

مقایسه اثر پیش تیمار از ندهی با پرتو دهی 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 پرتو دهی میکروویو و از ندهی به‌عنوان دو نوع پیش تیمار هیدرولیز آنزیمی بر روی باگاس نیشکر اعمال شد. بعد از هیدرولیز، توانایی استحصال قند با توجه به دو فاکتور توان پرتو دهی 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 پیش تیمار از ندهی 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 از ندهی، مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نتایج حاکی از آن است که در پیش تیمار میکروویو در سطح اطمینان ۹۹٪ اثر توان میکروویو همچنین زمان ماند دارای اختلاف معنی‌دار است. در پیش تیمار از ندهی 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 پرتو دهی میکروویو در توان ۸۵۰ وات و زمان ماند ۱۰ دقیقه حاصل شد و در از ندهی 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 پرتو دهی میکروویو و به ۶۷/۰۶٪ بعد از از ندهی در شرایط بهینه رسید و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت از ندهی به‌عنوان پیش تیمار مقدار معینی باگاس را به قند بیشتری تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: از ندهی، بخاردهی، بیواتانول، پیش تیمار، 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، همی سلولز و لیگنین می‌باشد (Hamelinck et al., 2005). سلولز از جمله پلیمرهای خطی پلی ساکاریدی می‌باشد که ساختار سخت و کریستالی دارد، ساختار سلولز به‌گونه‌ای است که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی^۵ تشکیل شده است. همی سلولز هم مانند سلولز از جمله پلیمرهای پلی ساکاریدی می‌باشد که البته از زنجیره‌های کوتاه‌تر پلی ساکاریدی 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، همی سلولز علاوه بر قند شش کربنی دارای زنجیره‌ی قند پنج کربنی^۶ نیز می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های اساسی

۱ و ۲ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی مکانیک

بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳ - استادیار گروه شیمی، دانشگاه شیراز

۴ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد

(Email: yajabshir@tabrizu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

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 به راحتی در دسترس است (Garcia-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

سلولزها و همی‌سلولزها در این است که برخلاف سلولز که دارای ساختار کریستالی می‌باشد، همی‌سلولزها بدون شکل^۱ هستند (Gan et al., 2003)، بنابراین به دلیل 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 بر گرفته 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 خلص‌سازی.

مواد لیگنوسلولزی به دلیل 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 (Holtzaple et al., 1993) و پایین آوردن بهره‌وری در فرآیند می‌شود. بنابراین قبل از این که مواد اولیه سلولزی وارد فرآیند هیدرولیز شود می‌بایستی برای هضم این فرآیند آماده شود. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت آماده‌سازی به کار 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 آماده‌سازی 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 حالی که 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

مش ۶ (قطر ذرات عبوری ۳/۳۵ میلی متر) و اندازه مش ۲۰ (اندازه ذرات عبوری ۰/۸۵ میلی متر) جمع آوری شده، در یخچال با ۴۰- درجه‌ی سلسیوس نگه داشته شد. در مرحله بعد ۱۰ گرم باگاس با ۸۰۰ میلی لیتر محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم در یک بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته شد و بعد از ۱۰ دقیقه پیش گرمایش با دمای ۸۰ درجه‌ی سلسیوس در سه مدت زمان ماند مورد نظر (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) با سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات در میکروویو قرار گرفت. میکروویو مورد استفاده مدل ال جی ۱۲۵۰ وات با شماره مدل WR 5201/00 بود.

