نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۵، ص ۳۹۵-۳۸۴

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 2, Fall - Winter 2016, p. 384-395

ارزیابی پارامترهای مؤثر در جداسازی الیاف ساقه استبرق به روش ماشینی

نازیلا طربی[۱]- حسین موسی زاده[۲*]- علی جعفری[۳]- جلیل تقی زاده طامه[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳

چکیده

درختچه استبرق که به وفور در مناطق گرمسیر ایران یافت می‌شود، در ساقه الیافی دارد که با مزایایی چون مقاومت بالا، داشتن لطافت و درصد بالای سلولز (۷۵ درصد)، پتانسیل استفاده در ساخت کامپوزیت‌ها را دارا است. امروزه استحصال این الیاف مطابق شیوه سنتی انجام می‌شود که امری مشکل و هزینه‌بر است. بنابراین در این پژوهش با در نظر گرفتن لزوم حفظ ساختار الیاف، روشی ماشینی برای جدایش این الیاف ارائه می‌شود که اساس کار آن مبتنی بر جدایش پوست ساقه با عبور اجباری از بین چند جفت تیغه است. ارزیابی عملکرد این ماشین در سه رطوبت (۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد برمبنای تر) و شش سرعت تغذیه انجام گرفت. در رطوبت بیش از ۷۵ درصد شیره از محل گره‌ها جاری شده و در رطوبت زیر ۵۵ درصد پوست خشک شده، به ساقه می‌چسبد که در هر دو صورت امکان جدایش الیاف نیست. بیشترین بازده جدایش الیاف در رطوبت ۷۵ درصد با سرعت ۴۰ دور بر دقیقه تقریباً برابر ۹۵ درصد بود. میانگین ظرفیت تغذیه ساقه به داخل ماشین در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد به‌ترتیب تقریباً برابر ۴۶، ۳۷ و ۲۸ کیلوگرم بر ساعت بوده و از حدود ۲۲ کیلوگرم ساقه با رطوبت ۷۵ درصد، یک کیلوگرم الیاف استحصال می‌شود. میانگین حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم ساقه در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد به‌ترتیب برابر ۱/۶۴، ۱/۷۰ و ۱/۸۵ وات برگرم در سرعت ۴۵ دور بر دقیقه بود. علت افزایش توان مصرفی بر واحد جرم با کاهش رطوبت، سفت شدن و چسبیدن پوست به ساقه و در نتیجه سخت‌تر جداشدن آن است.

واژه‌های کلیدی: استبرق، استحصال ماشینی، الیاف، ساقه

مقدمه

الیاف‌های طبیعی به‌واسطه داشتن ویژگی‌هایی مانند چگالی کم، مقاومت مخصوص بالا، در دسترس بودن و تجدیدپذیر بودن به‌عنوان ماده تقویت‌کننده، به‌ویژه در ساخت کامپوزیت‌های ترموپلاستیک، مورد توجه محققان و صنعتگران در سرتاسر جهان می‌باشند (Tajvidi *et al.*, 2006; Cristaldi *et al.*, 2010). استبرق با نام علمی *کالوتروپیس*[۴] که به وفور در مناطق گرمسیر ایران یافت می‌شود، دارای دو نوع الیاف است: ۱) الیاف داخل میوه استبرق که به الیاف تار کوتاه معروف است و ۲) الیافی در پوست ساقه که به علت طول زیاد آن در مقایسه با الیاف میوه، به الیاف تار بلند استبرق شهرت دارد که در این مقاله مد نظر بوده و پتانسیل استفاده در ساخت مواد صنعتی از جمله کامپوزیت‌ها، عایق‌ها و منسوجات را دارا است (Reddy and Yang, 2009). استبرق گیاهی است درختچه‌ای، همیشه سبز، دارای رشد سریع و قابلیت رشد در خاک‌هایی را دارد که از نظر مواد مغذی جزء خاک‌های فقیر محسوب می‌شوند. از مزایای این گیاه می‌توان به استفاده از روغن دانه موجود در میوه آن به‌عنوان منبع تولید سوخت بیودیزل (Holser and Loger, 2006; Phoo *et al.*, 2014) و تهیه عایق صوت (Hassani *et al.*, 2012) و نخ جراحی از الیاف آن (Mohamadi-zade *et al.*, 2012) اشاره نمود. الیاف پوست ساقه استبرق دارای مقادیر بالای بافت سلولزی (۷۵٪)، مقاومت، مدول الاستیسیته و طول بیشتر از الیاف پنبه بوده و در مقایسه با بسیاری الیاف دیگر مانند کتان و کنف شاهدانه[۵] دارای لطافت و نرمی بیشتری است (Reddy and Yang, 2007) که می‌تواند از الیاف ایده‌آل برای ساخت کامپوزیت‌ها باشد (Reddy and Yang, 2009). پیش‌تر از الیاف ساقه استبرق برای تهیه خمیر کاغذ و تولید پارچه (Schwartz, 1987; Varshney and Bhoi, 1988) استفاده می‌شد.

