



تولید بایواتانول از ضایعات لیگنوسلولوزی: بهینه سازی مرحله پیش فرآوری

توسط اسید غلیظ

سمیه سادات فکور جنتی^{۱*} - محمدعلی فناپی شیخ الاسلامی^۲ - عبدالمجید مسکوکی^۳

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی شیمی

۲. دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی شیمی

۳. پارک علم و فناوری خراسان - پژوهشکده علوم و صنایع غذایی

* عهده دار مکاتبات: E-mail: S.Fakoor.J@gmail.com

چکیده

بایواتانول با توجه به مزایای اقتصادی و زیست محیطی آن یکی از مهمترین سوخت های تجدیدپذیر می باشد. یکی از فراوان ترین منابع قابل استفاده جهت تولید بایواتانول در ایران بایومس های لیگنوسلولوزی مانند ضایعات چوب می باشد. تبدیل مواد لیگنوسلولوزی به اتانول شامل دو مرحله اصلی پیش فرآوری و تخمیر می باشد. از مرسوم ترین روشهایی که امروزه برای تجزیه ساختار مواد لیگنوسلولوزی و استحصال قند قابل تخمیر مورد استفاده قرار می گیرند، می توان به هیدرولیز اسیدی (رقیق و غلیظ) و هیدرولیز آنزیمی، اشاره نمود. در این مقاله اثر فاکتورهای مختلف بر روی فرآیند استحصال قند از ضایعات چوب مورد بررسی قرار گرفته است. غلظتهای مختلفی از اسید سولفوریک در سه سطح (۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ (w/w))، دما در سه سطح (60°C، 70°C و 80°C) و نسبت درصد چوب به محلول اسیدی در سه سطح (۵٪، ۸/۳۳٪ و ۱۱/۶۷٪ (w/w)) در نظر گرفته است. بر مبنای نتایج آزمایشگاهی یک مدل ریاضی (با نرم افزار آماری Sigma State) برای پیش بینی مقدار قند تولیدی در فرآیند هیدرولیز اسیدی ضایعات چوب ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: هیدرولیز اسیدی، بایواتانول، ضایعات چوب، آلودگی محیط زیست، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا

Bioethanol production from waste lignocellulosic: Optimization of pretreatment step by concentrated acid

Somayeh-Sadat Fakoor Jannati^{1*}, Mohammad Ali Fanaei², Abdolmajid Maskooki³

1- Chem. Eng. Department, Eng. Faculty, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Chem. Eng. Department, Eng. Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Khorasan Research Center for Technology Development, Mashhad, Iran

*Corresponding author: E-mail: S.Fakoor.J@gmail.com

Abstract

Bioethanol is one of the most important renewable fuels due to the economic and environmental benefits of its use. Lignocellulosic biomasses such as waste wood are the most promising feedstock for producing bioethanol in Iran. Ethanol production from lignocellulosic materials contains two main steps: pretreatment and fermentation. The most frequent methods to analyze the lignocellulosic materials and to hydrolyze wood in to sugar with capability of being fermented are acid hydrolysis (diluted and concentrated) and enzyme hydrolysis. In this article the effect of different factors on acid hydrolyzes of waste wood are investigated. Sulfuric acid with three different concentrations (15, 25 and 35 (% w/w)) and in three different temperatures (60°C, 70°C and 80°C) was used. The experiments were carried out in 2-hour time and the ratio of wood to acid



solution was considered in three levels (5, 8.33 and 11.67(%w/w)). Based on the experimental results, a mathematical model (with Sigma State software) was developed for prediction the amount of sugar produced in acid hydrolyzes of waste wood.

