X	*X*
AFEX	X	X	x	X	*X*
ARP	X	X	x	X	*X*
Lime	X	ND	x	X	*X*
SUNY-ESF Technology					
Biodelignification (1)	Increased porosity	ND – Low cellulase activity	Enhances removal	X	*X*
Hot Water (140-160°C)	X		X	X	*ND*
Ionizing Radiation	ND	X	Reduces MWt	ND	*X*

(1)4 week treatment with the white rot fungus Ceriporiopsissubvermispora

X = major effect; x = Minor effect; ND = Not determined

٤ - تبدیل بیومس به بیوسوخت

فرآیند تبدیل باگاس به سوخت اتانول شامل ۳ مرحله میباشد: مرحله پیش تصفیه یا آزادسازی سلولز و همی سلولز از لیگنین.مرحله هیدرولیز آنزیمی که در آن دپلیمریزاسیون انجام می‌گیرد.مرحله تخمیر که در تولید محصولاتانول رخ می‌دهد.فعالیت میکروارگانیسم ها و آنزیم ها روی منابع بیولوژیکی منتهی به تولید اتانول و مقادیر کمتری پروپانول و بوتانول می‌شود.این عوامل از تخمیر قند، نشاسته، همی سلولز یا سلولز بدست می آیند البته تخمیر سلولز مشکل‌تر است.بیو اتانول که بیوبنزین نیز نامیده می‌شود به عنوان جایگزینی مستقیم برای بنزین بوده زیرا مستقیماً می تواند در موتور بنزینی بکاررود همانطور که بیودیزل در موتور دیزلی مورداستفاده قرارمی گیرد.از اینرو تحقیقات گسترده‌ای روی تبدیل مواد لیگنوسلولزی به سوخت اتانول درچند دهه گذشته صورت گرفته است.شکل شماتیک تبدیل بیومس به بیوسوخت در شکل ۲ آورده شده است:

شکل ۲ : مراحل تبدیل بیومس به بیو سوخت

٤,۱- شرح فرآیند تولید بیوسوخت:

ماده خام اولیه پس از آماده شدن بوسیله یک نقاله تغذیه کننده به مخزن ذخیره انتقال می‌یابد.در زیر این مخزن دو شیر به منظور کنترل خوراک ورودی وجود دارد تاخوراک به مقدار ثابت و منظم وارد راکتور گردد. حرارت مورد نیاز رآکتور توسط مشعلهایی که با گاز کار می‌کنند، تامین می شود.دمای حاصل به طور غیرمستقیم به بستر شنی درون رآکتور منتقل می‌شود. خوراک ورودی به رآکتور درغیاب اکسیژن و توسط بستر شنی تا دمای حدوداً ۵۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود که پس از تجزیه شدن به ترکیباتی از زغال جامد وگاز، بخار و ذرات معلق تبدیلمی‌شود.گازهای خروجی از رآکتور پس از عبور از دو دستگاه سیکلون، ذرات زغال جامد از گاز جدا شده و در مخازن نگهداری می‌شود.ترکیب گاز تمیز،بخار و ذرات خروجی وارد سیستم خنک کننده می شوند که پس از کندانس تا دمای ۵۰ درجه سانتیگراد خنک شده و تبدیل به بیوسوخت می‌شوند و به مخزن نگهداری هدایت می شوند.گازهای غیر قابل کندانس و ذرات معلق از یک سیستم رسوبگیر الکترواستاتیکی عبور کرده و پس از جدا شدن ذرات معلق، گازهای غیر قابل کندانس پیشگرم شده و جهت تولید حرارت مورد نیاز سیستم به مشعلها تزریق می‌گردند.ترکیب عناصر در بیوسوخت ،شامل کربن۵۵٪ ، هیدروژن۶٪، اکسیژن۳۸٪ می‌باشد[1].

۵- نتیجه گیری:

در سالهای اخیراستفاده از بیو سوخت ها بدلیل کاهش انتشار گازهای گلخا نه ای و کاهش استفاده از منابع تجدید ناپذیر افزایش یافته است. بیومس لیگنوسلولزی شامل ته مانده ها، تفاله های کشاورزی، جنگلی و محصولات نشاسته‌ای به جای منابع زغال سنگ سنتی می تواند فراوانی و ارزانی ایده آل در منابع دردسترس قند را برای تخمیر و تبدیل آن به سوخت تامین کند. از اینرو با انتخاب پیش فرآوری با تابش الکترونی می توان بهره عمل هیدرولیز را۷۵٪ تا۳۰۰٪ افزایش داد بدون اینکه هزینه و زمانبری فرآیندهای بیولوژیکی را تقبل کرد.

٦-مراجع:

[1] سعیدعچرش زاده ."تولیدزیست سوخت ازباگاس نیشکربوسیله فرآیند پیرولیز.نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران.دانشگاه علم وصنعت".(۱۳۸۳).

[2] http://www.fararu.com.۹۱مرداد

[3]http://www.aftab.ir

[4] Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Michael J. Delwiche, and Pieter Stroeve. "Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production".*Ind.Eng. Chem. Res.*10.1021/ie801542g.20 March(2009).

[5] Márcia A. Ribeiro1, Vanessa M. Cardoso1,Manoel N. Mori1, Jaime Finguerut2, Célia M.

A. Galvão, Celina L. Duarte." Electron beam processing of sugarcane bagasse to cellulose hydrolysis". International Nuclear Atlantic Conference - INAC.Rio de Janeiro,RJ, Brazil(2009).

[6] Tae Hyun Kim." Bioconversion Of Lignocellulosic" .Material Into Ethanol:Pretreatment, Enzymatic Hydrolysis,And Ethanol Fermentation. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of Auburn University Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

[7]" Electron Beam and X-Ray Irradiation of Cellulosic Biomass - Synergies with Biodelignification and Hemicellulose Removal in Reducing Recalcitrance" Project Narrative: Biobased Products and Bioenergy Production Research. CSREES Award No: -35504-18341, Program Area 71.2.(2007).