در روش ازن دهی به عنوان پیش تیمار، سه فاکتور رطوبت ماده، غلظت ازن و مدت زمان در معرض بودن ماده به عنوان اساسی ترین فاکتورها بیان می شود. از آن جا که در تحقیقاتی که توسط (García- 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 رطوبت ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ و همچنین مدت زمان ماند ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. غلظت ازن اگرچه در مطالعات قبلی تا ۲۷۰۰۰ ppm بهینه گزارش شده بود، اما در این آزمایش ها به دلیل امکانات محدود دستگاه سنجش میزان ازن^۱ به ۱۰۰۰۰ ppm اکتفا شد و در آزمایش ها 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 سر بسته قرار گرفته، توسط رطوبت سنج RADWAG مدل MAC 50/1، رطوبت اندازه گرفته شد.

$$W = \frac{W_w}{W_w + W_b} \quad (1)$$

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

بعد از اطمینان از حصول رطوبت مورد نظر، باگاس در محفظه دستگاه تولید ازن^۲ قرار گرفته، درب دستگاه به خوبی مهر و موم شده^۳ و میزان تولید ازن روی ۱۰۰۰۰ ppm به طور دستی تنظیم شد و در طول مدت آزمایش غلظت ازن بین ۹۹۰۰ تا ۱۰۰۰ ppm باقی ماند (از آن جا که باگاس در طول آزمایش ازن مصرف می کند، جهت جلوگیری از افت غلظت ازن به طور مدام باید میزان آن کنترل شود).

ذرات، مقدار ازن، نوع زیست توده و نرخ جریان ازن) را روی کاه گندم و چاودار در راکتور با بستر ثابت بررسی کردند (García- 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 به ترتیب از ۲۹٪ و ۱۶٪ به ۸۸/۶٪ و ۵۷٪ رسید. محتوای رطوبتی و نوع زیست توده بیشترین تأثیر معنی دار را در هیدرولیز مواد تحت تیمار ازن گذاشت.

اثر ازن بر علف های ساحلی برمودا به عنوان پیش تیمار به منظور استحصال قند بعد از هیدرولیز آنزیمی بررسی گردید (Lee et al., 2010). آن ها علف های ساحلی برمودا را با غلظت های متفاوت ازن (۱/۸٪ تا ۲۶/۴ w/w) در دمای اتاق تیمار کردند و نتیجه گرفتند که تجزیه لیگنین و حلالیت همی سلولز با افزایش غلظت ازن افزایش می یابد، همچنین به دلیل واکنش بیشتر با آلدئیدهای آروماتیک PH پایین تر می آید. مثلاً در غلظت ۲۶/۴ w/w ازن PH از ۵/۲ به ۲/۶ رسید که نشانگر تولید فنولیک اسیدها از لیگنین می باشد. تیمار ازن دهی بر علف های ساحلی برمودا تبدیل سلولز به قند را از ۳۰٪ در غلظت ۴/۵٪ ازن، به ۵۳٪ در غلظت ۲۶/۴٪ ازن رسانید.

از ازن به عنوان پیش تیمار ساقه پنبه برای تبدیل زیست توده به اتانول استفاده گردید (Silverstein et al., 2007). آن ها در آزمایش های خود مخلوط ساقه پنبه و آب را در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس در مدت زمان های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به طور پیوسته در معرض ۱۰٪ w/v گاز ازن قرار دادند، اما تأثیر قابل ملاحظه ای مشاهده نکردند که احتمالاً می تواند به دلیل 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 ازن دهی نیاز است.

هدف این مطالعه، مقایسه اثر پرتو دهی میکروویو و ازن دهی از نظر میزان شکستن ساختار لیگنوسولولزی ماده اولیه و در دسترس آنزیم قرار دادن سلولز و همی سلولز و تبدیل آن به گلوکز می باشد. این مطالعه در سطح آزمایشگاهی انجام شد؛ ماده اولیه مورد استفاده (از آن جهت که زمین های وسیعی در خطه جنوب غربی ایران زیر کشت نیشکر می رود و در نتیجه فراوانی تفاله نیشکر بعد از استحصال قند یکی از معضله های آن منطقه محسوب می شود) باگاس نیشکر انتخاب شد.

