

بررسی آثار پیش‌استخراج بر خواص خمیر کاغذسازی و کاغذسازی باگاس در یک سیستم پالایشگاه زیستی

- ❖ **علی ایبض**؛ کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **یحیی همزه**؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **علی عبدالخانی**؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **سحاب حجازی**؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

امروزه پالایشگاه زیستی به بخشی از کارخانه‌های خمیر و کاغذ به موضوع روز برای محققانی تبدیل شده که در این زمینه پژوهش می‌کنند. در این تحقیق آثار پیش‌استخراج همی سلولزها بر فرایند خمیر و کاغذسازی از باگاس بررسی شده است. به همین علت، از روش خودهیدرولیز با آب داغ در دمای 140°C ، 155°C و 170°C به مدت ۱۰، ۲۰، و ۳۰ دقیقه استفاده و آثار پیش‌استخراج همی سلولزها بر خواص خمیر کاغذ حاصله بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش خودهیدرولیز با دمای 135°C به مدت ۳۰ دقیقه و 170°C درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه شرایط مناسبی را برای استخراج همی سلولزها فراهم می‌کند؛ به طوری که بازده استخراج و مقدار حذف هلو سلولز در این شرایط به ترتیب در حد ۸۶ و ۱۱ درصد بود. خمیرسازی از باگاس‌های پیش‌استخراج شده در سه قلیابیت فعال ۱۱، ۱۴، و ۱۷ درصد نشان داد که هنگام تولید خمیر با کاپای بالا، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج شده بیش از باگاس استخراج نشده است، ولی هنگام تولید خمیر قابل رنگ‌بری، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج نشده بیشتر است. برای تولید خمیر کاغذ رنگ‌بری شده، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج نشده و استخراج شده به ترتیب برابر با ۵۱/۱ و ۴۹/۳، و عدد کاپای این خمیرها به ترتیب برابر با ۱۹/۳ و ۱۸/۶ بود. به علاوه، خمیر کاغذ رنگ‌بری شده حاصل از باگاس استخراج شده خواص مقاومتی کمتری را نشان داد.

واژگان کلیدی: باگاس، پیش‌استخراج، پالایشگاه زیستی، خمیر کاغذ سودا، همی سلولزها.

مقدمه

زیست‌توده^۱ از منابع مهم انرژی‌های تجدیدشونده است و به هر موجود زنده‌ای که قابلیت رشد و نمو داشته باشد و بر مبنای قوانین طبیعت تقسیم شود، اطلاق می‌شود و جنگل‌ها، اجزای گیاهان، برگ‌ها، موجودات زنده اقیانوس‌ها، زائادات حیوانی، پسماندهای شهری و غذایی و... را شامل می‌شود. این مواد قابلیت ذخیره انرژی را در خود دارند. انرژی خورشیدی که در گیاهان ذخیره می‌شود نیز قابلیت تبدیل به انرژی را دارد. زیست‌توده در میان دیگر انواع منابع انرژی سهم بیشتر و بزرگ‌تری دارد.

امروزه، به جای استفاده از منابع انرژی‌های فسیلی، به استفاده از مواد لیگنوسلولزی - از مهم‌ترین منابع زیست‌توده در جهان - به عنوان پتانسیلی عظیم برای تولید محصولات با ارزش افزوده، مانند سوخت زیستی^۲ و مواد شیمیایی، توجه می‌شود [۱]. و با استقرار واحدهای پالایشگاه‌های زیستی در بخش‌های مختلف صنعتی از جمله کارخانه‌های خمیر و کاغذسازی می‌توان به این مهم دست یافت. بنا به تعریف، پالایشگاه زیستی مکانی است که در آن زیست‌توده به محصولات با ارزش افزوده مانند سوخت، انرژی، و مواد شیمیایی تبدیل می‌شود که در این زمینه بسیار مشابه پالایشگاه‌های نفتی است؛ با این تفاوت که به جای نفت به عنوان ماده خام از زیست‌توده استفاده می‌شود [۲]. با توجه به زیرساخت‌های اساسی در صنایع خمیرکاغذ، پالایشگاه زیستی، بخشی از کارخانه‌های خمیر و کاغذ محسوب می‌شود. مبنای پالایشگاه زیستی در صنایع خمیر و کاغذ، استخراج همی‌سلولزها قبل از فرایند خمیرسازی است. روش‌های متنوعی برای استخراج همی‌سلولزها مانند هیدرولیز اسیدی (اسید رقیق، اسید غلیظ)، هیدروترمال، خودهیدرولیز، اکسیداسیون تر، لیگنین‌زدایی، تیمار قلیایی، تیمار آهکی، پراکسید قلیایی، چرخه آمونیاکی^۳ (ARP)، و انفجار الیاف