روش‌های متفاوتی برای استحصال الیاف موجود در ساقه‌های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران
۲- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: hmousazade@ut.ac.ir)
۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

4- *Calotropis*

5- Hemp

مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل روش‌های شیمیایی، مکانیکی، بخار پز کردن، خیساندن در آب و ترکیبی از روش‌های ذکر شده است. نکته حائز اهمیت در استحصال الیاف حفظ کیفیت الیاف جدا شده و بازده جدایش الیاف است. در بین روش‌های استحصال الیاف، روش‌های مکانیکی به دلیل حفظ کیفیت الیاف، ارزان بودن و نداشتن آلودگی نسبت به روش‌های شیمیایی و همچنین سریع بودن و استفاده آسان، بیش از روش‌های دیگر مورد توجه‌اند (Amel *et al*., 2013; Liu, 2005). به‌طوری‌که عموماً از پوست‌کن‌های نورد غلتکی برای جدایش الیاف کنف استفاده می‌شود (Webber *et al*., 2002; Kemble *et al*., 2002). هابسون و همکاران (۲۰۰۱) برای استحصال الیاف کنف شاهدانه از روش مکانیکی استفاده نمودند که توسط چین‌دادن ساقه و شانه‌زنی، الیاف را از ساقه جدا می‌نمود. کیفیت الیاف جدا شده با این روش مشابه کیفیت الیافی بود که توسط روش خیساندن از ساقه جدا شده بود، با این تفاوت که روش مکانیکی بدون خیساندن، سریع‌تر و دارای هزینه کمتر بود (Hobson *et al*., 2001). فونگ و همکاران (۲۰۱۲) مطالعاتی بر روی شیوه استحصال الیاف بامبو به‌عنوان ماده استحکام‌دهنده در تولید کامپوزیت‌ها انجام دادند. آنها عملکرد سه روش استحصال مکانیکی، بخاردهی و تیمار با استفاده از مواد شیمیایی را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که بازده جدایش الیاف در روش تیمار با استفاده از مواد شیمیایی دارای عملکرد مطلوبی نسبت به دو روش دیگر بود (Phong *et al*., 2012). در استحصال الیاف ساقه موز نیز از نوردهای غلتکی توام با روش بخار پز کردن ساقه در مواد شیمیایی استفاده شده است (Burneo, 2012; Ray *et al*., 2013).

امروزه استحصال الیاف ساقه استبرق مطابق شیوه سنتی انجام می‌شود. در شیوه سنتی، ساقه پس از خشک شدن به مدت هشت روز در آب خیسانده شده و الیاف با دست از پوست ساقه جدا می‌شود که بازده جدایش در این حالت بسیار ناچیز و برابر ۴ درصد از کل الیاف ساقه است (Varshney and Bhoi, 1988). در روش دیگر که در مناطق جنوب ایران رایج است، ساقه کاملاً خشک شده، با دست کوبیده می‌شود و الیاف از بین خرده چوب‌ها توسط مالش، به‌طور دستی جدا می‌شود. همان گونه که اشاره شد استحصال به روش سنتی، مشکل، طاقت فرسا و هزینه‌بر است که این امر عاملی مهم در عدم رغبت برای استفاده از این الیاف و در نتیجه ممانعت از توسعه این صنعت می‌باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق طراحی و ساخت ماشینی است که بتواند الیاف پوست ساقه را از ساقه استبرق جداکند تا بتوان از آن در صنعت برای کابردهای متفاوت استفاده نمود. همچنین بررسی عوامل تأثیرگذار در عملکرد ماشین مانند رطوبت ساقه و سرعت تغذیه، از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.