Keywords: Acid hydrolysis, Bioethanol, Waste wood, Environmental pollution, High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

۱- مقدمه

مزایا، می توان به در دسترس بودن، تجدید پذیر بودن منابع اولیه، کاهش آلودگی محیط زیست (کاهش گازهای گلخانه ای و دفع پسماند ها) ایجاد مشاغل در سطح روستایی و عدم وابستگی به کشورهای دارای منابع سوخته های فسیلی اشاره کرد [۵]. بایو اتانول بر خلاف سوخته های فسیلی، یک سوخت اکسیژنی است که شامل ۳۵% اکسیژن می باشد و ذرات و نشر NO_x را از سوخت کاهش می دهد [۶]. تولید کنندگان اصلی اتانول در جهان برزیل و آمریکا می باشند که حدود ۸۰% از تولید جهانی اتانول را به خود اختصاص داده اند [۷]. مواد اولیه مورد استفاده برای تولید بایواتانول به سه دسته الف) مواد قندی [۸-۱۲]، ب) مواد نشاسته ای [۱۳، ۱۴] و ج) مواد لیگنوسلولزی [۱۵] تقسیم می شوند.

امروزه در فرآیند های صنعتی تولید اتانول، از نیشکر در نیمکره جنوبی و از دانه غلات در نیمکره شمالی استفاده می شود، اگر چه اینها به عنوان منابع اولیه غالب مورد استفاده هستند ولی قیمت منابع اولیه در تولید بایو اتانول نقش مهمی را ایفا می کند و بیشتر از ۵۵% به کاهش قیمت تولیدات کمک می کند. مواد لیگنوسلولزی از منابع تهی ناپذیر و ارزان هستند که به مقدار زیاد در دسترس می باشند. یکی از فراوان ترین بایو مس های لیگنوسلولزی مورد استفاده در تولید بایو اتانول در ایران ضایعات چوب است که دارای درصد بالائی از سلولز و همی سلولز می باشد. ترکیب درصد نوعی سخت چوب و نرم چوب در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۶].

بحث بحران انرژی جاری که در سراسر جهان به گوش می رسد توجه همه را به ماهیت محدود منابع سوخت فسیلی جلب کرده است. این بحران همراه با افزایش چشمگیر صنعتی شدن بسیاری از کشورهای جهان سوم موجب فشار اقتصادی و بازرگانی زیادی برای دستیابی به منابع مطمئن و ارزاتر انرژی شده است. پیش بینی می شود با سرعت بهره برداری جاری، سوخته های فسیلی تنها برای کمتر از ۵۰ سال آینده جوابگوی نیاز به انرژی خواهد بود [۱، ۲].

سوخته های بیو منبعی از انرژی هستند که بشر از دیرباز از آن استفاده می نموده است، افزایش استفاده از سوخته های بیو برای تولید انرژی بطور خاص امروزه مورد توجه قرار گرفته است، زیرا این سوخته های گلخانه ای کمتری تولید می کنند و ابزاری برای عدم وابستگی انرژی می باشند. حتی ممکن است فرصتهای شغلی جدیدی را نیز ایجاد کنند. سوخته های بیو به عنوان راهکاری برای شکل کنونی آلودگی که از منابع سوخته های فسیلی ناشی می شوند، می باشد. در ایران نیز افزایش مصرف سوخت و آلودگی حاصل از آن، در حال تبدیل به یک بحران است. این در حالیست که قیمت این سوخته ها در بازار جهانی روندی رو به رشد دارد و این مسئله باعث وابستگی روز افزون اقتصادی و سیاسی کشورهای وارد کننده می باشد [۳، ۴]. آنچه اهمیت بررسی، پژوهش و در نهایت دسترسی به تکنولوژی تولید و استفاده از سوخته های بایو را شدت می بخشد، مزایای این گونه سوخته نسبت به سوخته های فسیلی است. از جمله این



می باشد و بزرگترین عیب آن راندمان پائین تبدیل قند می باشد. استفاده از اسید غلیظ به فشار و دمای معمولی تا متوسط احتیاج دارد. دما و فشار پائین در روش هیدرولیز با اسید غلیظ باعث می شود که تجزیه و تبدیل مواد قندی به مواد شیمیایی دیگر کاهش یابد. اولین مزیت این روش راندمان بالای تولید قند است که بیش از ۹۰٪ برای سلولز و همی سلولز می باشد. همچنین فشار و دمای پائین در این روش امکان استفاده از مواد و وسایل ارزان قیمت را فراهم می کند. عیب این روش این است که زمان واکنش طولانی است و بازیافت اسید غلیظ شرایط عملیاتی هزینه بری را تحمیل می کند [۱۹، ۲۰].

