نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴، ص ۴۳-۳۵

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 1, Spring - Summer 2015, p. 35-43

مقایسه اثر پیش‌تیمار ازن‌دهی با پرتودهی میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی باگاس نیشکر

نازنین اقر[۱]- یحیی عجب شیرچی[۲*]- محمد سرشار[۳]- سید سعید علوی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۷

چکیده

یکی از نوید بخش‌ترین روش‌های تولید بیواتانول استفاده از بقایای کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه است. در این مطالعه پرتودهی میکروویو و ازن‌دهی به‌عنوان دو نوع پیش‌تیمار هیدرولیز آنزیمی 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 ازن‌دهی قرار گرفت با توجه به دو فاکتور در مدت زمان ماند در چهار سطح ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت و رطوبت باگاس در سه سطح ۴۰٪ ، ۵۰٪ و ۶۰٪ در حین ازن‌دهی، مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نتایج حاکی از آن است که در پیش‌تیمار میکروویو در سطح اطمینان ۹۹٪ اثر توان میکروویو همچنین زمان ماند دارای اختلاف معنی‌دار است. در پیش‌تیمار ازن‌دهی در سطح اطمینان ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری میان چهار زمان ماند بود. اثر درصد رطوبت در سه سطح مورد بررسی با سطح اطمینان ۹۹٪ ، تفاوت معنی‌داری نشان داد. شرایط بهینه برای استحصال قند در پرتودهی میکروویو در توان ۸۵۰ وات و زمان ماند ۱۰ دقیقه حاصل شد و در ازن‌دهی در تیمار ۵۰٪ رطوبت و ۳/۵ ساعت صورت پذیرفت. درصد تبدیل باگاس به قند از ۲۰/۸۵٪ (بدون پیش‌فرآوری)، به ۵۷/۲٪ بعد از پرتودهی میکروویو و به ۶۷/۰۶٪ بعد از ازن‌دهی در شرایط بهینه رسید و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ازن‌دهی به‌عنوان پیش‌تیمار مقدار معینی باگاس را به قند بیشتری تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ازن‌دهی، بخاردهی، بیواتانول، پیش‌تیمار، هیدرولیز

مقدمه

توسعه‌ی 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 محیط زیست و سلامت مردم دارد. لذا به‌عنوان یک ضرورت، باید بهترین راه حل برای اجرای آن یافت شود.

مواد سلولزی بیشترین ماده آلی دور ریخته شده بر روی سطح کره زمین می‌باشد، که می‌تواند منبع بسیار خوبی برای تولید انرژی زیستی باشد (Clark, 1997). سلولز را می‌توان در منابعی مانند مواد چوبی، کاغذ، منسوجات و ضایعات کشاورزی یافت. سلولز پلیمری است که از واحدهای مونومری انیدرو گلوکز تشکیل شده است (Lynd *et al.*, 1999; Imai *et al.*, 2004).

از جمله‌ی خصوصیات مواد سلولزی این است که نامحلول هستند و نیز دارای ترکیباتی هستند که در برابر هیدرولیز مقاومت می‌کنند. به‌طور کلی 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 (Gan *et al.*, 2003). سلولز در طبیعت بیشتر به‌صورت ترکیبات لیگنوسلولزی وجود دارد که شامل سه جزء سلولز، همی‌سلولز و لیگنین می‌باشد (Hamelinck *et al.*, 2005). سلولز از جمله پلیمرهای خطی پلی‌ساکارید می‌باشد که ساختار سخت و کریستالی دارد، ساختار سلولز به‌گونه‌ای است که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی[5] تشکیل شده است. همی‌سلولز هم مانند سلولز از جمله پلیمرهای پلی‌ساکارید می‌باشد که البته از زنجیره‌های کوتاه‌تر پلی‌ساکارید تشکیل شده و پیوندی میان سلولز و لیگنین است (Imai *et al.*, 2004; Gan *et al.*, 2003). برخلاف سلولز که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی تشکیل شده است، همی‌سلولز علاوه بر قند شش کربنی دارای زنجیره‌ی قند پنج کربنی[6] نیز می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های اساسی

۱و۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استادیار گروه شیمی، دانشگاه شیراز
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد
(*- نویسنده مسئول: (Email: yajabshir@tabrizu.ac.ir

5- Hexose
6- Pentose

Archive of SID
www.SID.ir

سلولزها و همی‌سلولزها در این است که برخلاف سلولز که دارای ساختار کریستالی می‌باشد، همی‌سلولزها بدون شکل[1] هستند (Gan *et al.*, 2003)، بنابراین به‌دلیل این شکل ساختاری غیر بلوری 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 (Hamelinck *et al.*, 2005).