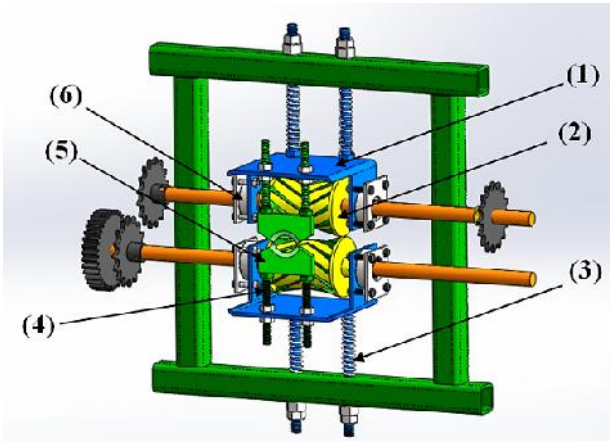
مواد و روش‌ها

در انتخاب نحوه جدایش الیاف از ساقه توجه به این نکته ضروری بود که الیاف در پوست ساقه قرار داشته، لذا برای خارج کردن آن نیازی به خردکردن و یا برش کل ساقه نیست. به‌علاوه گزینه خردکردن ساقه و جدایش الیاف تنها در رابطه با ساقه خشک امکان‌پذیر است چرا که ساقه تر تا حدی نرم بوده و در هنگام اعمال فشار به جای خردشدن له می‌شود. ساقه استبرق دارای بافت چوبی است که پوست حامل الیاف روی آن قرار دارد. وسط این بافت چوبی توخالی بوده و این فضای خالی توسط شیره پر شده است که با خرد شدن بافت چوبی شیره جاری می‌گردد. همچنین چوب ساقه استبرق در مقایسه با پوست آن ضخیم و محکم بوده و خردکردن و جدایش الیاف از بین تکه‌های پوست و چوب اگر ممکن هم باشد امری هزینه‌بر بوده و احتیاج به صرف انرژی نسبتاً زیادی دارد، بنابراین گزینه خردکردن کامل ساقه گزینه مناسبی نیست. نکته حائز اهمیت دیگر، بیشتر بودن مقاومت کششی الیاف از پوست ساقه است (در رطوبت ۷۵ تا ۵۵ درصد بر مبنای تر) که با کشش پوست و پاره شدن آن الیاف بدون تکه تکه شدن از داخل آن بیرون می‌آید (Tarabi *et al*., 2014). براساس مطالب عنوان شده، در این تحقیق جدایش الیاف به روش ماشینی بر مبنای جداکردن پوست ساقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

طراحی و ساخت ماشین

با توجه به اینکه الیاف در پوست ساقه استبرق قرار دارد مبانی استحصال الیاف براساس عبور ساقه از مقابل لبه‌های برنده و جدایش پوست می‌باشد. از آن‌جایی‌که قطر ساقه استبرق متغیر بوده و دارای گره‌های متعددی است، ماشین باید به صورتی طراحی شود که قابلیت تنظیم خودکار فاصله بین تیغه‌ها را براساس تغییر قطر ساقه داشته باشد، تا بدون گیرکردن ساقه پشت تیغه‌ها، با عبور ساقه از بین تیغه‌ها، پوست روی ساقه کشیده شده و در نهایت جداشده و به دلیل مقاومت بیشتر الیاف از پوست، تا حد مناسب برای پروسه حلاجی، الیاف از پوست بیرون کشیده شود. بنابراین در ماشین طراحی و ساخته شده، ساقه‌ها توسط دو غلتک که تحت فشار فنر قرار دارند و خلاف جهت هم چرخش می‌کنند به داخل تیغه‌ها تغذیه می‌شدند. شکل ۱ اجزای یکی از واحدهای جدایش را نشان می‌دهد. غلتک‌ها، تیغه‌ها و دیگر ضمائم برای حرکت همزمان به یک یوغ متصل هستند. بنابراین هنگامی که ساقه از بین غلتک‌ها عبور می‌کند، با تغییر قطر ساقه، غلتک‌ها به فنر فشار وارد کرده و به‌طور همزمان تیغه‌ها به اندازه قطر ساقه از هم فاصله می‌گیرند و با گردش غلتک‌ها ساقه به میان تیغه‌ها تغذیه می‌شود. غلتک‌ها باید بدون منحرف‌کردن ساقه‌ها، آنها را به وسط تیغه‌ها هدایت نمایند، به‌همین منظور بر روی غلتک‌ها آج‌هایی

با جهت مشخص تعبیه شد. نیرویی که غلتک‌ها به واسطه آج‌های روی آن به ساقه اعمال می‌کنند تشکیل دو مؤلفه نیرویی می‌دهد. یکی از مؤلفه‌ها در جهت حرکت ساقه بوده و ساقه را به سمت تیغه‌ها هدایت می‌کند و مؤلفه دیگر ساقه را در مرکز غلتک نگه‌داشته و از منحرف‌شدن آن جلوگیری می‌کند.



شکل ۱- اجزای واحد جدایش، ۱) یوغ ۲) غلتک آج‌دار ۳) فنر۴) پیچ تنظیم تیغه ۵) تیغه ۶) بلبرینگ و محفظه آن

Fig.1. Elements of extraction unit, 1) Yoke 2) Serrated roller 3) Spring 4) blade Adjustment screw 5) Blade 6) Bearing and its housing