مواد و روش ها

باگاس نیشکر استفاده شده در جریان آزمایش، از کارخانه تولید شکر کشت و صنعت هفت تپه ای 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 به وسیله آسیاب BOSCH با توان ۶۰۰ وات، ذرات باگاس بین دو الک با اندازه

1- Ozone analyzer

2- Ozone generator

۳- گاز ازن بسیار سمی و بسیار خطرناک است و در صورت در معرض قرار گرفتن می تواند ضررهای جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد. میزان مجاز این گاز در محیط ۳ ppm است، این در حالی است که در این آزمایشات غلظت ازن ۱۰۰۰۰ ppm در نظر گرفته شده است.

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 از ندهی به عنوان پیش تیمار

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

تحلیل اثر فاکتور زمان ماند از ندهی 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 به دست آمده توسط (García-Cubero et al., 2009) زمان ماند ۲/۵ ساعت ثابت در نظر گرفته شده بود، اما احتمالاً در این تحقیق به دلیل این که غلظت از ندهی کمتر بوده (۱۰۰۰۰ ppm) مدت زمان ماند بیشتر، مؤثر واقع شد (شکل ۳).

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

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

بعد از شستشوی باگاس پیش فرآوری شده به منظور 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^۲ 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.

پیش تیمار 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 پیش تیمار از ندهی به صورت یک آزمایش فاکتوریل ۳×۴ 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 سخت گیرانه توکی (HSD) به عنوان 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 به عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش تیمار 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٪

- 1- Destructor
- 2- Infrared

3- Honestly significant difference

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

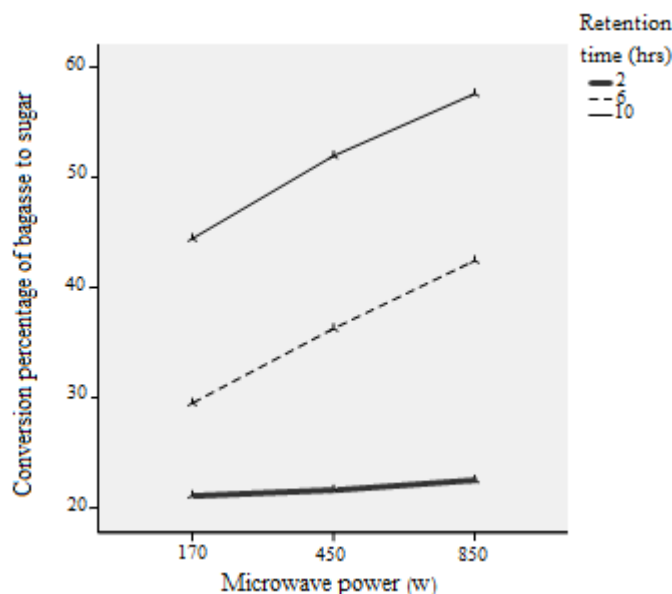
جدول ۱- جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از پرتو دهی میکروویو
Table1- Analysis of variance related to studied factors affecting sugar percentage after microwave treatment

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			

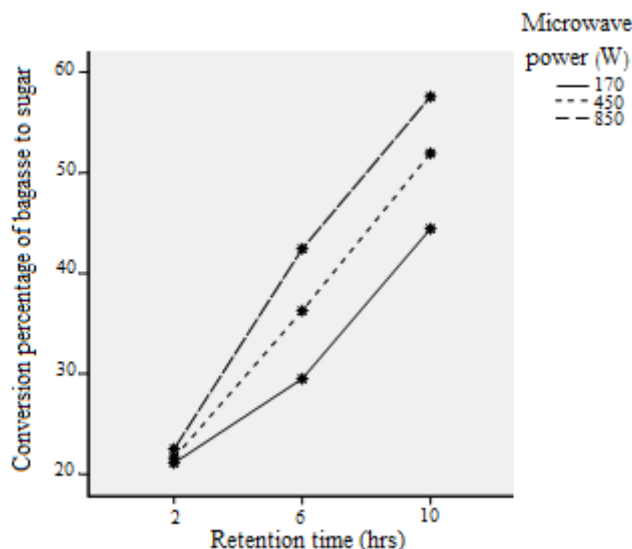
** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد
 ** Significant at 5% of probability level