فرآیند کلی تبدیل سلولز به اتانول مشتمل بر چهار مرحله اصلی می‌باشد (Mosier *et al.*, 2005): ۱- آماده‌سازی یا پیش‌تیمار، ۲- هیدرولیز، ۳- تخمیر، ۴- جداسازی و خالص‌سازی.

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 (Holtzapple *et al.*, 1993) و پایین آوردن بهره‌وری در فرآیند می‌شود. بنابراین قبل از این‌که مواد اولیه سلولزی وارد فرآیند هیدرولیز شود می‌بایستی برای هضم این فرآیند آماده شود. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت آماده سازی به‌کار برده می‌شود که در این مطالعه به مقایسه دو روش پرتودهی میکروویو و ازن‌دهی پرداخته می‌شود.

در روش پرتودهی، زیست توده در محلول شیمیایی مستغرق می‌شود، سپس بسته به توان اشعه در مدت زمان ۵ تا ۲۰ دقیقه آماده سازی می‌شود (Keshwani and Cheng, 2010). در آزمایش‌های ابتدایی مواد قلیایی به‌عنوان مناسب‌ترین ماده شیمیایی قابل استفاده در این روش مشخص شده است (Zhao *et al.*, 2008). در بررسی‌های بعدی هیدروکسید سدیم مؤثرترین ماده شیمیایی در میان مواد قلیایی شناخته شد.

محققینی تیمار پرتودهی را یک بار بر کاغذ فیلتر شده بدون لیگنین و بار دیگر بر کاغذ حاوی مقداری لیگنین انجام دادند (Taherzadeh and Karimi, 2008). نتایج نشان داد، هیچ‌گونه بهبودی در هیدرولیز نمونه اول حاصل نشده در حالی‌که در نمونه دوم هیدرولیز رضایت بخش بوده است. بنابراین برای حصول نتیجه بهتر توصیه شده بود که پرتودهی حتماً در حضور لیگنین صورت پذیرد. پژوهشگرانی به کاربرد پرتوی میکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار باگاس پرداخته‌اند (Bil *et al.*, 2009). 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 پیش‌تیمار پرتو میکروویو فرکانس 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. اثر پرتودهی میکروویو بر روی باگاس نیشکر مستغرق در اسید سولفوریک در سه دمای ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه‌ی سلسیوس در دو زمان ماند ۵ و ۱۰ دقیقه بررسی گردید (Chen *et al.*, 2011). تحقیقات آن‌ها نشان داد که با افزایش دما ساختار باگاس به طرز محسوسی به هم ریخته، ورم کرده و تکه تکه می‌شود. همچنین از آنجا که تفاوت معنی‌داری بین دو زمان ماند نبود، دمای ۱۹۰ درجه‌ی سلسیوس و زمان ماند ۵ دقیقه بهینه گزارش شد.

در روش ازن‌دهی از آنجا که ازن یک اکسیدکننده بسیار قوی است، اثر لیگنین زدایی قوی‌ای از خود نشان می‌دهد (Sun and Cheng, 2002)، در آب قابل حل است و به‌راحتی در دسترس است (García-Cubero *et al.*, 2009). استفاده از این گاز، هم از نظر مقدار و هم از نظر تنوع استفاده اساساً افزایش یافته، برای مثال در تیمار فاضلاب شهری و صنعتی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Amet *et al.*, 2005; Coca *et al.*, 2005). از این ماده به‌طور گسترده در بی‌رنگ کردن خمیر کاغذ در صنایع کاغذسازی استفاده می‌شود و کارایی لیگنین زدایی مؤثری از خود نشان می‌دهد (Roncero *et al.*, 2003; Shatalov *et al.*, 2008). از گاز ازن می‌توان برای تغییر ساختار لیگنین و همی‌سلولز در مواد سلولزی نظیر ساقه گندم، کاه چاودار، تفاله نیشکر، علوفه سبز، بادام زمینی و چوب کاج و صنوبر و نیز خاک اره استفاده نمود. در این روش تغییر ساختار ماده محدود به لیگنین می‌باشد و همی‌سلولز به مقدار کمی تغییر ساختار می‌یابد، همچنین مقدار زیادی ازن مورد نیاز است که باعث افزایش قیمت فرآیند می‌شود (Sun and Cheng, 2002). البته از جمله مزایای استفاده از این روش این است که علاوه بر حذف لیگنین به‌طور کاملاً مؤثر، مواد مسموم کننده‌ی جریان پایین دستی فرآیند، تولید نمی‌شود و واکنش‌ها در دمای اتاق انجام می‌شوند (Iglesias, 2002; Silverstein *et al.*, 2007).