۳- مواد و روشها

مواد خام مورد استفاده در این آزمایشات، ضایعات چوب درخت سپیدار (تبریزی) که حاوی ۵/۳۳ درصد رطوبت با سایز ذرات (مش) ۳۰ تا ۷۰ می باشد. در کلیه آزمایشات زمان هیدرولیز ۲ ساعت می باشد و از ۳۰۰ گرم محلول اسید سولفوریک در سه سطح (۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ (w/w))، دما در سه سطح (60°C، 70°C و 80°C) و مقدار چوب در سطح (۱۵، ۲۵ و ۳۵ (gr)) استفاده شده است. در طی عملیات هیدرولیز عمل همزدن محلول با دور ۷۵۰ (دور بر دقیقه) بصورت مداوم انجام گرفته و پس از خنثی سازی محلول حاصل از هیدرولیز با محلول سود ۲ نرمال و صاف کردن آن، پس ماندهای جامد با مقدار مشخصی آب مقطر شستشو داده شدند. کسری از نمونه های حاصل از هیدرولیز در این مرحله پس از سه با تکرار هر آزمایش، جهت آنالیز با دستگاه کروماتوگرافی مایع مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۱- مدل رگرسیون غیر خطی

متغیرهای مدل شامل سه فاکتور غلظت اسید، دما و درصد مقدار چوب به محلول اسیدی می باشند که در سطوح مختلف در جدول ۲ نشان داده شده اند. آزمایشات انجام شده شامل ۹ آزمایش می باشد که مقادیر پاسخ با استفاده از نرم افزار آماری Sigma State مورد بررسی قرار گرفته و

جدول ۱- ترکیباتی از مواد خام لیگنوسلولزی در نوعی سخت

چوب و نرم چوب [۱۶]

Component	Populus tristis (hardwood)	Douglas fir (softwood)
Cellulose(wt%)	45.0	42.0
Hemi-cellulose(wt%)	30.0	27.0
Non-carbohydrate(%)		
Lignin	20.0	28.3
Ash	1.0	0.2
Carbohydrate(% of sugar equivalent)		
Glucose	40.0	50.0
Mannose	8.0	12.0
Galactose	NA	1.3
Xylose	13.0	3.4
Arabinose	2.0	1.1

تولید بایو اتانول از مواد لیگنو سلولزی شامل دو مرحله اصلی هیدرولیز و تخمیر می باشد. از مهمترین روشهایی که امروزه برای تجزیه ساختار مواد لیگنوسلولزی و استحصال قند قابل تخمیر مورد استفاده قرار می گیرند، می توان به هیدرولیز اسیدی رقیق و غلیظ [۱۷، ۱۸] و هیدرولیز آنزیمی اشاره نمود [۱۹]. در این مقاله فرآیند هیدرولیز مواد لیگنوسلولزی توسط سطوح مختلف از غلیظ اسید، دما و مقدار چوب در محلول اسیدی، بمنظور تولید قند قابل تخمیر مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه ابتدا مواد و روشهای آزمایشگاهی مورد استفاده شرح داده شده است. سپس نتایج آزمایشگاهی حاصله ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- هیدرولیز اسیدی

دو نوع فرآیند هیدرولیز اسیدی وجود دارد: استفاده از اسید غلیظ و استفاده از اسید رقیق. اسید رقیق باید در دما و فشار بالا صورت گیرد و زمان واکنش آن کوتاه می باشد. معمولاً استفاده از اسید رقیق بازیافت قند را به ۵۰٪ محدود می کند و علت این مسئله تولید مواد شیمیایی بازدارنده، طی یکسری واکنشهای ناخواسته می باشد، که این مواد بازدارنده در مرحله تخمیر رشد مخمر را به تأخیر می اندازند. بزرگترین مزیت استفاده از روش هیدرولیز با اسید رقیق سرعت، بالای واکنش در فرآیند های پیوسته



