بررسی اثرات پیش‌تیمار پرتودهی میکروویو و بخاردهی بر هیدرولیز آنزیمی باگاس نیشکر

نازنین اقرء[1*]، یحیی عجب‌شیرچی[1]، محمد سرشار[2] و سیدسعید علوی[1]

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۶

۱-گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز
۲- گروه مهندسی شیمی دانشگاه شیراز
*مسئول مکاتبه E-mail: nazy_e4000@yahoo.com

چکیده

تولید بیواتانول از بقایای کشاورزی، به سبب فراوانی و ارزانی مواد اولیه، یکی از نویدبخش‌ترین روش‌های تولید بیواتانول است. در مراحل تولید این نوع بیواتانول پرچالش‌ترین مرحله، پیش‌فرآوری است. در این مطالعه پرتودهی میکروویو و همچنین بخاردهی به عنوان دو نوع پیش‌تیمار بر روی باگاس نیشکر اعمال شد. بعد از هیدرولیز، توانایی استحصال قند با توجه به دو فاکتور توان پرتودهی میکروویو، در سه سطح ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات و زمان ماند در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت. توانایی استحصال قند در باگاسی که تحت پیش‌تیمار بخاردهی قرار گرفت با توجه به دو فاکتور ماده شیمیایی اضافه شده در طی بخاردهی در چهار سطح اسیدسولفوریک ۱٪، ۲٪ و ۳٪ و بدون اسیدسولفوریک و زمان ماند در دو سطح ۷ و ۱۴ دقیقه، مورد بررسی قرار گرفت، بر این اساس نتایج حاکی از آن هستند که در پیش-تیمار میکروویو در سطح احتمال ۱٪ اثر توان میکروویو و همچنین زمان ماند دارای اختلاف معنی‌دار هستند این در حالی است که در پیش-تیمار بخاردهی اگرچه میان چهار غلظت اسیدسولفوریک اختلاف معنی‌دار بود، اما زمان ماند و اثر متقابل زمان ماند × غلظت اسید سولفوریک اثر معنی‌دار نداشتند. شرایط بهینه برای استحصال قند در پرتودهی میکروویو در توان ۸۵۰ وات و زمان ماند ۱۰ دقیقه حاصل شد. و این شرایط بهینه در بخاردهی در تیمار ۲٪ اسیدسولفوریک و ۷ دقیقه صورت پذیرفت. درصد تبدیل باگاس به قند از ۲۰/۸۵٪ (بدون پیش‌فرآوری)، به ۵۷/۲٪ بعد از پرتودهی میکروویو و به ۴۹/۶٪ بعد از بخاردهی در شرایط بهینه رسید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت پرتودهی میکروویو به عنوان پیش‌تیمار مقدار معینی باگاس را به قند بیشتری تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بیواتانول، پرتودهی میکروویو، بخاردهی، پیش‌تیمار، هیدرولیز

۱- مقدمه

توسعه تولید و مصرف سوخت‌های زیستی مایع به‌عنوان مکمل و یا جایگزین بخشی از سوخت‌های فسیلی مورد مصرف در بخش حمل و نقل کشورها، ضرورتی اجتناب ناپذیر است که پایه در مصالح استراتژیک ملی کشورها از قبیل: تأمین امنیت انرژی، توسعه پایدار، حفظ و ارتقای محیط‌زیست و سلامت مردم دارد (دپارتمان انرژی امریکا، ۲۰۰۷). لذا به-عنوان یک ضرورت، باید بهترین راه‌حل برای اجرای آن یافته شود.

مواد سلولزی بیشترین ماده آلی دور ریخته شده بر روی سطح کره زمین می‌باشند، که می‌توانند منبع بسیار خوبی برای تولید انرژی زیستی باشد (کلارک، ۱۹۹۷). سلولز را می‌توان در منابعی مانند مواد چوبی، کاغذ، منسوجات و ضایعات کشاورزی یافت. سلولز پلیمری است (لیند و همکاران، ۱۹۹۹) که از واحدهای مونومری انیدرو گلوکز (Anhydroglucose) تشکیل شده است (ایمای و همکاران ، ۲۰۰۴).

از جمله‌ی خصوصیات مواد سلولزی این است که نامحلول هستند، دارای ساختار شکیل می‌باشند و نیز دارای ترکیباتی هستند که در برابر هیدرولیز مقاومت می‌کنند. به‌طورکلی در بین خصوصیات فیزیکی موجود در مورد مواد سلولزی، سطح در معرض واکنش و درجه‌ی کریستالی بودن به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در تبدیل سلولز به گلوکز مطرح می‌باشد (گان و همکاران، ۲۰۰۳). سلولز در طبیعت بیشتر به صورت ترکیبات لیگنوسلولزی وجود دارد که شامل سه جزء سلولز، همی‌سلولز (Hemicellose) و لیگنین (Lignin) می‌باشد (هاملینک و همکاران، ۲۰۰۵). سلولز از جمله پلیمرهای خطی پلی‌ساخارید (Polysaccharide) می‌باشد که ساختار سخت و کریستالی دارد. ساختار سلولز به گونه‌ای