یوغ از طریق دو پیچ بلند به قاب متصل شده‌است. این نوع اتصال مانع چرخش یوغ به طرفین می‌شود و حرکت آن را به سمت بالا و پایین محدود می‌کند. بنابراین تمامی قطعات متصل به یوغ از جمله بلبرینگ‌ها که به بدنه یوغ متصل‌اند و شفت‌های متحرک که از بین آنها عبور می‌کنند، قابلیت جابه‌جایی در جهت عمودی را دارند. لبه برنده تیغه‌ها نیم بیضی بوده و فاصله بین تیغه‌ها متناسب با قطر ساقه است. فاصله اولیه بین تیغه‌ها (زمانی‌که هنوز هیچ ساقه‌ای وارد فضای بین دو غلتک نشده است) توسط دو پیچ قابل تنظیم است و معمولاً برای عبور ساقه‌هایی با قطر بین ۱۰ میلی‌متر تا ۳۰ میلی‌متر تنظیم می‌شود. ضریب ثابت فنر مورد استفاده براساس فشار قابل تحمل در جهت عمود بر الیاف و حداقل نیروی لازم جهت برش پوست محاسبه و انتخاب شده است. نیروی فشاری قابل تحمل برای ساقه در جهت شعاعی یا عمود بر جهت الیاف و نیروی لازم برای برش پوست روی ساقه براساس تحقیقات پیشین در نظر گرفته شد (Tarabi *et al.*, 2014). با توجه به موازی بودن و برابر بودن جابه‌جایی هر یک از فنرها، نیروی معادل وارد بر ساقه برابر حاصل جمع نیرویی است که هر فنر اعمال می‌کند. بر همین اساس ضریب ثابت فنر برابر ۵ نیوتن بر میلی‌متر محاسبه شد. در عمل از فنری با ضریب ثابت ۲/۵ نیوتن بر میلی‌متر استفاده شد تا با انتخاب طول مناسب فنر میزان نیروی اعمالی به ساقه قابل تنظیم باشد. این مقدار سختی فنر عملکرد مطلوبی در هنگام عبور ساقه‌ها با قطرهای مختلف داشت به‌طوری‌که بدون له شدن و خرد شدن ساقه‌ها هنگام عبور از میان غلتک‌ها، عمل جدایش پوست توسط تیغه‌ها به‌طور مطلوب انجام شود.

برای جدایش کامل پوست، سه واحد جدایش به صورت سری در طراحی نهایی در نظر گرفته شد. در این ماشین علاوه بر جدایش پوست از روی ساقه، الیاف نیز تا حدی از پوست جدا می‌شدند. به‌طوری‌که با عبور ساقه از بین واحدها، پوست جدا شده از ساقه بین غلتک‌ها گیر افتاده و با کشیده شدن و پاره شدن پوست به واسطه حرکت ساقه، الیاف تا حدی از پوست جدا می‌شدند. میزان بیرون آمدن الیاف از پوست در اثر کشیده شدن به رطوبت ساقه بستگی دارد (شکل ۲-b و ۲-c). برای جدایش پوست در تمامی جهات، تیغه‌ها و غلتک‌های واحد جدایش دوم عمود بر جهت واحد اول نصب شدند و قبل از آن، یک واحد تغذیه که به سیستم انتقال توان متصل بود، تعبیه شد. شکل ۲ ماشین ساخته شده و همچنین ساقه را حین عبور از ماشین نشان می‌دهد.

توان مورد نیاز ماشین توسط موتور الکتریکی سه فاز با حداکثر توان ۱/۵ کیلووات با ۱۴۰۵ دور بر دقیقه تأمین شد. به منظور افزایش گشتاور، از گیربکسی حلزونی استفاده شد. توان مصرف شده (جریان مورد نیاز) در مدت عبور ساقه از داخل ماشین، توسط یک کلمپ متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. تنظیم دور موتور و تغییر سرعت چرخش غلتک‌ها توسط دستگاه اینورتور انجام شد و فرکانس مورد نظر براساس دور و فرکانس موتور و نسبت دنده گیربکس به سرعت دورانی تبدیل شد.

c b a

شکل۲–a) ماشین استحصال الیاف ساقه استبرق، b) واحدهای جدایش در حین عبور ساقه با رطوبت ۷۵ درصد c) عبور ساقه با رطوبت ۵۵ درصد

Fig.2. a) Extraction machine of calotropis stem fibers, b) Extraction units while passing stem with moisture content of 75%w.b. c) Stem passing with moisture content of 55% w.b.

ارزیابی عملکرد ماشین

در ارزیابی عملکرد ماشین، نمونه‌های مورد آزمایش از استان کرمان، شهرستان ریگان تهیه شدند و کلیه مراحل ساخت ماشین و ارزیابی عملکرد در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. قبل از تغذیه ساقه‌ها به داخل ماشین، کلیه برگ‌ها و گره‌های اضافی از روی ساقه حذف شدند. ساقه‌ها برای رسیدن به رطوبت‌های مورد آزمایش، در هوای آزاد قرار گرفتند و یک روز در میان رطوبت ساقه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت از روش‌های استاندارد توزین و خشک کردن در آون استفاده شد (ASABE, 2008). ساقه‌های با قطر بیش از ۲۸ میلی‌متر به دلیل داشتن بافت خشبی پوست و مناسب نبودن برای جدایش الیاف و همچنین بخش‌هایی از ساقه با قطر کمتر از ۱۰ میلی‌متر به دلیل مقاومت کم در برابر خم شدن و داشتن گره‌های متعدد مورد بررسی قرار نگرفتند. طول نمونه‌های مورد ارزیابی ۱۵۰ سانتی‌متر بود.