اثر فاکتورهای غلظت اسید، دما و درصد مقدار چوب به محلول اسیدی بر روی فرآیند هیدرولیز اسیدی غلیظ چوب، به منظور تولید قند قابل تخمیر، با استفاده از نرم افزار آماری Sigma State مورد بررسی قرار گرفته است. درصد قند کل تولیدی به ازای گرم چوب خشک اولیه مطابق با شرایط آزمایشی ارائه شده، در جدول ۳ نشان داده شده است.

$$Y = -0/263 + 0/212x_1 + 0/323x_2 + 0/0000381 / (x_3)^2$$

معادله رگرسیون بدست آمده رابطه بین قند تولیدی کل را با هر یک از فاکتورهای قابل تغییر توضیح می دهد. مقدار ضریب تعیین (R^2)، برای قند کل تولیدی ۰/۹۹۱ بدست آمده است (جدول ۴)، که نشان دهنده ۹۹٪ تغییرات متغیر پاسخ می باشد. هر چقدر مقدار R^2 به یک نزدیک شود، مدل آماری ارائه شده قویتر و پاسخ ها به واقعیت نزدیکتر خواهند بود.

مقدار R^2 تعدیل شده نیز ۰/۹۸۶ بدست آمده است که نشان دهنده یک تناسب خوب بین مقادیر آزمایشی و پیش بینی شده برای تولید قند کل می باشد. مقدار F مدل ۱۸۴ و $p\text{-value} > 0/0001$ بدست آمده است که نشان دهنده معنی دار بودن کلی رگرسیون میباشد. مقادیر t-test و P-value مربوط به ضرایب رگرسیون در جدول ۵ لیست شده اند. با توجه به مقادیر p-value های بدست آمده، مشخص شد که هر یک از متغیرها بر روی تولید قند کل تأثیر گذار می باشند ($P\text{-value} < 0/05$). اثر متقابل فاکتورها بر روی تولید قند کل در شکل های ۱، ۲ و ۳ و مقدار واقعی و پیش بینی شده قند کل تولیدی در شرایط آزمایشی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۴ نمودار آن قابل مشاهده می باشد. مشخص شد که با افزایش غلظت اسید و دمای فرآیند، مقدار قند کل تولیدی افزایش یافته است در حالیکه افزایش مقدار گرم چوب در محلول اسیدی منجر به کاهش مقدار قند کل تولیدی گردیده است.

برای اطمینان حاصل کردن از درستی مدل، آزمایشی با شرایط غلظت اسیدسولفوریک ۳۵٪ (w/w)، دما ۸۰C،

پاسخ نهایی با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی زیر ارائه گردیده است:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 / (x_3)^2 \quad (1)$$

بطوریکه Y_i پاسخ های پیش بینی شده، x_i متغیرهای ورودی مؤثر بر پاسخ Y ، β_0 مقدار ثابت و β_i ضرایب معادله رگرسیون می باشند. ضرایب مربوط به مدل ارائه شده، با استفاده از نرم افزار آماری Sigma State (مدل ۳۰۱) محاسبه شده است. همچنین اثرات متقابل فاکتورها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- آنالیز نمونه ها بوسیله کروماتوگرافی مایع^۱

ترکیبات حاصل از هیدرولیز بوسیله دستگاه کروماتوگرافی مایع باکارتائی بالا (مدل Jasco ژاپن) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقادیر قندهای پنج کربنه و شش کربنه موجود در نمونه های هیدرولیز چوب از قبیل گلوکز، گالاکتوز، مانوز، زایلوز و آرابینوز بوسیله دستگاه HPLC تعیین و بعنوان قند کل قابل تخمیر در نظر گرفته شده اند. ردیاب^۲ مورد استفاده برای این ترکیبات از نوع ضریب شکست^۳ در دمای ۴۰C با یک ستون Suplco-Pb (فاز متحرک^۴ مورد استفاده آب مقطر در دمای ۸۰C و دبی ۰/۵ میلی لیتر بر دقیقه) می باشد. ترکیبات جانبی تولید شده از قبیل فورفورال و اسید استیک نیز توسط ردیاب از نوع اسپکتروفتومتری با جذب در طول موج ۲۱۰ نانومتر و با یک ستون Aminex Hpx-87H (Bio-Rad)، فاز متحرک مورد استفاده اسیدسولفوریک ۰/۰۵ مولار در دمای ۶۰C با دبی ۰/۶ میلی لیتر بر دقیقه و حجم تزریق ۲۰ میکرومتر) اندازه گیری شده اند [۲۱].