است که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی (Hexose) تشکیل شده است (ایمای و همکاران، ۲۰۰۴ و گان و همکاران، ۲۰۰۳). همی‌سلولز هم مانند سلولز از جمله پلیمرهای پلی‌ساخارید می‌باشد که البته از زنجیره‌های کوتاه‌تر پلی‌ساخارید تشکیل شده و پیوندی میان سلولز و لیگنین است (امای و همکاران،۲۰۰۴ و گان و همکاران ،۲۰۰۳). برخلاف سلولز که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی تشکیل شده است، همی‌سلولز علاوه بر قند شش‌کربنی دارای زنجیره‌ی قند پنج‌کربنی (Pentose) نیز می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های اساسی سلولزها و همی‌سلولزها در این است که برخلاف سلولز که دارای ساختار کریستالی می‌باشد، همی‌سلولزها بدون شکل (Amorphous) هستند (گان و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین به دلیل این شکل ساختاری غیربلوری نسبتاً هیدرولیز راحت‌تری دارند. از بین مواد تشکیل دهنده لیگنوسلولزی، لیگنین‌ها به‌عنوان یک عامل فیزیکی مقاوم در برابر تبدیل سلولز به گلوکز عمل می‌کنند، به‌گونه‌ای که دیواره‌های سلولی را در برگرفته و مانند سیمان سلول‌ها را به هم می‌چسباند (هاملینک و همکاران، ۲۰۰۵).

فرآیند کلی تبدیل سلولز به اتانول مشتمل بر چهار مرحله اصلی می‌باشد (موسیر و همکاران، ۲۰۰۵).

۱- آماده‌سازی یا پیش‌تیمار ۲- هیدرولیز ۳- تخمیر ۴-جداسازی و خالص‌سازی

از آنجایی که هدف این مطالعه بررسی فرآیند تبدیل سلولز به گلوکز می‌باشد، تنها به ذکر دو مورد اول اکتفا خواهد شد. زیرا هدف این دو مرحله تبدیل مواد اولیه سلولزی به گلوکز به عنوان یک ماده‌ی میانی فرآیند می‌باشد که پس از عمل تخمیر، به اتانول تبدیل خواهد شد (ادن و همکاران، ۲۰۰۲ و وولی و همکاران، ۱۹۹۹). در مرحله جداسازی و خالص‌سازی، الکل با درجه خلوص دلخواه و مورد نظر به‌دست می‌آید. شایان ذکر است که آماده‌سازی و هیدرولیز از مهم‌ترین بخش‌های فرآیند تبدیل سلولز به اتانول می‌باشد که بخش عمده‌ای از هزینه‌ی فرآیند را به خود اختصاص می‌دهد (سرشار، ۱۳۸۴).

مواد لینگوسلولزی به‌دلیل ساختار فیزیکی لیگنین و نیز ساختار کریستالی سلولز در مقابل عمل هیدرولیز از خود مقاومت نشان می‌دهند که این مانعی در برابر فرآیند کلی تبدیل سلولز به اتانول (مک میلان، ۱۹۹۴ و هولتساپله، ۱۹۹۳) و پایین آوردن بهره‌وری فرآیند می‌شود (کاردونا و سنچس، ۲۰۰۷). بنابراین قبل از اینکه مواد اولیه سلولزی وارد فرآیند هیدرولیز شود می‌بایستی برای هضم این فرآیند آماده شود. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت آماده‌سازی به‌کاربرده می‌شود که در این مطالعه به مقایسه دو روش پرتودهی میکروویو و بخاردهی پرداخته می‌شود.

پیش‌تیمار بخاردهی و پرتودهی از آن جهت که هر دو فیزیکی شیمیایی بوده و در آن‌ها از تیمار گرمایی و غیرگرمایی هم‌زمان استفاده می‌شود، قابل مقایسه‌اند.

در روش پرتودهی، زیست‌توده در محلول شیمیایی مستغرق می‌شود. سپس بسته به توان اشعه در مدت زمان ۵ تا ۲۰ دقیقه آماده‌سازی می‌شود (کشوانی و چنگ،۲۰۱۰). در آزمایش های ابتدایی مواد قلیایی به عنوان مناسب‌ترین ماده شیمیایی قابل استفاده در این روش مشخص شد (ژاو و همکاران، ۲۰۰۶). در بررسی‌های بعدی هیدروکسیدسدیم مؤثرترین ماده شیمیایی در میان مواد قلیایی شناخته شد.

طاهرزاده و کریمی (۲۰۰۸)، تیمار پرتودهی را یک بار بر کاغذ فیلتر شده بدون لیگنین و بار دیگر بر کاغذ حاوی مقداری لیگنین انجام دادند. نتایج نشان داد، هیچ‌گونه بهبودی در هیدرولیز نمونه اول حاصل نشد درحالی که در نمونه دوم هیدرولیز رضایت‌بخش بود. بنابراین برای حصول نتیجه بهتر توصیه شده بود که پرتودهی حتماً در حضور لیگنین صورت پذیرد. بیل و همکاران (۲۰۰۹) به کاربرد پرتوی میکروویو به عنوان پیش تیمار باگاس پرداخته‌اند. سطح اثردهی نیروی میکروویو و زمان فرآیند در شاخص‌های اصلی خصوصیات پالپ (خمیر) مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین شرایط انجام فرآیند پیش تیمار پرتو میکروویو توان ۸۵۰ وات و زمان عملیات ۵ دقیقه می‌باشد. در روش بهینه نسبت به نمونه شاهد، شاخص مقاومت کششی ۱۳/۴٪ افزایش و شاخص گسیختگی ۳/۹ ٪ کاهش یافت.