ازن با ترکیبات شیمیایی که پیوند دوگانه دارند و همچنین گروه‌هایی که چگالی الکترون بالایی دارند، به شدت واکنش می‌دهد. بنابراین بخشی که در ازن‌دهی مواد لیگنوسلولزی اکسید می‌شود لیگنین است. زیرا بین دو جزء کربن لیگنین پیوند دوگانه (C=C) وجود دارد. ازن به لیگنین حمله می‌کند و ترکیبات شیمیایی قابل حل که وزن مولکولی کمتری دارند، مانند اسید فرمیک و اسید استیک را آزاد می‌کند که در این صورت می‌تواند منجر به کاهش PH از ۶/۵ به ۲ شود (Iglesias, 2002; Silverstein *et al.*, 2007).

پژوهشگرانی در تحقیقات خود نشان دادند، در صورتی که خاک اره صنوبر در معرض ازن قرار گیرد کسری از لیگنین خارج می‌شود و میزان لیگنین از ۲۹٪ به ۸٪ کاهش می‌یابد همچنین بازده هیدرولیز آنزیمی را از ۵٪ به ۵۷٪ می‌رساند (Vidal and Molinier, 1988).

محققین در مطالعات خود تأثیر ۵ پارامتر (محتوی رطوبت، اندازه

1- Amorphous

Archive of SID

www.SID.ir

ذرات، مقدار ازن، نوع زیست‌توده و نرخ جریان ازن) را روی کاه گندم و چاودار در راکتور با بستر ثابت بررسی کردند (García-Cubero *et al.*, 2009). در تمام تیمارها محتوای لیگنین قابل حل در اسید کاهش یافته و بازده هیدرولیز آنزیمی کاه گندم و چاودار پس از اعمال تیمار ازن به‌ترتیب از ۲۹٪ و ۱۶٪ به ۸۸/۶٪ و ۵۷٪ رسید. محتوای رطوبتی و نوع زیست توده بیشترین تأثیر معنی‌دار را در هیدرولیز مواد تحت تیمار ازن گذاشت.

اثر ازن بر علف‌های ساحلی برمودا به‌عنوان پیش‌تیمار به‌منظور استحصال قند بعد از هیدرولیز آنزیمی بررسی گردید (Lee *et al.*, 2010). آن‌ها علف‌های ساحلی برمودا را با غلظت‌های متفاوت ازن (۱/۸٪ تا ۲۶/۴ w/w٪) در دمای اتاق تیمار کردند و نتیجه گرفتند که تجزیه لیگنین و حلالیت همی‌سلولز با افزایش غلظت ازن افزایش می‌یابد، همچنین به‌دلیل واکنش بیشتر با آلدئیدهای آروماتیک PH پایین‌تر می‌آید. مثلاً در غلظت ۲۶/۴ w/w٪ ازن PH از ۵/۲ به ۲/۶ رسید که نشانگر تولید فنولیک اسیدها از لیگنین می‌باشد. تیمار ازن‌دهی بر علف‌های ساحلی برمودا تبدیل سلولز به قند را از ۳۰٪ در غلظت ۴/۵٪ ازن، به ۵۳٪ در غلظت ۲۶/۴٪ ازن رسانید.

از ازن به‌عنوان پیش‌تیمار ساقه پنبه برای تبدیل زیست توده به اتانول استفاده گردید (Silverstein *et al.*, 2007). آن‌ها در آزمایش‌های خود مخلوط ساقه پنبه و آب را در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس در مدت زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به‌طور پیوسته در معرض ۱۰٪ w/v گاز ازن قرار دادند، اما تأثیر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نکردند که احتمالاً می‌تواند به‌دلیل مدت زمان ماند پایین و یا غلظت کم ازن و یا نحوه نفوذ ازن در زیست توده باشد. بنابراین تحقیقات بیشتری برای بهینه کردن عملکرد ازن‌دهی نیاز است.