۴- بحث و نتیجه

^۱ - High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

^۲ - Detector

^۳ - Refractive index detector

^۴ - Mobile phase



شرایط برابر ۱۵/۹۶٪ بدست آمده که این مقدار مشابه با مقدار پیش بینی شده توسط مدل بوده است (۱۵/۹۰٪).

زمان فرآیند ۲ ساعت و نسبت درصد چوب به محلول اسیدی ۵٪ انجام گرفته است و مقدار واقعی قندکل در این

جدول ۲- سطوح مختلف فاکتورها

Variables	Symbols (dimensionless)	Actual values of coded levels, X_i		
		1	2	3
Sulfuric acid (% w/w), X_1	$x_1 = X_1/50$	15	25	35
Temperature(°C), X_2	$x_2 = X_2/100$	60	70	80
Wood chips(gr), X_3	$x_3 = X_3/300$	15	25	35

جدول ۳- طراحی آزمایشات و مقدار تولید قندکل

Experiment no.	Coded levels			Total sugar (%w/w)		
	X_1	X_2	X_3	Predicted	Actual	Residual
1	1	1	1	0.96	1.06	0.10
2	1	2	2	3.22	2.93	-0.29
3	1	3	3	6.18	6.36	0.18
4	2	1	2	4.23	3.52	-0.71
5	2	2	3	7.19	7.78	0.59
6	2	3	1	11.66	11.91	0.25
7	3	1	3	8.20	8.70	0.50
8	3	2	1	12.67	12.70	0.03
9	3	3	2	14.93	14.39	-0.54
10 (Test)	3	3	1	15.90	15.96	0.06

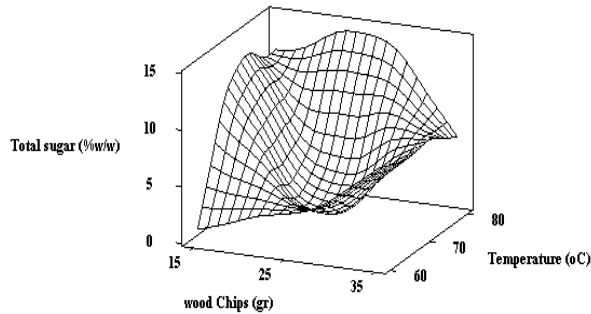
جدول ۴- آنالیز واریانس مدل

Source	SS	DF	MS	F-Value	P-Value
Model	0.0173	3	0.00576	184	<.0001
Residual (error)	0.000157	5	0.0000313		
Total	0.0174	8	0.00218		

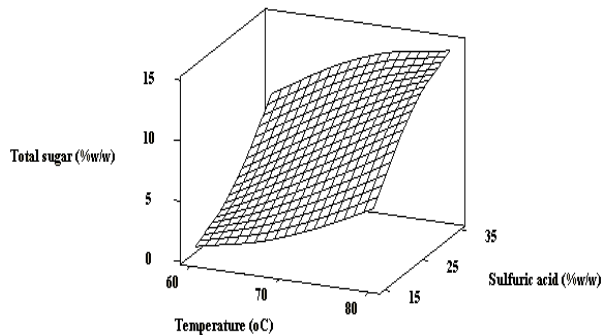
$R^2 = 0.991$; adjusted $R^2 = 0.986$; SS, sum of squares; DF, degree of freedom; MS, mean square.