بخاردهی، یکی از روش‌های بسیار متداول برای انجام فرآیند آماده سازی مواد سلولزی می‌باشد (هسو، ۱۹۹۶) که در بسیاری از فرآیندهای تبدیل سلولز به اتانول از آن استفاده می‌شود (مک میلان، ۱۹۹۴). در این روش مواد اولیه‌ی خرد شده تحت شرایط بخار اشباع با فشار بالا قرار می‌گیرند و پس از سپری شدن مدت زمان ماند مورد نظر، فشار به یکباره به فشار اتمسفر رسانده می‌شود (آلویرا و همکاران، ۲۰۱۰) و بدین وسیله مواد دچار یک تجزیه‌ی انفجاری می‌شوند. در این روش معمولاً از بخار اشباع با دمای 150°- 260° سلسیوس استفاده می‌شود و مواد برای مدت زمان حدود چند ثانیه تا چند دقیقه در معرض این بخار قرار می‌گیرند و به یک‌باره در معرض دما و فشار محیط قرار داده می شوند. در این روش به‌دلیل استفاده از دمای بالا، ساختار لیگنین و همی‌سلولز درهم ریخته خواهد شد و بنابراین خوراک برای انجام عمل هیدرولیز آماده خواهد شد. عواملی که بر راندمان این روش تأثیرگذار هستند عبارتند از: زمان تماس، دمای بخار و نیز اندازه ذرات (داف و مورای، ۱۹۹۶).

سعد (۲۰۱۱) مدل سینتیک و همانند سازی بخاردهی و هیدرولیز آنزیمی باگاس نیشکر را ارزیابی کرد. مدل سینتیک درجه یک برای واکنش‌های سلولز، همی‌سلولز و لیگنین در طی بخاردهی در دماهای 190° ، 165° و 210° سلسیوس پیشنهاد شد. همچنین وی مطالعات کمی سینتیک تجزیه لیگنین، در طی بخاردهی را بررسی کرد. بنابراین مکانیزم جدیدی برای واکنش‌های لیگنینی که اساس آن دی‌پلیمریزه کردن و دوباره پلیمریزه کردن لیگنین می‌باشد را پیشنهاد نمود. نتایج نشان دادند که مقدار لیگنین تا یک زمان معین واکنش، کاهش و بعد از آن افزایش می‌یابد. مدل سینتیک شبیه‌سازی شده نشان داد که حداقل لیگنین در باگاس فرآوری شده در زمان ۱۴ دقیقه و 190°سلسیوس، ۵ دقیقه و 200° سلسیوس ، ۱/۲ دقیقه در 210° سلسیوس و ۰/۸ دقیقه

در °۲۲۰ سلسیوس اتفاق می‌افتد. همچنین در شرایط فوق الذکر بیشترین بازده (عملکرد) هیدرولیز آنزیمی محقق می‌شود. مدل شبیه سازی شده هیدرولیز همی‌سلولز نشان می‌دهد که بازده قند از ۷۵٪ به ۸۷٪ به ترتیب برای °۱۷۰ و °۲۲۰ سلسیوس افزایش یافت. هیدرولیز آنزیمی باگاس فراوری شده در °۲۰۰ سلسیوس برای ۵ دقیقه براساس مدل جذب سلولاز لانگمیر و مدل میشلیزمنتن برای آنزیم بتا گلیکوساید مدل شد.

به عنوان مزیت استفاده از بخار به تنهایی به‌عنوان پیش‌تیمار می‌توان به ساده بودن سیستم آن اشاره کرد، اما بازدهی پایین آن در بسیاری از موارد باعث غیر اقتصادی بودنش می‌شود (مک میلان، ۱۹۹۴؛ هسو، ۱۹۹۶؛ اباتزوقلو و همکاران،۱۹۹۲ و بلکاسمی و همکاران، ۱۹۹۱).

هدف این مطالعه مقایسه اثر پرتودهی میکروویو و بخاردهی از نظر میزان شکستن ساختار لیگنوسلولزی ماده اولیه و در دسترس آنزیم قرار دادن سلولز و همی‌سلولز و تبدیل آن به گلوکز می‌باشد. این مطالعه در سطح آزمایشگاهی انجام شد. ماده اولیه مورد استفاده باگاس نیشکر انتخاب شد. از آن جهت که زمین‌های وسیعی در خطه جنوب غربی ایران زیر کشت نیشکر می‌رود و در نتیجه فراوانی تفاله نیشکر بعد از استحصال قند یکی از معضل‌های آن منطقه محسوب می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

باگاس نیشکر (ضایعات کارخانه بعد از قند کشی از نیشکر) استفاده شده در جریان آزمایش، از کارخانه تولید شکر کشت و صنعت هفت تپه‌ی اهواز تهیه شد. پس از شستشوی اولیه و خشک شدن در دمای °۴۵ سلسیوس و آسیاب شدن، ذرات باگاس بین دو الک با اندازه مش ۶ (اندازه ذرات عبوری ۳/۳۵ میلی‌متر) و اندازه مش ۲۰ (اندازه ذرات عبوری ۰/۸۵ میلی‌متر) جمع‌آوری شده، در یخچال با دمای °۴۰- سلسیوس نگه داشته شد. در مرحله بعد۱۰ گرم باگاس با ۸۰۰ میلی‌لیتر محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم در یک بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و بعد از ۱۰ دقیقه پیش‌گرمایش با دمای °۸۰ سلسیوس در سه مدت زمان ماند مورد نظر (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) با سه توان ۱۷۰ و ۴۵۰ و ۸۵۰ وات در میکروویو قرار گرفت. میکروویو مورد استفاده مدل ال‌جی ۱۲۵۰ وات با شماره مدل 5201/00 WR بود.