هدف این مطالعه، مقایسه اثر پرتودهی میکروویو و ازن‌دهی 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 (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) باگاس نیشکر انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

باگاس نیشکر استفاده شده در جریان آزمایش، از کارخانه تولید شکر کشت و صنعت هفت تپه‌ی اهواز تهیه شد. کلیه آزمایشات در مرکز تحقیقات مهندسی استان فارس انجام گرفت. پس از شستشوی اولیه و خشک شدن در دمای ۴۵ سلسیوس و خرد شدن به‌وسیله آسیاب BOSCH با توان ۶۰۰ وات، ذرات باگاس بین دو الک با اندازه مش ۶ (قطر ذرات عبوری ۳/۳۵ میلی‌متر) و اندازه مش ۲۰ (اندازه ذرات عبوری ۰/۸۵ میلی‌متر) جمع‌آوری شده، در یخچال با ۴۰- درجه‌ی سلسیوس نگه داشته شد. در مرحله بعد ۱۰ گرم باگاس با ۸۰۰ میلی‌لیتر محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم در یک بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و بعد از ۱۰ دقیقه پیش گرمایش با دمای ۸۰ درجه‌ی سلسیوس در سه مدت زمان مانند مورد نظر (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) با سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات در میکروویو قرار گرفت. میکروویو مورد استفاده مدل ال‌جی ۱۲۵۰ وات با شماره مدل 5201/00 WR بود.

در روش ازن‌دهی به‌عنوان پیش‌تیمار، سه فاکتور رطوبت ماده، غلظت ازن و مدت زمان در معرض بودن ماده به‌عنوان اساسی‌ترین فاکتورها بیان می‌شود. از آن‌جا که در تحقیقاتی که توسط (García-Cubero *et al.*, 2009) انجام گرفته بود بین ۳۰٪ و ۴۰٪ رطوبت ۴۰٪ بهینه گزارش شده بود و زمان ماند ۲/۵ ساعت ثابت در نظر گرفته شده بود، در این تحقیق سه رطوبت۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ و همچنین مدت زمان ماند ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت به‌عنوان تیمار در نظر گرفته شد. غلظت ازن اگرچه در مطالعات قبلی تا ۲۷۰۰۰ ppm بهینه گزارش شده بود، اما در این آزمایش‌ها به‌دلیل امکانات محدود دستگاه سنجش میزان ازن[1] به ۱۰۰۰۰ ppm اکتفا شد و در آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد.

بنابراین در هر آزمایش ۱۰ گرم باگاس با درصد رطوبت مورد نظر (۴۰٪، ۵۰٪ یا ۶۰٪) که این رطوبت از طریق اضافه کردن آب به باگاس با توجه به رابطه (۱) حاصل شده و به مدت ۲۴ ساعت جهت تثبیت رطوبت در ظرف سربسته قرار گرفته، توسط رطوبت سنج RADWAG مدل MAC 50/1، رطوبت اندازه گرفته شد.

$$W=\frac{w_w}{w_w+w_b} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، W درصد رطوبت مورد نظر، W_W وزن آب اضافه شده به باگاس، W_b وزن باگاس خشک می‌باشند.

بعد از اطمینان از حصول رطوبت مورد نظر، باگاس در محفظه دستگاه تولید ازن[2] قرار گرفته، درب دستگاه به‌خوبی مهر و موم شده[3] و میزان تولید ازن روی ۱۰۰۰۰ ppm به طور دستی تنظیم شد و در طول مدت آزمایش غلظت ازن بین ۹۹۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ باقی ماند (از آن‌جا که باگاس در طول آزمایش ازن مصرف می‌کند، جهت جلوگیری از افت غلظت ازن به‌طور مدام باید میزان آن کنترل شود).

1- Ozone analyzer
2- Ozone generator
۳- گاز ازن بسیار سمی و بسیار خطرناک است و در صورت در معرض قرار گرفتن می‌تواند ضررهای جبران ناپذیری را به‌همراه داشته باشد. میزان مجاز این گاز در محیط ppm ۳ است، این در حالی است که در این آزمایشات غلظت ازن ۱۰۰۰۰ppm در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

پس از طی مدت زمان مورد نظر (۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت) گاز داخل محفظه توسط خنثی‌کننده[1] و کمپرسور تخلیه شده و نمونه‌ها از محفظه برداشته شدند.