آمونیاکی^۴ (AFEX) پیشنهاد شده که هر کدام معایب و مزایایی دارند. با توجه به نقش همی‌سلولزها در خمیرسازی و خواص کاغذ حاصل از خمیر، استخراج آن‌ها از مواد اولیه لیگنوسلولزی و استفاده از آن برای تولید محصولات جانبی، تأثیرات زیادی بر تمام جنبه‌های صنعت خمیر و کاغذ مثلاً خواص مواد اولیه از نظر تولید خمیر کاغذسازی، خواص کاغذ تولیدی، مانند کاهش مقاومت‌ها، و ویژگی آب و پساب و چرخه آب در کاغذسازی، خواهد داشت [۱، ۳، ۴]. بنابراین، با توجه به اهمیت این موضوع در حال حاضر و آینده، در این تحقیق به بخشی از تأثیرات استخراج همی‌سلولزها بر خواص خمیرسازی از باگاس، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع لیگنوسلولزی ایران، پرداخته می‌شود. در این تحقیق، از میان روش‌های نام‌برده شده برای استخراج، از روش خودهیدرولیز، به علت بازده بالا و کارایی مناسب و کاربرد متداول و نیز به این سبب که به صورت صنعتی قابلیت اجرا یافته [۲]، استفاده شد.

مواد و روش‌ها

باگاس استفاده‌شده در این تحقیق از باگاس منطقه خوزستان و با همکاری کارخانه کاغذسازی پارس تهیه شد که پس از جداسازی پیت و ناخالصی‌های دیگر مانند سنگ‌ریزه و... به کمک غربال در محوطه آزمایشگاه، برای خشک‌شدن پراکنده و سپس برای یکنواخت‌سازی رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد.

استخراج همی‌سلولزها

فرایند پیش‌استخراج باگاس با توجه به شرایط مندرج در جدول ۱ و با استفاده از دایجستر گرم‌شونده تهیه خمیر در روغن انجام شد.

بررسی و تعیین مقدار هولوسلولز و تعیین شرایط تیمار بهینه

در این روش ابتدا ۲/۵ گرم باگاس آسیاب‌شده با اندازه

1. Biomass
2. Biofuel
3. Ammonia Recycling Percolation
4. Ammonia Fiber Explosion

جدول ۱. شرایط پیش استخراج همی سلولزها از باگاس

شرایط استخراج	خودهیدرولیز
محلول استفاده شده	آب داغ
دما (°C)	۱۷۰، ۱۵۵، ۱۴۰
زمان (دقیقه)	۳۰، ۲۰، ۱۰

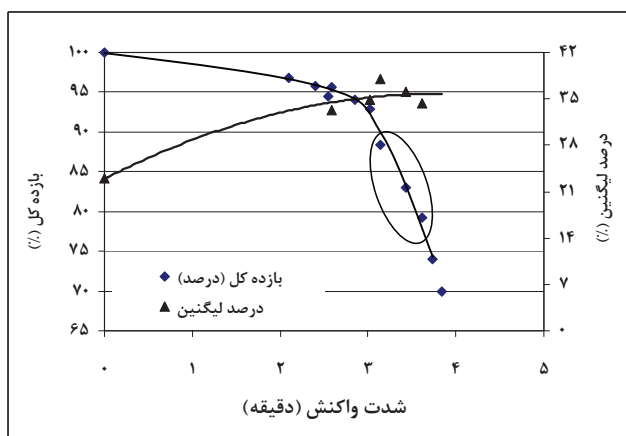
همکاران [۵] انجام شد. ساخت کاغذ دست ساز با توجه به دستورالعمل sp-۲۰۵-TAPPI انجام گرفت. مقاومت کششی بر اساس دستورالعمل om-TAPPI-T۴۹۴-۰۱، و مقاومت به ترکیدن بر اساس دستورالعمل T۴۰۳-om-۰۲ اندازه گیری شد.