بعد از شستشوی (هر یک از نمونه ها با ۲۰۰ سی سی آب مقطر ۶۰ درجه سلسیوس شسته شده و دردمای محیط قرار گرفتند تا رطوبت به۷٪ برسد) باگاس پیش‌فرآوری شده به‌منظور خارج‌کردن لیگنین، هر یک از نمونه‌ها جهت هیدرولیز، آماده سازی شدند. بدین منظور از سه آنزیم سلولاز (NS22086)، بتاگلوکوزیداز (NS22118) و زایلوناز (NS22083) تهیه شده از شرکت Novozymes استفاده شد. pH محلول به ۵ رسانیده شد و به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور شیکردار در دمای °۴۵ سلسیوس قرار گرفت. بعد از فیلتراسیون با فیلتر ۰/۲۲ میکرومتر، نمونه‌ها جهت سنجش مقدار قند محلول به دستگاه HPLC مجهز به IR Detector و با استفاده از ستون VETEXEH-002 با فاز متحرک اسیدسولفوریک ۰/۰۱ نرمال در دمای °۷۵ سلسیوس با دبی ۰/۴ میلی‌لیتر بر دقیقه، تزریق شدند. پس از تجزیه و تحلیل نمودارهای حاصل از HPLC میزان قند کل (گلوکز و زایلوز) در هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید. بنابراین، این پژوهش در دو آزمایش جداگانه صورت گرفت و در نهایت بهترین خروجی از هردو روش با یکدیگر مقایسه شد.

پیش‌تیمار بخاردهی در قالب یک آزمایش فاکتوریل ۲×۴ برپایه طرح کاملاً تصادفی طراحی شد. اثرات دو فاکتور ماده شیمیایی اضافه شده در طی بخاردهی در چهار سطح اسیدسولفوریک ۱٪، ۲٪ و ۳٪ و بدون اسیدسولفوریک و زمان ماند در دو سطح ۷ و ۱۴ دقیقه، مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین پیش‌تیمار پرتودهی میکروویو به صورت یک آزمایش فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد. اثرات دو فاکتور توان پرتودهی میکروویو، در سه سطح ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات و زمان ماند در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفتند. این آزمایش‌های فاکتوریل در سه تکرار انجام شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تحلیل اثر پرتودهی میکروویو به عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش‌تیمار میکروویو در سه مدت زمان ماند ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه و در سه توان۱۷۰، ۲۵۰ و ۸۵۰ وات با استفاده از نرم‌افزار SPSS به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۱).

مرحله اول تجزیه واریانس داده‌ها در سطح اطمینان ۱٪ حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه زمان ماند (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) بود. (جدول۱). از بین این سه تیمار، بالاترین درصد تبدیل قند به زمان ماند ۱۰دقیقه مربوط شد (شکل۱). شکل ۲، مقایسه میانگین ترکیبات تیماری توان پرتودهی و زمان ماند از لحاظ درصد تبدیل باگاس به قند

را نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل دو عامل توان پرتودهی و زمان ماند نشان داد که دو فاکتور مورد مطالعه مستقل از هم عمل نمی‌کنند. برای مثال در حالی که در زمان ماند ۲ دقیقه درصد تبدیل باگاس ، اختلاف معنی‌داری بین توان پرتودهی ۱۷۰ و ۴۵۰ وات نشان نمی‌دهد، لکن در زمان ماند ۱۰ دقیقه اختلاف بین سه توان پرتودهی معنی‌دار است

جدول(۱): جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از پرتودهی میکروویو

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	معنی داری
توان	۳۷۸/۳۱۰	۲	۳۹۶/۳۹۴**	۰/۰۰۰
زمان ماند	۳۹۳۸/۶۸۲	۲	۴۱۲۷/۹۸۸**	۰/۰۰۰
توان * زمان ماند	۱۳۷/۰۳۰	۴	۷۱/۸۰۸**	۰/۰۰۰
خطا	۸/۵۸۷	۱۸	۰/۵۷۷	
کل	۴۰۱۹۰/۶۸۰	۲۷		

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

(p<۵٪، آزمون توکی) و ترکیب زمان ماند ۱۰ دقیقه و توان پرتودهی ۸۵۰ وات به شکل معنی‌داری بیشترین تبدیل باگاس را به خود اختصاص داده است. از آنجا که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات بیل و همکاران (۲۰۰۹) و چن و شن (۲۰۱۱) که زمان ماند بهینه را ۵ دقیقه گزارش کرده بودند مغایر بود، در مرحله دوم از آزمون سختگیرانه توکی (HSD) به‌عنوان آزمون مقایسه میانگین تک‌تک سطوح استفاده شد تا تفاوت‌های جزئی‌تر میانگین‌ها در مدت زمان‌های ماند بررسی شوند (جدول ۲). نتایج حاکی از آن شدند که میانگین درصد تبدیل قند در سه زیر گروه کاملاً مجزا دسته‌بندی می‌شود، بنابراین همچنان ۱۰ دقیقه زمان ماند بهینه اعلام شد.