بعد از شستشوی باگاس پیش فرآوری شده به‌منظور خارج کردن 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 (نسبت هر یک از آنزیم‌ها دقیقاً مطابق با دستورالعمل شرکت Novozymes انتخاب شد) و pH محلول به ۵ رسانیده شد و به مدت ۷۲ ساعت در اینکوباتور شیکردار در دمای ۴۵ درجه‌ی سلسیوس قرار گرفت. بعد از فیلتراسیون با فیلتر ۰/۲۲ میکرومتر، نمونه‌ها جهت سنجش مقدار قند محلول به دستگاه HPLC مجهز به IR Detector[2] و با استفاده از ستون VETEX EH-002 با فاز متحرک اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال در دمای ۷۵ درجه‌ی سلسیوس با دبی ۰/۴ میلی‌لیتر بر دقیقه، تزریق شد. پس از تجزیه و تحلیل نمودارهای حاصل از HPLC میزان قند کل (گلوکز و زایلوز) در هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید.

پیش‌تیمار پرتودهی در قالب یک آزمایش فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد که اثرات دو فاکتور توان اشعه میکروویو و زمان‌های ماند هر کدام در سه سطح مورد مطالعه قرار گرفت، همچنین پیش‌تیمار ازن‌دهی به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل ۴×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد که اثرات دو فاکتور میزان رطوبت در سه سطح و زمان ماند در چهار سطح مورد مطالعه قرار گرفت. این آزمایش‌های فاکتوریل در سه تکرار انجام شدند. در مرحله دوم از آزمون سخت‌گیرانه توکی (HSD) به‌عنوان آزمون مقایسه میانگین تک تک سطوح استفاده شد تا تفاوت‌های جزئی‌تر میانگین‌ها بررسی شود. در کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل اثر پرتودهی میکروویو به‌عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش‌تیمار میکروویو در سه مدت زمان ماند و در سه توان پرتودهی به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۱).

تحلیل اثر فاکتور زمان ماند پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

در مرحله اول تجزیه واریانس داده‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه زمان ماند (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) بود (جدول ۱). از بین این سه تیمار، بالاترین درصد تبدیل قند به زمان ماند ۱۰ دقیقه مربوط شد (شکل ۱). از آنجا که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات (Bil *et al*., 2009; Chen *et al.,* 2011) که زمان ماند بهینه را ۵ دقیقه گزارش کرده بودند مغایر بود، در مرحله دوم از آزمون توکی (HSD) استفاده شد (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که میانگین درصد تبدیل قند در سه زیر گروه کاملاً مجزا دسته بندی می‌شود، بنابراین همچنان بهترین زمان ماند ۱۰ دقیقه اعلام شد.

تحلیل اثر فاکتور توان پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

اثر سه سطح توان در سطح اطمینان ۹۹٪ حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات بود (شکل ۲). 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 (جدول ۳). نتایج حاکی از آن بود که این سه سطح توان در سه زیر گروه جداگانه قرار می‌گیرد، بنابراین توان ۸۵۰ وات در پرتودهی میکروویو انتخاب شد و این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات (Bil *et al*., 2009) هماهنگی داشت.

تحلیل اثر ازن‌دهی به‌عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش تیمار ازن‌دهی در چهار مدت زمان ماند و در سه سطح رطوبت باگاس در حین ازن‌دهی، به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۴).

تحلیل اثر فاکتور زمان ماند ازن بر درصد تبدیل باگاس به قند

در مرحله اول تجزیه و تحلیل داده‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ حاکی از اختلاف معنی‌داری میان چهار زمان ماند بود (جدول ۴). اگرچه در نتایج به‌دست آمده توسط (García-Cubero *et al.*, 2009) زمان ماند ۲/۵ ساعت ثابت در نظر گرفته شده بود، اما احتمالاً در این تحقیق به‌دلیل این‌که غلظت ازن کمتر بوده (۱۰۰۰۰ ppm) مدت زمان ماند بیشتر، مؤثر واقع شد (شکل ۳).

در مرحله دوم آزمون توکی HSD[3] انجام شد، نتایج به‌دست آمده (جدول ۵) حاکی از آن است که بین دو زمان ۳/۵ و ۴/۵ ساعت حتی

1- Destructor
2- Infrared
3- Honestly significant difference

Archive of SID

www.SID.ir

در فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و هر دو در یک زیر گروه قرار می‌گیرند، بنابراین بهترین زمان ماند ۳/۵ ساعت اعلام شد.