نتایج

نتایج استخراج

نتایج حاصل از استخراج همی سلولزها با تیمارهای گوناگون، در جدول ۲، ارائه شده است. در این جدول، برای تعیین اثر متغیرهای دما، زمان، و pH محیط بر بازده استخراج، از عامل شدت واکنش استفاده شده که با فرمول ۱ محاسبه می شود. در این فرمول، t مدت زمان تیمار به دقیقه، و T دمای تیمار به درجه سلسیوس است. نتایج حاصل از این محاسبه و رسم نمودار بازده کل به صورت تابعی از عامل شدت تیمار در شکل ۱ ارائه شده است.

$$\text{Severity factor} = \text{Log}_{10} \left(t \times \exp \left[\frac{T-100}{14.75} \right] \right) \quad (1)$$



شکل ۱. روند تغییرات بازده و مقدار لیگنین باگاس در تیمار خودهیدرولیز در شرایط گوناگون

ذرات بین غربال با مش ۶۰-۴۰ به همراه ۸۰ میلی لیتر آب مقطر داغ و ۰/۵ میلی لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم (۸۰ درصد) در ظرف ۲۵۰ میلی لیتری قرار داده و ظرف در حمام بن ماری با دمای °C ۷۰ قرار داده شد. سپس، در هر یک ساعت، ۰/۵ میلی لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم به مخلوط اضافه شد. این کار ۶ تا ۸ ساعت ادامه یافت. در پایان، پس از یک شبانه روز، نمونه ها با آب مقطر شست و شو داده شد و پس از خشک شدن در اتو (دمای °C ۶۰) وزن مواد فیبری باقی مانده تعیین و درصد هولوسلولز محاسبه شد.

تولید خمیر کاغذ به روش شیمیایی سودا

برای تهیه خمیر از روش سودا با شرایط قلیابیت فعال ۱۱، ۱۴ و ۱۷ درصد بر مبنای وزن خشک باگاس، به مدت ۶۰ دقیقه و دمای °C ۱۶۵ استفاده شد و پس از شست و شوی خمیر، بازده و عدد کاپای خمیرهای تهیه شده مطابق با شرایط استاندارد تعیین شد. بعد از خمیرسازی، رنگبری خمیرهای منتخب با روش ECF طبق شرایط همزه و

جدول ۲. شرایط و نتایج حاصل از پیش‌استخراج همی سلولزها با روش تیمار با آب داغ

دما (°C)	زمان (دقیقه)	شدت واکنش (دقیقه)	بازده استخراج (درصد)	هولوسلولز (درصد)
باگاس خام	-	-	۱۰۰	۷۳/۴
	۱۰	۲/۱۰۴	۹۶/۸۵	-
۱۳۵-۱۴۰	۲۰	۲/۴۰۵	۹۰/۸۴	-
	۳۰	۲/۵۸۱	۸۶/۶۹	۶۶/۸
	۱۰	۲/۵۴۶	۹۴/۵۵	-
۱۵۰-۱۵۵	۲۰	۲/۸۴۷	۸۹/۰۳	-
	۳۰	۳/۰۲۳	۸۲/۹۱	۶۵/۲
	۱۰	۳/۱۳۵	۸۶/۴۱	۶۵
۱۷۰-۱۷۵	۲۰	۳/۴۳۶	۸۳/۰۶	۶۴
	۳۰	۳/۶۱۲	۷۹/۲۴	۶۵/۶