۳-۲ تحلیل اثر بخاردهی به عنوان پیش تیمار

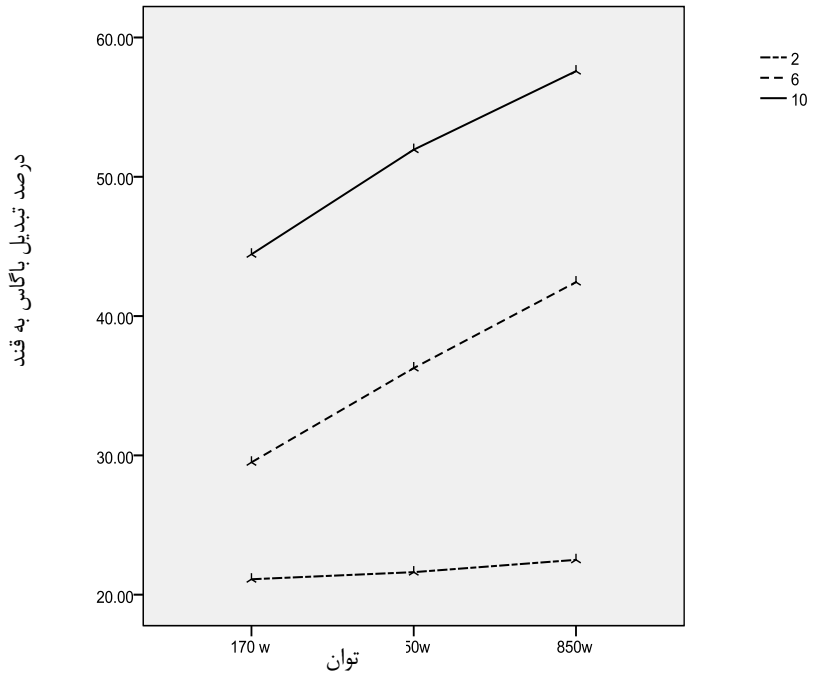
در این پیش‌تیمار نیز، پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از بخاردهی در دو مدت زمان ماند ۷ و ۱۴ دقیقه و اضافه کردن اسید سولفوریک با چهار غلظت ۱٪، ۲٪، ۳٪ و ۰٪ (بدون اسید سولفوریک)، با استفاده از نرم‌افزار SPSS به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۴).

اثر سه سطح توان در سطح اطمینان ۱٪ حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات بود (شکل ۳). با توجه به شکل ۲ بیشترین درصد تبدیل باگاس به قند در توان ۸۵۰ وات حاصل شده اما برای اطمینان بیشتر آزمون HSD انجام پذیرفت تا معنی‌دار بودن تفاوت بین سه سطح بررسی شود (جدول۳). نتایج حاکی از آن بود که این سه سطح توان در سه زیر گروه جداگانه قرار می‌گیرند. بنابراین توان ۸۵۰ وات به عنوان توان بهینه در پرتودهی میکروویو انتخاب شد. این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات بیل و همکاران (۲۰۰۹) هماهنگی داشت.

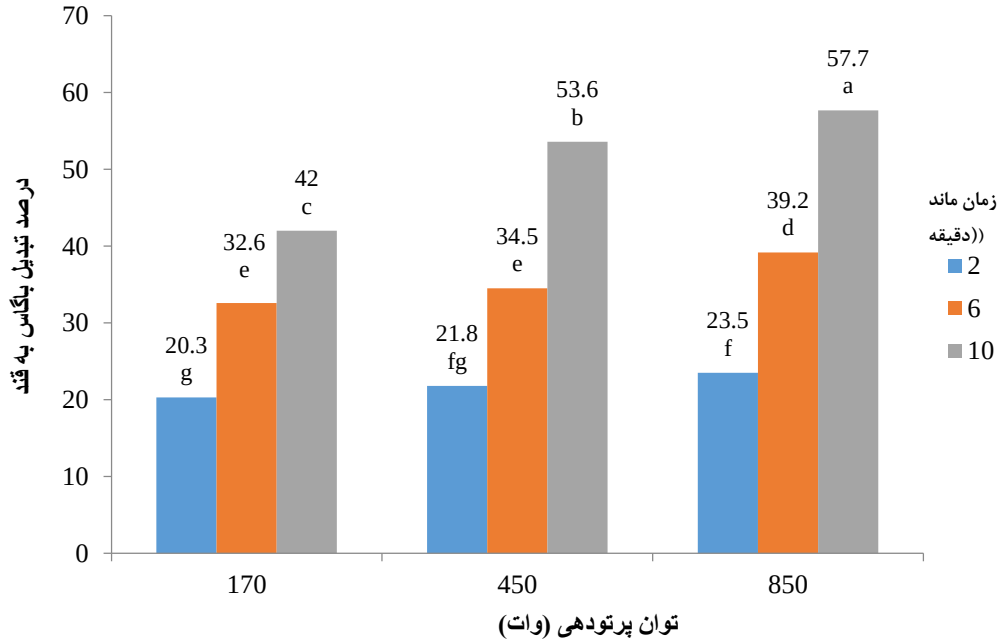
جدول(۲): نتایج آزمون HSD (توکی) برای مقایسه میانگین تبدیل باگاس به قند در سه سطح زمان‌ماند انتخاب شده در پیش‌تیمار پرتودهی

	زمان ماند	تعداد	زیر گروه ۱	زیر گروه ۲	زیر گروه ۳
TukeyHSD[a]	۲	۹	A ۲۱/۷۴۱۱		
	۶	۹		B۳۶/۰۶۷۸	
	۱۰	۹			C۵۱/۳۲۱۱

α=۰/۰۵ [a]



شکل (۱): اثر سه زمان ماند در پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند



شکل (۲): مقایسه میانگین ترکیبات تیماری توان پرتودهی و زمان ماند بر درصد تبدیل باگاس به قند