جدول ۵- معنی دار بودن ضرایب رگرسیون

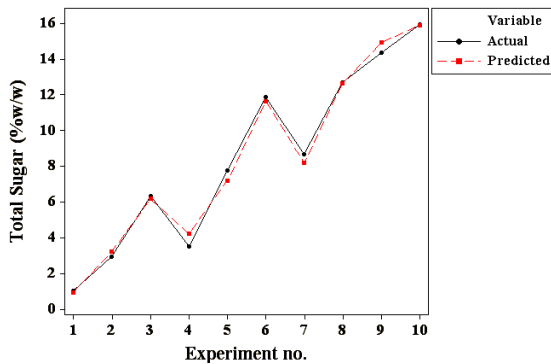
Model parameter	Parameter value	Standard error	Computed t-value	P-Value
β_0	-0.263	0.0173	-15.2	<.0001
β_1	0.212	0.0114	18.5	<.0001
β_2	0.323	0.0229	14.1	<.0001
β_3	0.0000381	0.0000133	2.87	0.0351



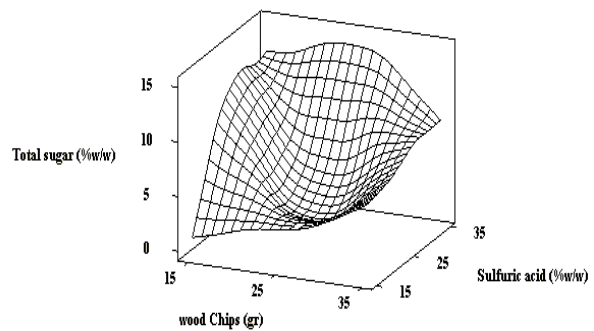
شکل ۳- پاسخ سطحی اثر متقابل دمای فرآیند و مقدار چوب به محلول اسیدی بر روی تولید قندکل (بیشترین مقدار تولید قندکل در سطح ۳ دما و سطح ۲ مقدار چوب می باشد)



شکل ۱- پاسخ سطحی اثر متقابل غلظت اسید و دمای فرآیند بر روی تولید قندکل (بیشترین مقدار تولید قندکل در سطح ۳ اسید و سطح ۳ دما می باشد)



شکل ۳- مقدار واقعی و پیش بینی شده قندکل تولیدی در شرایط آزمایشی مختلف (مطابق جدول ۳)



شکل ۲- پاسخ سطحی اثر متقابل غلظت اسید و مقدار چوب به محلول اسیدی بر روی تولید قندکل (بیشترین مقدار تولید قندکل در سطح ۳ اسید و سطح ۲ مقدار چوب می باشد)

۵- نتیجه گیری

یکی از رایجترین روشهایی که امروزه برای تجزیه ساختار مواد لیگنوسلولزی و استحصال قند قابل تخمیر مورد استفاده قرار می گیرد هیدرولیز اسیدی غلیظ می باشد. در این پژوهش پس از بررسی روشهای مختلف تولید بیواتانول و سنجش امکانات موجود، تأثیر فاکتورهایی شامل غلظت اسید، دما و نسبت مقدار چوب به محلول اسیدی بر روی فرآیند هیدرولیز اسیدی غلیظ ضایعات چوب درخت سپیدار، مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تجزیه و تحلیل نتایج، یک



phase fermentation process for production of fuel ethanol from sweet sorghum," *Appl. Environ. Microbiol.*, (1986), 51: 115-22.

[10] Phowchinda, O., Delia-Dupuy, M.L., Strehaiano, P., "Seminar on biotechnology: an essential tool for future development," In: *Proceeding of the ninth annual meeting of the Thai Society of Biotechnology and the Second JSPS-NRCT-DOST-LIPP-VCC*, (1997).

[11] Ballesteros, I., Ballesteros, M., Cabanas, A., Carrasco, J., Martin, C., Negro, M.J., "Selection of thermotolerant yeast for simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of cellulose to ethanol," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, (1991), 29: 307-15.

[12] Pimentel, L.S., "Biotechnology report: The Brazilian ethanol program," *Biotechnol. Bioeng.*, (1980), 22: 1989-2012.

[13] Raimbault, M., "General and microbiological aspects of solid substrate fermentation," *Electr. J. Biotechnol.*, (1998), 1: 174-88.

[14] Prasad, S., Singh, A., Joshi, H.C., "Ethanol as an alternative Fuel from agricultural, industrial and urban residues," *Resource, Conservation and Recycling*, (2007), 50: 1-39.