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

Table1- Analysis of variance related to studied factors affecting sugar percentage after microwave treatment

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of Square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F	معنی داری Sig.
توان Power	378.310	2	189.155	396.394**	0.000
زمان ماند Retention time	3938.682	2	1969.341	4127.988	0.000
توان×زمان ماند Power×retention time	137.030	4	34.258	71.808**	0.000
خطا Error	8.587	18	0.577		
کل Total	40190.680	27			

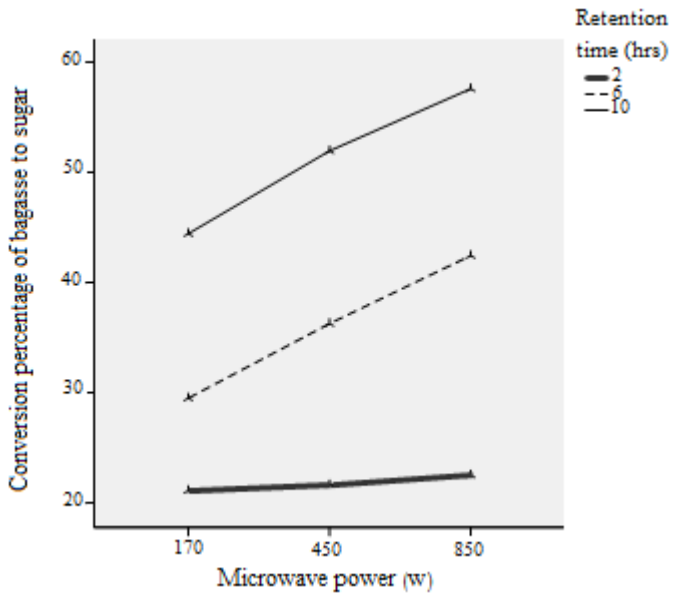
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 5% of probability level

جدول۲- نتایج آزمون HSD (توکی) برای مقایسه میانگین سه سطح زمان ماند انتخاب شده در پیش‌تیمار پرتودهی ($\alpha = 0.05$)

Table 2- HSD result (Tukey) for means comparison of three retention time in microwave treatment ($\alpha = 0.05$)

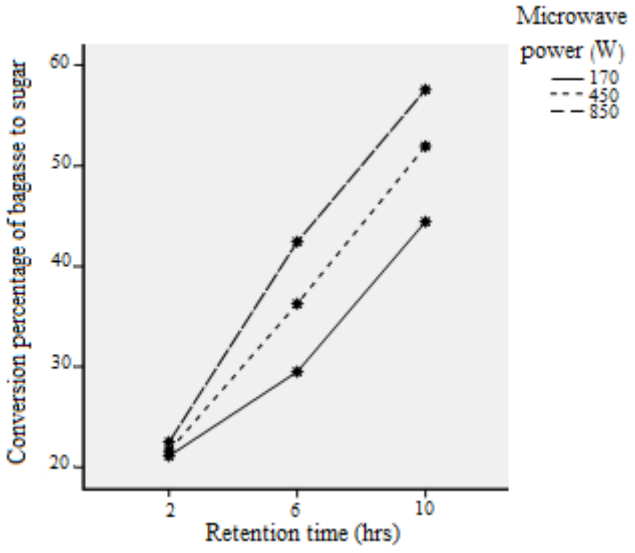
زمان ماند Retention time	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
2	9	A 21.7411		
6	9		B 36.0678	
10	9			C 51.3211



شکل ۱- اثر سه زمان ماند در پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.1. Effect of retention time on conversion percentage of bagasse to sugar

www.SID.ir



شکل۲- اثر سه سطح توان پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.2. Effect of microwave power on conversion percentage of bagasse to sugar

جدول۳- نتایج آزمون HSD برای اثر سه سطح توان انتخاب شده در پیش‌تیمار اشعه دهی ($\alpha = 0.05$)

Table 3- HSD result (Tukey) for means comparison of three microwave power treatment ($\alpha = 0.05$)

توان (وات) Power	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
170	9	A31.6800		
450	9		B 36.6100	
850	9			C 40.8400

جدول ٤- جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه روی درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از ازن‌دهی