جدول(۳): نتایج آزمون HSD برای مقایسه میانگین تبدیل باگاس به قند برای اثر سه سطح توان انتخاب شده در پیش‌تیمار اشعه دهی

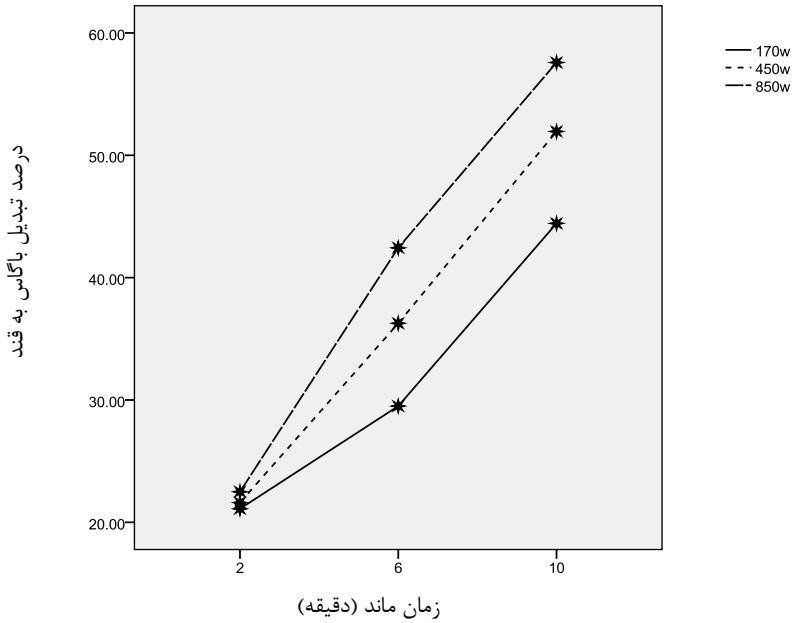
	توان (وات)	تعداد	زیرگروه ۱	زیرگروه ۲	زیرگروه ۳
TukeyHSD[a]	۱۷۰	۹	A۳۱/۶۸۰۰		
	۴۵۰	۹		B۳۶/۶۱۰۰	
	۸۵۰	۹			C۴۰/۸۴۰۰

α=۰/۰۵ [a]

جدول (۴): جدول تجزیه واریانس اثرات فاکتورهای مورد مطالعه روی درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از بخاردهی

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
غلظت اسیدسولفوریک	۳۱۳۶/۳۱۴	۳	۱۰۴۵/۴۳۸	۱۵۶۱/۳۶۱**	۰/۰۰۰
زمان ماند	۳/۴۱۴	۱	۳/۴۱۴	ns ۵/۰۹۹	۰/۰۸۳
غلظت × زمان ماند	۰/۱۷۱	۳	۰/۰۵۷	ns ۰/۰۸۵	۰/۹۶۷
خطا	۱۰/۷۱۳	۱۶	۰/۶۷۰		
کل	۴۳۶۹۶/۱۵۲	۲۴			

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد. ns: نشان می‌دهد اختلاف غیر معنی‌دار است.



شکل (۳): اثر سه سطح توان پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند.

در مرحله نخست، تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از اختلاف معنی‌دار میان چهار غلظت اسیدسولفوریک بود. در حالی که زمان‌ماند و اثر متقابل زمان × غلظت اسیدسولفوریک اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۴). در شکل ۴ درصد تبدیل به قند چهار غلظت اسیدسولفوریک به‌طور جداگانه نشان داده شده است. در این شکل می‌توان تأثیر قابل‌توجه اضافه‌کردن اسیدسولفوریک را مشاهده کرد. همچنین از این شکل ملاحظه می‌شود که اثر اسید سولفوریک ۲٪ در تبدیل باگاس به قند بیشتر مؤثر می‌باشد. همچنین از بین سه غلظت دیگر اسید سولفوریک ۲٪ در تبدیل باگاس به

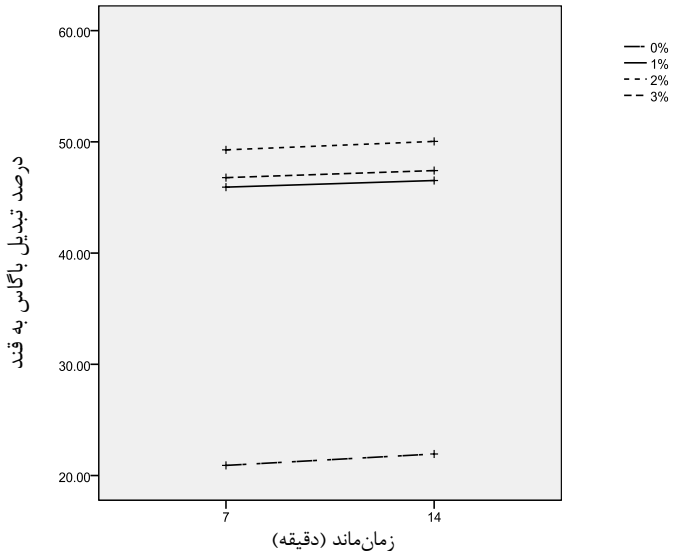
قند مؤثرتر بوده اما برای اطمینان بیشتر آزمون HSD انجام پذیرفت (جدول ۵). نتایج حاکی از آن بودند که دو سطح اسیدسولفوریک ۱٪ و ۳٪در یک زیرگروه قرار می‌گیرند. یعنی افزودن اسیدسولفوریک تا ۲٪ باعث افزایش درصد تبدیل می‌شود اما بعد از آن درصد تبدیل کاهش می‌یابد.