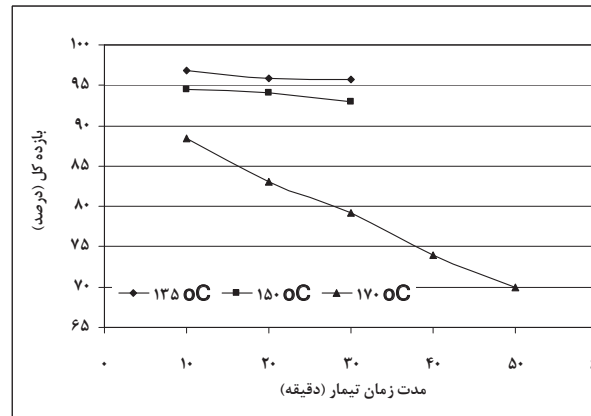
نمایان می‌شوند. مکانیسم هیدرولیز همی سلولزها در تیمار خودهیدرولیز به وسیله یون هیدرونیوم (H_3O^+) کاتالیز می‌شود. بدین صورت که اسیدهای منتج شده از هیدرولیز گروه‌های اورونیک و استیل ناشی از همی سلولزها، باعث کاتالیز هیدرولیز پیوندهای بین همی سلولزها و لیگنین و هیدرولیز کربوهیدرات‌ها می‌شود. به عبارت دیگر، در فرایند خودهیدرولیز، یون هیدرونیوم از اسید استیک به وجود می‌آید که یکی از محصولات استیل‌زدایی از همی سلولزهاست و به عنوان کاتالیز عمل می‌کند و سبب بهبود سینتیک واکنش می‌شود. طبق بررسی‌های لاواراک و همکاران (۲۰۰۲) در این فرایند نیز افزایش دما لایه‌های محافظ لیگنین اطراف الیاف همی سلولزها را نرم می‌کند و سبب می‌شود که اسید باعث هیدرولیز همی سلولزها به شکل پلی ساکاریدها و مونوساکاریدهای، به‌طور عمده زایلوز و آرابینوز، شود.

در شکل ۲ اثر دما و مدت زمان تیمار بر بازده کل نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در دمای °C ۱۳۵ و ۱۵۰، افزایش مدت زمان تیمار سبب کاهش بازده با شیب ملایمی می‌شود، ولی در دمای °C ۱۷۰، افزایش مدت زمان تیمار سبب کاهش شدید بازده استخراج می‌شود.

ملاحظه می‌شود که در تیمار با شرایط شدت کمتر از ۲/۵ دقیقه، مقدار بازده کاهش زیادی ندارد، اما با افزایش شدت تیمار، مقدار بازده سریع کاهش می‌یابد که با تخریب کربوهیدرات‌های باگاس مرتبط است. محققانی چون راسل و همکاران (۲۰۰۶)، یان و همکاران (۱۹۸۳)، و وال‌فورد (۲۰۰۸) ترکیب شیمیایی باگاس را شامل حدود ۵۰ درصد سلولز، ۲۵ درصد همی سلولزها، و ۲۵ درصد لیگنین برآورد کرده‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده اندازه‌گیری مقدار هولوسلولز در باگاس پیش‌استخراج شده، می‌توان نتیجه گرفت که در بازده استخراج حدود ۸۵-۹۰ درصد، حدود ۳۰-۵۰ درصد از همی سلولزهای باگاس بر اثر فرایند خودهیدرولیز استخراج شده است.

بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، تا حدود ۳۰ درصد از همی سلولزهای باگاس با روش خودهیدرولیز قابل استخراج‌اند؛ چنانکه یی‌چاو (۲۰۱۰) ۱۰ تا ۲۰ درصد همی سلولزهای باگاس، و گیمز (۲۰۰۶) بیش از ۵۵ درصد همی سلولزهای باگاس را با این روش استخراج کردند.

بر اساس تحقیقات یی‌چاو (۲۰۱۰)، کاروال‌هیرو (۲۰۰۸)، و لو (۲۰۱۱) در روش خودهیدرولیز، همی سلولزهای حل شده عمدتاً به صورت اولیگوساکاریدها



شکل ۲. اثر عوامل متغیر بر بازده کل استخراج باگاس در شرایط خودهیدرولیز

شرایط مناسب، تولید خمیر کاغذ با قلیابیت ۱۱، ۱۴، و ۱۷ درصد انجام شد که نتایج تهیه خمیر کاغذسازی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که قلیابیت ۱۱ درصد برای تولید خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری از باگاس استخراج شده و نشده مناسب نیست و عدد کاپای خمیر کاغذ تولید شده زیاد است. با افزایش قلیابیت تا ۱۴ درصد، اگرچه بازده قابل قبول افزایش و عدد کاپا کاهش می‌یابد، خمیر کاغذ تولید شده قابل رنگ‌بری نیست. بنابراین، قلیابیت ۱۷ درصد برای تهیه خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری از

با توجه به اینکه مواد لیگنوسلولزی پیش استخراج شده برای تولید خمیر کاغذ بررسی شد، شرایطی از استخراج انتخاب شد که در آن شرایط، سلولز باگاس تخریب نشده باشد. بنابراین، با توجه به مقدار بازده استخراج و مقدار هولوسلولز دمای ۱۳۵ °C در مدت زمان ۳۰ دقیقه و دمای ۱۷۰ °C در مدت زمان ۱۰ دقیقه برای پیش‌استخراج همی سلولزهای باگاس انتخاب شد.