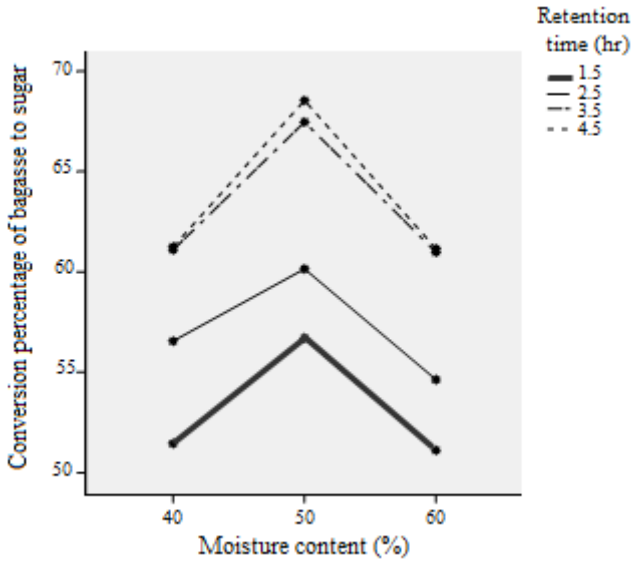
Table 4- Analysis of variance related to studied factors affecting sugar percentage after ozonolysis treatment

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of Square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F	معنی داری Sig.
زمان ماند Retention time	696.591	3	232.197	542.351**	0.000
درصد رطوبت Moisture percentage	283.743	2	141.871	331.374**	0.000
درصد رطوبت×زمان ماند Moisture percentage × time	12.238	6	2.040	4.764**	0.002
خطا Error	10.275	24	0.428		
کل Total	127408.297	36			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 5% of probability level

www.SID.ir



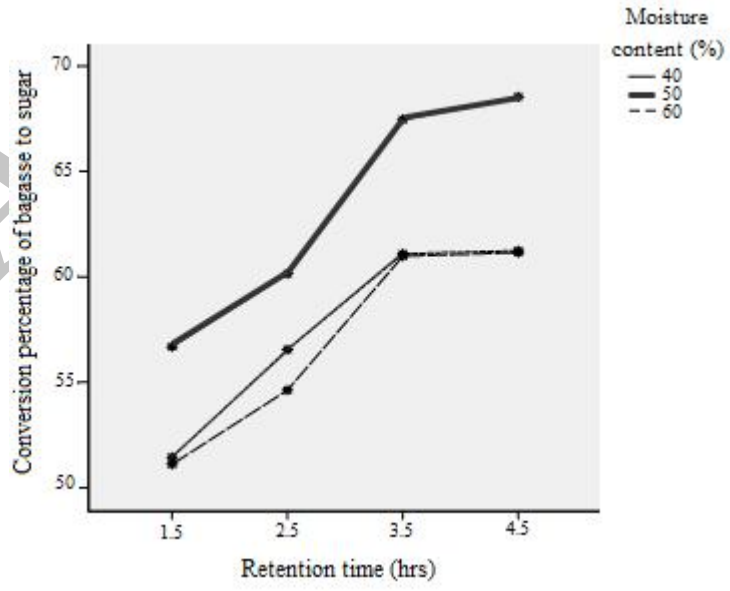
شکل ۳- اثر چهار زمان ماند ازن بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.3. Effect of Retention time of ozonolysis on conversion percentage of bagasse to sugar

جدول ۵- نتایج آزمون HSD برای اثر چهار سطح زمان ماند انتخاب شده در پیش‌تیمار ازن‌دهی ($\alpha = 0.05$)

Table 5- HSD result (Tukey) for means comparison of four ozonolysis treatment ($\alpha = 0.05$)

زمان ماند (ساعت) Retention time (hr)	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
1.5	9	A53.0835		
2.5	9		B 57.1180	
3.5	9			C 63.1827
4.5	9			C 63.6467



شکل ٤- اثر سه سطح رطوبت باگاس در طی ازن‌دهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.4. Effect of moisture during ozonolysis on conversion percentage of bagasse to sugar

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل اثر فاکتور درصد رطوبت باگاس در طی ازن‌دهی بر درصد تبدیل به قند