البته این نتیجه را همچنین در شکل ۴ می‌توان دید که بیانگر اثر متقابل غیرمعنی‌دار بین دو فاکتور اسید و زمان ماند است و نشان می‌دهد که دو عامل به شکل مستقل از هم اثر کرده‌اند.

جدول(۵): نتایج آزمون HSD برای اثر چهار سطح اسیدسولفوریک در بخاردهی

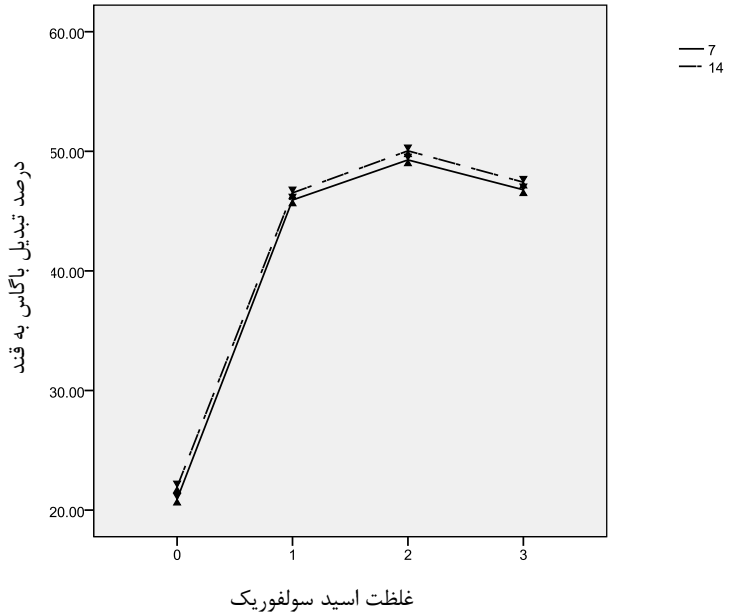
	غلظت اسیدسولفوریک	تعداد	زیرگروه ۱	زیرگروه ۲	زیرگروه ۳
TukeyHSD[a]	٪۰	۶	A ۲۱/۴۲۳۳		
	٪۱	۶		B ۴۶/۲۲۵۷	
	٪۳	۶		B ۴۷/۱۰۰۱	
	٪۲	۶			C۴۹/۶۶۰۰

α=۰/۰۵ [a]



شکل (۴): اثر چهار سطح اسیدسولفوریک در بخاردهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

از آنجا که در دو سطح زمان ماند ۷ و ۱۴ دقیقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، زمان ماند ۷ دقیقه را می‌توان زمان بهینه اعلام کرد. در شکل ۵ درصد تبدیل به قند در دو زمان ماند به طور جداگانه آورده شده است. بازدهی این روش نسبت به روش قبل پایین‌تر بود که البته با نتایج حاصل از تحقیقات مک میلان (۱۹۹۴)، هسو (۱۹۹۶)، اباتزوقلو و همکاران (۱۹۹۲) و بلکاسمی و همکاران (۱۹۹۱) هماهنگ بود.



شکل (۵): اثر دو زمان ماند بخاردهی بر درصد تبدیل باگاس به قند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

درصد تبدیل پیش‌تیمار باگاس نیشکر با پرتودهی میکروویو روش مناسب‌تری نسبت به بخاردهی می‌باشد. در این پیش‌تیمار (البته با فرضیات در نظر گرفته شده در این تحقیق) بیشترین قند استحصال شده مربوط به پیش‌تیمار پرتودهی با توان ۸۵۰ وات در زمان ماند ۱۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به شکل های ۱ و ۳ در بهترین حالت بعد از هیدرولیز درصد تبدیل باگاس به قند ۵۷/۲ می‌باشد. البته با توجه به شکل‌های حاصل از HPLC به‌نظر می‌رسد، از آن‌جا که پیش‌تیمار پرتودهی میکروویو بیشتر بر شکستن ساختار سلولز و همی‌سلولز اثر می‌گذارد، تلفیق پیش‌تیمار پرتودهی میکروویو با پیش‌تیماری که بر لیگنین ماده لیگنوسلولزی اثر بگذارد نتیجه بهتری می‌دهد.

سپاس‌گزاری

در پایان لازم می‌دانیم از مرکز محترم تحقیقات مهندسی استان فارس و به‌خصوص سرکار خانم مهندس فرشادفر و خانم دکتر عباسی به‌خاطر یاری‌های بی‌دریغشان در تأمین مواد و تجهیزات مورد نیاز پژوهش، نهایت ادب و سپاس را به عمل آوریم.

منابع مورد استفاده

سرشار م، ۱۳۸۴. **بررسی و تدوین فناوری تولید الکل از مواد سلولزی و تولید در مقیاس پایلوت**. پژوهشکده مهندسی جهاد کشاورزی.

Abatzoglou, N., E. Chornet, I. Belkacemi and R. Overend, 1992. *Phenomenological kinetics of complex systems:* The development of a generalized severity parameter and its application to lingo cellulosics fractionation. ChemEngSci 47:1109–1122.

Aden, A., M. Ruth, K. Ibsen, J. Jechura, K. Neeves, J. Sheehan, K. Wallace, L. Montague, A. Slayton and J. Lukas, 2002. *Ligno-cellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, NREL/TP-510-32438.

Alvira, P., E. Tomas, M. Ballestros and M.J. Negro, 2010. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis* :A review, Bioresource Technol, 101(13) 4851-4861.