پس از ساخت نمونه اولیه ماشین، تعیین رطوبت مناسب ساقه برای عبور از ماشین و میزان جدایش پوست و الیاف حائز اهمیت بود. بر همین اساس با استفاده از نمونه‌های ساقه با محتوای رطوبتی ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد (بر مبنای‌تر)، عملکرد ماشین مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل خشک شدن چوب ساقه و چسبیدن پوست به چوب و تکه تکه شدن الیاف و درنتیجه عدم امکان جدایش الیاف، از ارزیابی عملکرد ماشین با استفاده از ساقه‌هایی با رطوبت کمتر از ۵۵ درصد صرف نظر شد. قابل ذکر است که ساقه تازه بریده شده به دلیل جاری شدن شیره از محل گره‌ها (محل جدا شدن برگ)، مناسب برای جدایش الیاف توسط ماشین نبود. از پارامترهای تأثیرگذار دیگر در عملکرد ماشین، سرعت دورانی غلتک‌ها و در واقع سرعت عبور ساقه از میان واحدهای جدایش بود. به منظور بررسی تأثیر تغییرات سرعت تغذیه در عملکرد ماشین، بازده جدایش پوست و الیاف در شش سرعت ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ دور بر دقیقه مورد ارزیابی قرار گرفت.

بازده جدایش ماشین بر مبنای جرم پوست و الیاف جداشده مطابق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\%E = \frac{M_1}{M_1+M_2} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن E بازده جدایش (٪)، M_1 جرم الیاف و پوست جداشده از ساقه (g) و M_2 جرم پوست و الیاف باقی مانده بروی ساقه (g) پس از عبور از ماشین می‌باشد.

ظرفیت ماشین براساس وزن ساقه‌هایی که به داخل ماشین تغذیه می‌شوند مطابق رابطه (۲) محاسبه شد. به منظور مقایسه ظرفیت ماشین در سرعت‌های مختلف تلاش شد تا از نمونه‌هایی که در طول مشخص دارای وزن نزدیک به هم هستند، استفاده شود تا بدین ترتیب دقیق‌تر بتوان در مورد اثر سرعت در ظرفیت جدایش قضاوت نمود.

$$EC_s = \frac{M_s}{t} \qquad (۲)$$

EC_s ظرفیت ماشین ($kg\,hr^{-1}$)، M_s جرم ساقه (kg) و t زمان صرف شده برای انجام پروسه استحصال (hr) می‌باشد.

به منظور بررسی تأثیر تغییرات رطوبت و سرعت عبور ساقه در تغییرات توان مورد نیاز از تبدیل تغییرات جریان عبوری به توان، که توسط کلمپ متر قرائت می‌شد، استفاده شد و مطابق رابطه (۳) توان حقیقی موتور محاسبه شد (Sadooghi, 2012).

$$P = I.U\cos\varphi \qquad (۳)$$

در رابطه فوق I جریان عبوری از سیم (A)، U ولتاژ (V) و P توان مصرف شده (W) می‌باشد. با توجه به این که توان مؤثر جریان سه فاز تحت اثر بار القایی می‌باشد، φ ضریب توان محسوب می‌شود و در موتور مورد استفاده $\cos\varphi$ برابر ۰/۷۸ بود.

در محاسبه توان مصرفی بر واحد جرم، میانگین جرم ساقه‌هایی که در ارزیابی ماشین مورد استفاده قرار گرفتند، با طول ۱۵۰ سانتی‌متر، در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد به‌ترتیب برابر ۳۷۲، ۳۲۱ و ۲۶۰ گرم بود. توان مصرفی در سه سرعت ۳۵، ۴۵ و ۵۵ دور

بر دقیقه ارزیابی شد.

در بررسی تأثیر سرعت عبور ساقه و رطوبت ساقه در عملکرد ماشین از یک طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل استفاده شد. تعداد تکرارهای به‌کار رفته پنج تکرار به‌ازای هر ترکیب از پارامترهای آزمایش بود و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 19 و آزمون تجزیه واریانس، داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

به منظور تحلیل آماری تأثیر تیمارها بر روی بازده جدایش از روش تجزیه واریانس استفاده شد که برخی از نتایج به‌دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تحلیل آماری نشان داد که تأثیر رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد و تأثیر سرعت در سطح احتمال ۵ درصد بر روی بازده جدایش معنی‌دار است.