جدول ۲- نتایج آزمون HSD (توکی) برای مقایسه میانگین سه سطح زمان ماند انتخاب شده در پیش تیمار پرتو دهی ($\alpha = 0.05$)
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 پرتو دهی بر درصد تبدیل باگاس به قند
Fig.1. Effect of retention time on conversion percentage of bagasse to sugar



شکل ۲- اثر سه سطح توان پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

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

جدول ۳- نتایج آزمون HSD برای اثر سه سطح توان انتخاب شده در پیش تیمار 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	A 31.6800		
450	9	B 36.6100		
850	9	C 40.8400		

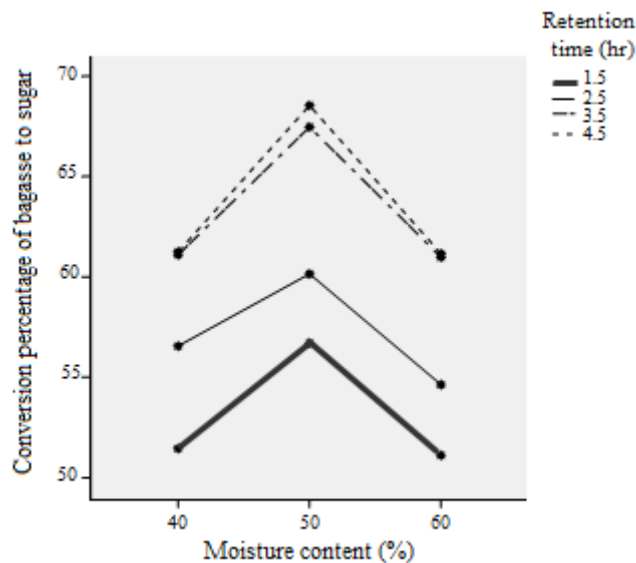
جدول ۴- جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه روی درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از از ندهی

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			

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 5% of probability level

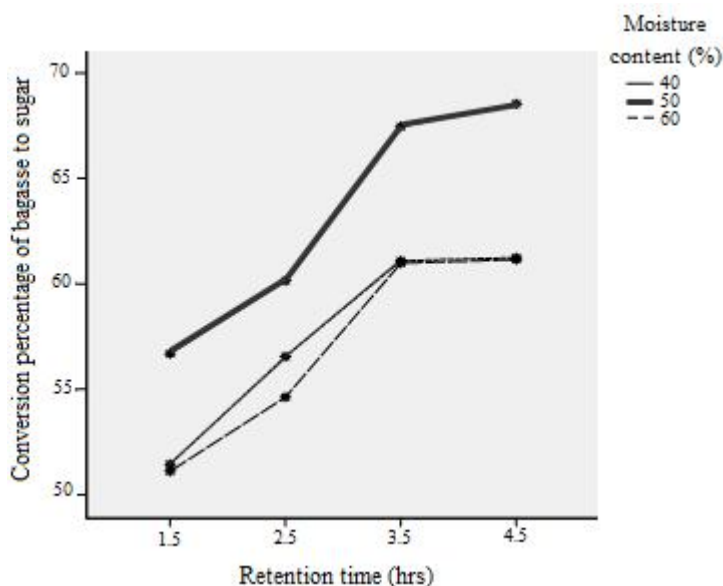


شکل ۳- اثر چهار زمان ماند از ن بر درصد تبدیل باگاس به قند

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 پیش تیمار از ندهی ($\alpha = 0.05$)
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 ۴- اثر سه سطح رطوبت باگاس در طی از ندهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

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

نتیجه‌گیری

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

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.

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 lignocellulosic 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 Biotechnology*. 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. Indacochea, 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. *Biomass and Bioenergy* 28: 384-410.
9. Holtzapple, M. T., R. Macrae, R. K. Robinson, and M. J. Sadler. 1993. Chapters 'cellulose', '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 cellulose 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 production. *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 bermuda grass. *Bioresources* 5 (2): 1084-1101.

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. A comparison 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 utilizing 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.