Belkacemi, K., N. Abatzoglou, R. Overend and E. Chornet, 1991.*Phenomenological kinetics of complex systems:* Mechanisticconsiderations in the solubilization of hemicellulose following aqueous/steam treatments. IndEngChem Res, 30:2416–2425.

Bil, Z., T. Yanl and Y. Wen, 2009. *Bagasse cooking with pretreatment of microwave radiation.* Light Industry and Food Engineering, 04:412-420.

Cardona, C.K. and O.J. Sanchez. 2007. *Fule ethanol production: Process design trends and integration oppotunities.* Biofule:98:132-145.

Chen, H.W and K.H. Shen, 2011. *Disruption of sugarcane bagasse lignocellusic structure by means of dilute sulfuric acid pretreatment with microwave-assisted heating.* Applied energy, 88:2726-2734.

Clark, A.J., 1997. *Biodegradation of cellulose: Enzymeologyand Biothechnology.* Technomic Publishing Co,Lanchester.3:234-248. Cardona, C.K. and O.J. Sanchez. 2007. Fule ethanol production: Process design trends and integration oppotunities. Biofule:98:132-145.

Duff, S.J.B., W.O. Murray. 1996. Bioconversion of forest product industry waste collulosic to fuel ethanol: A review, Bioresource Technol, 55: 1-33.

Gan, Q., S.J. Allen and G. Taylor. 2003. *Kinetic dynamics in heterogeneous enzymatic of cellulose:* A review, An experimental study and mathematical modeling. Process Biochemistry, 38:1003-1018.

Hamelinck, N.C., G.V. Hooijdonk and A.P. Faaij. 2005. *Ethanol from lignocellulosic biomass:* Techno-economic performance in short-, middle- and long-term. Biomss and Bioenergy, 28:384-410.

Hsu, T.A. 1996. *Pretreatment of biomass, In handbook on bioethanol, production and utilization,* Wyman CE, Taylor & Francis, Washington, DC,179–212.

Holtzapple, M.T.,R. Macrae, R.K. Robinson and M.J. Sadler. 1993. *Chapters 'cellullose', 'hemicelluloses', and 'lignin'.In encyclopedia of food science, food technology, and nutrition.* Academic Press, London, 758–767, 2324–2334, 2731–2738.

Imai, M., K. Ikari and I. Suzuki. 2004. *High performance hydrolysis of sellulose using mixed cellulose species and ultrasonication pretreatment.* Biochemical Eng J, 17:79-83.

Keshwani, D.R., J.J. Cheng. 2010. *Microwave-based alkali pretreatment of switchgrass and coastal bermudagrass for bioethanol broduction.* Biotechnology Progress, 26(3): 644-652.

Lynd, L.R., C.E. Wyman and T.U. Gerngross. 1999. *Biocommodity engineering.* BiotechnolProg 15:777–793.

McMillan, J.D., M.E. Himmel, J.O. Baker and R.P. Overend, 1994. *Pretreatment of lingo cellulosic biomass, in enzymatic conversion of biomass for fuels production.* American Chemical Society, Washington, DC, 292–324.

Mosier, N., C.E. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y Lee, M Holtzappleand MLadisch. 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass.* BioresTechnol 96:673–686.

Saad, W.B.M. 2011. *Kinetic modeling and simulation of steam explosion and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse,* Biomss.172:98-105.

Taherzadeh, M.J and K. Karimi. 2008. *Pretreatment of lingo-cellulosic wastes to improve ethanol andbiogas production.* International Journal of Molecular Science, 9(9):697-709.

US Department of Energy. 2007. *Annual Energy Review 2006 Report DOE/EIA-0384,* June, Energy Information Administration, Washington, DC.

Wooley, R., M. Ruth, J. Sheehan, K. Ibsen, H. Majdeski and A. Galvez. 1999. *Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis:* current and futuristic scenarios. National Renewable Energy Laboratory, Golden Co.128:486-491.

Zhao, X., L. Zhang and D. Liu. 2006. *Comparative study on chemical pretreatment methods for improving enzymatic digestibility of croton weed stem.* Bioresour Technol, 99:3729–3736.

Comparison of Microwave and Steam Effects as Pretreatments on Sugarcane Bagasse Enzymatic Hydrolysis

N. Eghra[1*], Y. Ajabshirchi[1], M. Sarshar[2] and S.S. Alavi[1]

Received:18 Oct 2013 Accepted:17 Agu 2014
[1]Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
[2]Department of Chemistry, University of Shiraz, Shiraz, Iran.
*Corresponding author: E-mail: nazy_e4000@yahoo.com

Abstract

Bioethanol production from agricultural residues is one of the promising methods, since the raw materials are abundant and unvalued. Pretreatment is the most important step in bioethanol production. In this study, saccharification percentage of steam and microwave pretreatment methods was investigated in sugarcane bagasse. Microwave pretreatment was studied in two factors of microwave power and retention time (170, 450 and 850 W and 2, 6 and 10 min, respectively). In addition, steam pretreatment was surveyed in two factors of sulfuric acid containing and retention time (0, 1, 2 and 3% and 7 and 14 min, respectively). After hydrolysis, saccharification percentage was up to 49.6% for steam pretreatment and 57.2% for microwave pretreatment, respectively, compared to 20.85% in non-pretreated bagasse. So, microwave was called the more effective pretreatment in this study.

Keywords: Enzymatic hydrolysis, Pretreatment Microwave, Steam, Sugarcane bagasse.