[15] Sassner, P., Martensson, C.G., Galbe, M., Zacchi, G., "Steam pretreatment of H₂SO₄-impregnated Salix for the production of bioethanol," *Bioresource Technology*, (2008), 99: 137-145.

[16] Iranmahboob, J., Nadim, F., Monemi, S., "Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips," *Biomass and Bioenergy*, (2002), 22: 401-404.

[17] Converse, A.O., Kwarteng, I.K., Grethlein, H.E., Ooshima, H., "Kinetics of thermochemical pretreatment of lignocellulosic materials," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, (1989), 21: 63-78.

[18] Esteghlalian, A., Hashimoto, A.G., Fenske, J.J., Penner, M.H., "Mode ling and optimization of the dilute sulfuric acid

مدل رگرسیون غیرخطی برای فرآیند هیدرولیز ارائه گردیده است. بهترین بازده قندکل در شرایط غلظت اسیدسولفوریک ۳۵٪ (w/w)، دما 80°C، زمان فرآیند ۲ ساعت و نسبت درصد چوب به محلول اسیدی ۵٪ بدست آمده است که همان شرایط در نظر گرفته شده برای تست مدل می باشد و مقدار واقعی قندکل در این شرایط برابر با ۱۵/۹۶٪ بدست آمده است که این مقدار مشابه با مقدار پیش بینی شده توسط مدل می باشد (۱۵/۹۰٪). این مدلسازی در انتخاب بهترین شرایط عملیاتی و کاهش ریسک اقتصادی و بهبود نتایج می تواند نقش عمده ای را ایفا کند.

۶- منابع

[1] Sims, R.E.H., "Renewable energy: A response to climate change," *solar Energy*, (2004), 76:9-17.

[2] Demirbas, A., "Progress and recent trends in biofuels," *progress in energy and combustion science*, (2007), 33:1-18.

[3] www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html

[4] Ryan, L., Convery, F., Ferreira, S., "Simulating the use of biofuels in the European Union: Implication for climate change policy," *Energy Policy*, (2006), 34: 3184-94.

[5] Campo, I. D., Alegría, I., Zazpe, M., Echeverría, M., Echeverría, I., "Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastes for bioethanol production," *Industrial Crops and Products*, (2006), 24: 214-221.

[6] Mojovic, M., Nikolic, S., Rakin, M., Vukasinovic, M., "Production of bioethanol from corn meal hydrolyzates," *Fuel*, (2006), 85: 1750-1755.

[7] Kim, S., Dale, B.E., "Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues," *Biomass and Bioenergy*, (2004), 26: 361-375.

[8] Hill, F.J., Levllan, R.T., Skoyen, I.O., "Sweet sorghum cultivars for alcohol production" *Calif. Agric.*, (1990), 44: 14-6.

[9] Gibbons, W.R., Westby, C.A., Dobbs, T.L., "Intermediate scale, semicontinuous solid



دانشگاه شهید باهنر کرمان

اولین کنفرانس علوم و مهندسی جداسازی

۳۱ - ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۳۸۸



انجمن مهندسی شیمی ایران

bioethanol production technologies: an appraisal,” *Biotechnology and Molecular Biology Review*, (2007), Vol. 2 (1), 014-032.

[21] Okuda, N., Ninomiya, K., Takao, M., Katakura, Y., Shioya, S. “Microaeration Enhances Productivity of bioethanol from Hydrolysate of Waste House Wood Using Ethanologenic *Escherichia coli* KO11,” *Journal of Bioscience and Bioengineering*, (2007), Vol. 103, No.4, 350-357.

pretreatment of corn stover, poplar and switchgrass,” *Bioresour. Technol*, (1997), 49: 701-8.

[19] Badger, P.C., “Ethanol From Cellulose: A General Review,” Reprinted from: *Trends new uses*, J.Janick and A.Whipkey(eds), ASHS press, Alexandria, VA, (2002).

[20] Chandel, A. K., ES, E., Rudravaram, R., Narasu, M.L., Rao, L.V., Ravindra, P., “Economics and environmental impact of