بررسی تغییرات محتوای رطوبتی نشان داد که بازده جدایش پوست و الیاف با افزایش رطوبت زیاد می‌شود. هرچه رطوبت ساقه بیشتر باشد، تا جایی‌که شیره از محل گره‌های ساقه جاری نشود (رطوبت ۷۵ درصد)، عمل جدایش پوست راحت‌تر انجام می‌گیرد. طبق نتایج، بیشترین بازده جدایش در رطوبت ۷۵ درصد برای سرعت ۴۰ دور بر دقیقه بوده و به‌طور میانگین برابر ۹۵ درصد به‌دست آمد. شکل ۳ تغییرات بازده جدایش را در سه محتوای رطوبتی و در سرعت‌های دورانی متفاوت نشان می‌دهد.

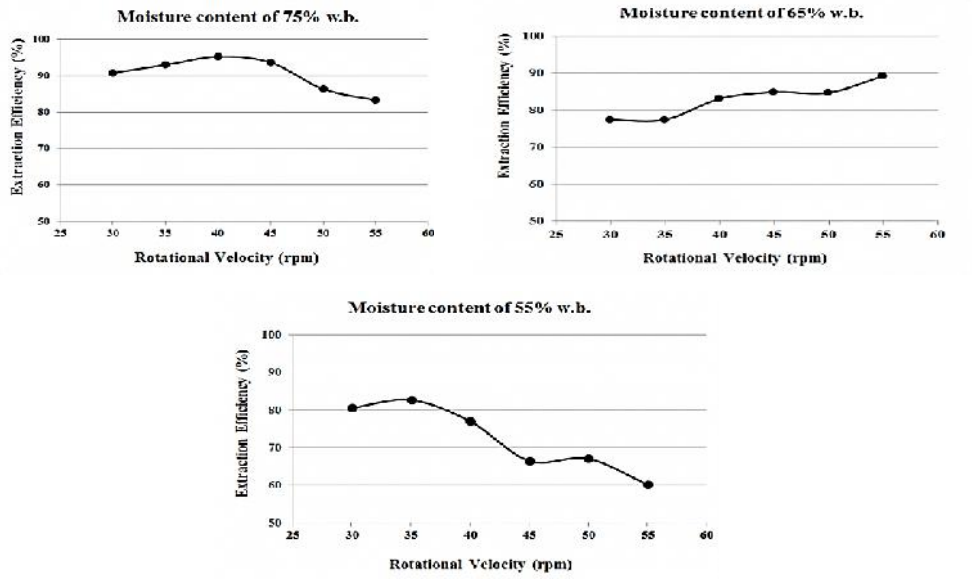
جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس در بررسی تأثیر تیمارها بر روی بازده جدایش

Table 1- ANOVA Results for assessment the effect of treatments on the extracting efficiency

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	F-value
رطوبت Moisture	2	0.442	0.221	33.91**
سرعت Velocity	5	0.074	0.015	2.27*
سرعت × رطوبت Moisture×Velocity	10	0.212	0.021	3.25^{ns}
خطا Error	72	0.469	0.007	

* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ns غیرمعنی‌دار

*Significant at 0.05 probability level, ** Significant at 0.01 probability level, ns no significant



شکل ۳- تغییرات بازده جدایش در سرعت‌های متفاوت چرخش غلتک‌ها و رطوبت‌های مختلف ساقه

Fig.3. Variation of extraction efficiency in different rotational velocities and different moisture contents

در محتوای رطوبت ۶۵ و ۵۵ درصد به دلیل چسبیدن پوست به ساقه و محکم‌تر شدن بافت پوست در هنگام عبور از واحدها، مقداری از پوست و درنتیجه الیاف روی ساقه باقی می‌ماند. از طرفی هرچه رطوبت کاهش پیدا می‌کرد، الیاف بیشتری به‌طور رشته‌ای از پوست جدا می‌شدند. در صورتی‌که در رطوبت‌های بالاتر الیاف به همراه پوست و چسبیده به پوست از روی ساقه کنده می‌شدند. بازده جدایش در رطوبت ۶۵ و ۵۵ درصد به‌ترتیب در سرعت‌های مختلف بین ۷۸ تا ۹۰ درصد و ۶۰ تا ۸۲ درصد بود. انتخاب رطوبت مناسب برای جدایش الیاف تا حدی به مرحله حلاجی الیاف از پوست پس از عبور از ماشین بستگی دارد. می‌توان برای جدایش الیاف باقی مانده داخل پوست از روش خشک‌کردن پوست و مالش استفاده نمود و یا از روش شیمیایی با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید برای جدایش پوست باقی‌مانده بر روی الیاف بهره جست (Reddy and Yang, 2009). در هر صورت می‌توان برای کاهش مدت زمان مرحله پس از جدایش پوست و یا کاهش استفاده از محلول سدیم هیدروکسید، ساقه با رطوبت ۵۵ درصد را مورد استحصال الیاف قرار داد و برای جدایش کامل، ساقه را دو بار از میان ماشین عبور داد. در سرعت‌های بالاتر به دلیل افزایش اعمال ضربه از طرف آج غلتک‌ها، احتمال شکسته شدن ساقه نیز بیشتر است. افزایش سرعت، بیش از حد مشخصی مقدور نیست، زیرا امکان هدایت مستقیم ساقه در بین واحدها از بین رفته و کنترل بر تغذیه ساقه مشکل می‌شود.

نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار[1] در مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین اختلاف بازده جدایش بین رطوبت‌های ۵۵ و ۷۵ درصد بوده و کمترین اختلاف بین رطوبت‌های ۷۵ و ۶۵ درصد بود. بررسی تأثیر سرعت در بازده جدایش نشان داد که تنها بازده جدایش در سرعت ۵۵ دور بر دقیقه با سرعت‌های ۳۵ و۴۰ دور بر دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بود و تأثیر دیگر سرعت‌ها بر بازده جدایش معنی‌دار نبود. تأثیر متقابل سرعت و رطوبت نیز معنی‌دار نبود.

ظرفیت ماشین بر حسب وزن ساقه‌هایی که به درون ماشین تغذیه می‌شوند در سه محتوای رطوبتی ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد (برمبنای تر) محاسبه شد. شکل ۴ اثر سرعت دورانی غلتک‌ها بر روی ظرفیت ماشین در رطوبت‌های مختلف ساقه را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت، ظرفیت ماشین افزایش می‌یابد اما علت معنی‌دار نبودن تأثیر تغییرات سرعت در ظرفیت جدایش در یک رطوبت ثابت، افزایش سرخوردن ساقه روی غلتک‌ها در سرعت‌های بالا است. ظرفیت ماشین در سرعت ثابت ۴۵ دور بر دقیقه در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد (برمبنای تر) به‌ترتیب تقریباً برابر ۴۶، ۳۷ و ۲۸ کیلوگرم بر ساعت بر حسب وزن ساقه بود و علت اصلی این کاهش ظرفیت، در رطوبت ساقه، به دلیل کاهش وزن ساقه است.

شکل ۵ نمونه‌ای از نمودار تغییر توان مصرفی که به‌واسطه جریان عبوری توسط کلمپ متر اندازه‌گیری شد، را در زمان عبور ساقه از ماشین نشان می‌دهد. حداکثر توان مصرفی در زمانی است که ساقه به‌طور کامل کلیه واحدهای جدایش را درگیرکرده و انتهای قطور ساقه در واحد اول قرار دارد. با عبور گره‌های ساقه از میان غلتک‌ها و تیغه‌ها و افزایش قطر ساقه توان مصرف شده افزایش می‌یابد که قله‌ها در نمودار شکل ۵ نشان‌دهنده این نقاط هستند و بلندترین قله در نمودار نشان‌دهنده حداکثر توان مصرفی است.

برای بررسی دقیق‌تر اثر کاهش رطوبت پوست و حذف تأثیر اختلاف جرم بین ساقه‌ها در توان مصرفی موتور، توان مصرفی بر واحد جرم ساقه نیز مورد محاسبه قرار گرفت. جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس برای بررسی تأثیر تغییرات سرعت و رطوبت بر حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم ساقه را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان‌داد که تأثیر تغییرات سرعت و رطوبت در حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

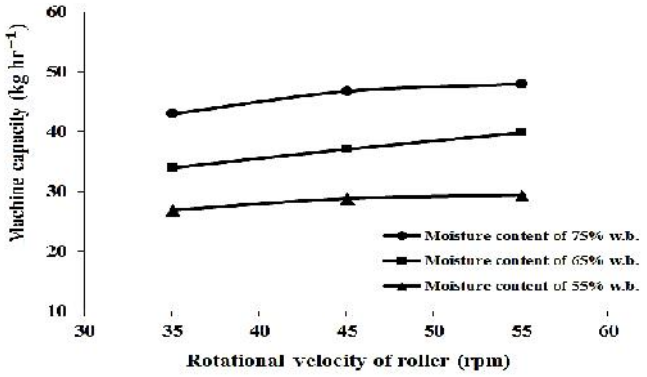
براساس نتایج ارزیابی، با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها توان بر واحد جرم ساقه افزایش می‌یابد. حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم با کاهش رطوبت نیز افزایش می‌یابد، این مسئله به دلیل کاهش رطوبت پوست و چسبیدن آن به بافت چوبی است که برای جداکردن آن در رطوبت کمتر مانند ۵۵ درصد نیاز به مصرف توان در واحد جرم بیشتری است. پیش‌تر نیز اشاره شد که در رطوبت‌های بالاتر (۷۵ درصد) پوست راحت‌تر از ساقه جدا می‌شود. تأثیر متقابل سرعت و رطوبت در حداثر توان مصرفی نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. جدول ۳ مقادیر میانگین حداکثر توان مصرفی حقیقی موتور و حداکثر توان مصرفی در واحد جرم ساقه را در سرعت و رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهد.