نتایج خمیر کاغذسازی

در مرحله تولید خمیر کاغذ، برای تعیین حد بهینه و

جدول ۳. نتایج مراحل خمیر کاغذسازی

(اعداد ارائه شده داخل پرانتز در ستون بازده غربال مربوط به محاسبه بازده با در نظر گرفتن بازده استخراج و بر اساس باگاس تیمار نشده اولیه‌اند)

شماره تیمار	قلیابیت فعال ۱۱ درصد			قلیابیت فعال ۱۴ درصد			قلیابیت فعال ۱۷ درصد		
	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا
باگاس تیمار نشده	۴۵/۱۳	۱۰/۵۹	۴۰	۴۶/۲۷	۲/۴۶	۲۸/۴	۵۱/۱	۰	۱۹/۲۷
۱۳۵ °C	۵۲/۰۱	۶/۵۴	۵۴	۵۶/۳۰	۰/۱۷	۲۶/۶	۵۶/۹۱	۰	۱۸/۵۶
۳۰ دقیقه	(۴۵/۰۸)			(۴۸/۸۱)			(۴۹/۳۳)		
۱۷۰ °C	۵۷/۷۰	۰/۶۱	۵۷	۵۸/۰۹	۰/۰۷	۳۰	۵۸/۹۵	۰	۲۰/۷۵
۱۰ دقیقه	(۴۹/۲۷)			(۴۹/۶۰)			(۵۰/۳۴)		

بخش چشمگیری از همی سلولزها و تخریب سلولز در جریان تیمار استخراج همی سلولزهاست. خمیرهای تولیدشده با قلیابیت ۱۷ درصد برای رنگ‌بری انتخاب شدند. نتایج رنگ‌بری و خواص مقاومتی کاغذهای حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. در فرایند تولید، خمیرکاغذ پیش‌استخراج همی سلولزها، منجر به کاهش مقدار پیوندهای درون بافت کاغذهای ساخته‌شده از مواد اولیه تیمار شده می‌شوند و مقاومت‌های کاغذ کاهش می‌یابد.

باگاس استخراج‌شده و استخراج‌نشده توصیه می‌شود. در قلیابیت ۱۷ درصد، استخراج همی سلولزها سبب افزایش بازده خمیرسازی از باگاس پیش‌استخراج‌شده در کاپای یکسان در مقایسه با باگاس استخراج‌نشده می‌شود. این افزایش بازده نسبت به وزن خشک باگاس تیمار شده است، ولی نسبت به وزن خشک باگاس تیمار نشده، فرایند استخراج همی سلولزها سبب کاهش بازده خمیرسازی نسبت به وزن خشک باگاس اولیه مورد استفاده برای خمیرسازی شده (اعداد داخل پرانتز در ستون بازده) که به سبب خروج

جدول ۴. خواص مقاومتی و نتایج مقایسه‌ای رنگ‌بری خمیر کاغذهای تولیدشده با استفاده از باگاس استخراج‌نشده و استخراج‌شده در شرایط گوناگون

مقاومت به ترکیدن (KPa.m ² /g)	مقاومت به کشش (Nm/g)	روشنی خمیر (% ISO)	بازده رنگ‌بری بعد از توالی DE (درصد)	عدد کاپا (DE)	نوع خمیر
۳/۳۷	۶۵/۴۳	۸۳/۲۶	۹۵	۵/۶۸	حاصل از باگاس تیمار نشده ۱۳۵ °C
۲/۸۹	۵۴/۲	۸۵/۳۲	۹۷/۱	۴/۹۱	۳۰ دقیقه ۱۷۰ °C
۲/۳۶	۴۹/۲۹	۸۴/۷۸	۹۴/۳	۷/۶	۱۰ دقیقه