تجزیه و تحلیل‌ها حاکی از آن است که اثر درصد رطوبت در سه سطح مورد بررسی با سطح اطمینان ۹۹٪ تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (جدول ۶). همچنین بیشترین تبدیل در درصد رطوبت ۵۰٪ صورت گرفت (شکل ۴)، این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات (García-Cubero *et al.*, 2009) که ۴۰٪ را رطوبت بهینه اعلام کردند، یکسان نبود. این تفاوت را می‌توان ناشی از عدم بررسی آن‌ها در سطح ۵۰٪ رطوبت باگاس دانست. بنابراین بهترین رطوبت باگاس در طی ازن‌دهی ۵۰٪ گزارش شد.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که پیش‌تیمار باگاس نیشکر با ازن‌دهی درصد تبدیل قند بیشتری می‌دهد، روش مناسب‌تری نسبت به پرتودهی میکروویو می‌باشد. در این پیش‌تیمار بیشترین قند استحصال شده مربوط به پیش‌تیمار ازن‌دهی با رطوبت ۵۰٪ در زمان ماند ۳/۵ ساعت می‌باشد. درصد تبدیل باگاس به قند از ۲۰/۸۵٪ (بدون پیش‌فرآوری)، در بهترین حالت بعد از پیش تیمار ازن‌دهی به ۶۷/۰۶٪ رسید.

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 به‌عمل آوریم.

منابع

1. Amat, A. M., A. Arques, M. A. Miranda, and F. López. 2005. Use of ozone and/or UV in the treatment of effluents from board paper industry. Chemosphere 60: 1111-1117.
2. Bil, Z., T. Yanl, and Y. Wen. 2009. Bagasse cooking with pretreatment of microwave radiation. Light Industry and Food Engineering 04: 412-420.
3. 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.
4. Clark, A. J. 1997. Biodegradation of cellulose: Enzymeology and Biothechnology. Technomic Publishing Co, Lanchester, Pennsylvania.
5. Coca, M., M. Peña, and G. González. 2005. Variables affecting efficiency of molasses fermentation waste water ozonization. Chemosphere 60: 1408-1415.
6. 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.
7. García-Cubero, M. T., G. González-Benito, I. Indacoechea, M. Coca, and S. Bolado. 2009. Effect of ozonolysis pretreatment on enzymatic digestibility of wheat and rye straw. Bioresource Technology 100: 1608-1613.
8. 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.
9. 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.
10. Iglesias, S. C. 2002. Degradation and biodegradability enhancement of nitrobenzene and 2,4-dichlorophenol by means of advanced oxidation processes based on ozone. PhD Thesis. Faculty of Chemistry. University of Barcelona, Catalanes, Spain.
11. Imai, M., K. Ikari, and I. Suzuki. 2004. High performance hydrolysis of sellulose using mixed cellulose species and ultrasonication pretreatment. Biochemical Engineering Journal 17: 79-83.
12. 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.
13. Lee, M. J., and H. Jamal. 2010. Effect of ozone and autohydrolysis pretreatment on enzymatic digestibility on costal bermoda grass. Bioresources 5 (2): 1084-1101.

Archive of SID

www.SID.ir

14. Lynd, L. R., C. E. Wyman, and T. U. Gerngross. 1999. Biocommodity engineering. Biotechnol Progress 15: 777-793.
15. Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y. Y. Lee, M. Holtzapple, and M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology 96: 673-686.
16. Roncero, M. B., A. L. Torres, J. F. Colom, and T. Vidal. 2003. TCF bleaching of wheat straw pulp using ozone and xylanase. Part A: paper quality assessment. Bioresource Technology 87: 305-314.
17. Shatalov, A. A., H. Pereira, and L. Arundo. 2008. New perspectives for pulping and bleaching: Ozone-based TCF bleaching and organosolv pulps. Bioresource Technology 99: 472-478.
18. Silverstein, R. A., Y. Chen, R. R. Sharma-Shivappa, M. D. Boyette, and J. Osborne. 2007. Acomparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. Bioresource Technology 98: 3000-3011.
19. Sun, Y., and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology 83: 1-11.
20. Taherzadeh, M. J., and K. Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production. International Journal of Molecular Science 9 (9): 697-709.
21. Vidal, P. F., and J. Molinier. 1988. Ozonolysis of lignin, improvement of digestibility of poplar sawdust. Biomass 16 (1): 1-17.
22. Wooley, R., M. Ruth, J. Sheehan, K. Ibsen, H. Majdeski, and A. Galvez. 1999. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economic sutilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis: Current and futuristic scenarios. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Laboratory Operated by Midwest Research Institute, Battelle, Bechtel.
23. Zhao, X., L. Zhang, and D. Liu. 2008. Comparative study on chemical pretreatment methods for improving enzymatic digestibility of croton weed stem. Bioresource Technology 99: 3729-3736.

Archive of SID

www.SID.ir