نتیجه‌گیری

تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد که طبق محاسبات انجام‌شده معلوم شد حدود ۳۰-۵۰ درصد از همی سلولزهای باگاس بر اثر فرایند خوددهیدرولیز استخراج شده است. نتایج حاصل از مرحله خمیرسازی مقدار بازده کمتری را در تمام نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد. اندازه‌گیری مقاومت‌های کاغذ نیز مقدار مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن کمتری را

در این تحقیق اثر پیش‌استخراج همی سلولزها به روش خوددهیدرولیز با استفاده از آب داغ در فرایند خمیر و کاغذسازی بررسی شد. در این مرحله از تحقیق، مشخص شد که استخراج همی سلولزها در دمای ۱۳۵ °C و مدت زمان ۱۰ دقیقه بهترین شرایط برای عمل پیش‌استخراج است. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار هولوسلولزها، استخراج مقدار چشمگیری از همی سلولزها را از باگاس‌های

که فرصت انجام دادن این پژوهش را در قالب طرح با قرارداد به شماره ۸۹۰۰۰۸۷۳ فراهم کردند، قدردانی می شود.

برای نمونه های تیمار شده در مقایسه با نمونه های تیمار نشده نشان داد.

سپاس گذاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور

References

- [1]. Cheng, H., Huaiyn, Z., Shiyu, F., and Lucian, L. A. (2010). Alkali extraction of hemicelluloses from depithed corn stover and effected on Soda-AQ pulping. *Bioresurces*, 11(1): 196-206.
- [2]. Carvalheiro, F., Luis, C., and Francisco, M. (2008). Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatment. *Journal of Scientific & Industrial Research*, (67): 849- 864.
- [3]. Al-Dajani, W., and Tschirne, U. (2008). Pre-extraction of hemicelluloses and subsequent Kraft pulping. Part I. Alkaline extraction. *TAPPI Journal*, 7(6): 3–8.
- [4]. Lei, Y., Liu, S., Li, J. and Sun, R. (2010). Effect of hot-water extraction on alkaline pulping of bagasse. *Biotechnolgy Advances*, (10): 10-16.
- [5]. Hamzeh, Y., Abyaz, A., Mirfatahi, M., and Abdokhani, A. (2011). Application of surfactants for improving soda pulping of bagasse. *Journal of Chemistry and Chemistry Engineering of Iran*, 29(2): 85-90.
- [6]. Rossell, C.E.V., Pradella J.G.C., Gomez E.O. and Squina Centro de Cienciae, F.M. (2006). Physical conditioning unit of the sugarcane biomass feedstock: Sugarcane bagasse and sugarcane trash-PPDP1, Workshop on Hydrolysis Route for Cellulosic Ethanol from Sugarcane, Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, February 10-11th, 2009 - Campinas - SP, Brazil, p 30.
- [7]. Youn, W, H., Edwin, A., and Ciegler, A. (1983). Chemical and physical properties of sugarcane bagasse irradiated with γ (gamma) Rays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (31): 34-38.
- [8]. Walford, SN. (2008). Sugarcane Bagasse: How Easy Is It To Measure Its Constituents?, *Proceedings. Congress of the South African Sugar Technologists Association*, (81): 266-273.
- [9]. Yichao, L. Shijie, L. Jiang, L., and Runcang, S. (2010). Effect of hot-water extraction on alkaline pulping of bagasse. *Biotechnology Advances*, (10): 10-16.
- [10]. Gamez, S., Gonzalez-Cabriales, J., Alberto Ramirez, J., Garrote, G., and Vazquez, M. (2006). Study of the hydrolysis of sugar cane bagasse using phosphoric acid. *Journal of Food Engineering*, (74): 78–88.
- [11]. Lu, H., Hu, R., Ward, A., E.Amidon, T., Liang, B., and Liu, S. (2011). Hot-water xtraction and its effect on soda pulping of aspen woodchips. *Biomass & Bioenergy*, (1): 10-16.
- [12]. Lavarack, B.P., Gri(nb), G.J., and Rodmanc, D. (2002). The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicellulose to produce xylose, arabinose, glucose and other products. *Biomass and Bioenergy*, (23): 367–380.