نتایج آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در مقایسه میانگین تأثیر رطوبت و سرعت نشان‌داد که بیشترین اختلاف در توان مصرفی بر واحد جرم بین رطوبت‌های ۷۵ و ۵۵ درصد است و در سرعت‌های مختلف بیشترین اختلاف بین سرعت‌های ۳۵ و ۵۵ دور بر دقیقه می‌باشد.

نتایج همچنین نشان داد که از ۲۲ کیلوگرم ساقه استبرق با رطوبت ۷۵ درصد، یک کیلوگرم الیاف خشک به‌دست می‌آید. ری و همکاران (۲۰۱۳) که با استفاده از روش ماشینی به استحصال الیاف ساقه موز پرداخته بودند، گزارش دادند که از ۳۷ کیلوگرم ساقه موز یک کیلوگرم الیاف به‌دست می‌آید (Ray *et al*., 2013). از جمله تفاوت‌های روش ارائه شده در این تحقیق با دیگر روش‌های استحصال الیاف از ساقه گیاهانی مانند کنف، موز و کتان در این است

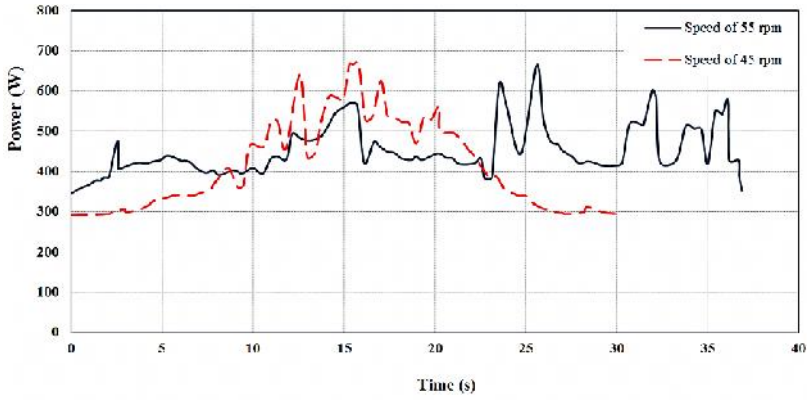
1- Least significant difference

که در استحصال الیاف این گیاهان، ساقه‌ها به‌طور کامل خشک می‌شود تا بافت چوبی آن‌ها که نسبت به الیاف سست و نازک است شکننده شده و در نتیجه راحت‌تر خرد و از لابه‌لای الیاف شانه زنی شود (Hobson *et al*., 2001; Mukhopadhyay *et al*., 2008; Das *et al*., 2010).



شکل ٤- تأثیر سرعت دورانی بر ظرفیت ماشین بر حسب وزن ساقه

Fig.4. Effect of rotational velocity on machine capacity based on the stem mass



شکل ٥- نمودار تغییرات توان مصرف شده برای عبور ساقه در رطوبت ۷۵ درصد

Fig.5. Variation of consumed power for the stem passes with moisture content of 75% w.b

جدول۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس در بررسی تأثیر تیمارها بر حداکثر توان مصرفی در واحد جرم ساقه

Table 2- ANOVA Results in evaluation the effect of treatments on the maximum consumed power per mass unit

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	F-value
رطوبت Moisture	2	0.215	0.108	467.58**
سرعت Velocity	2	1.291	0.646	2805.47**
سرعت × رطوبت Moisture×Velocity	10	0.126	0.032	127.227**
خطا Error	72	0.004	0.000	F-value

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ns غیرمعنی‌دار

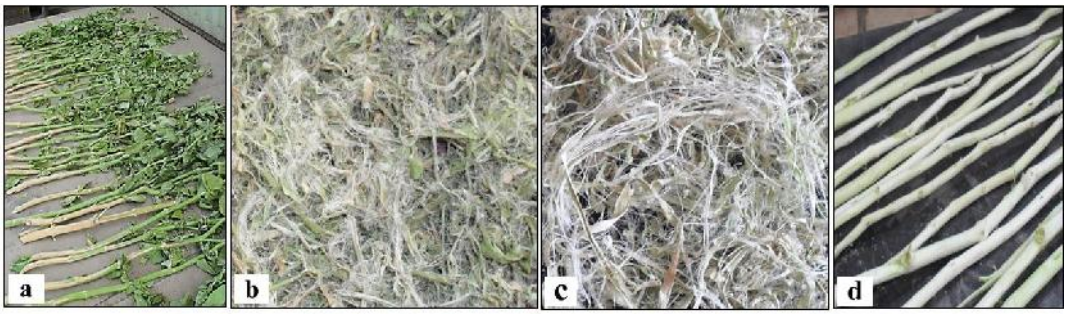
*Significant at 0.05 probability level, ** Significant at 0.01 probability level, ns no significant

جدول ۳- میانگین حداکثر توان مصرفی و حداکثر توان بر واحد جرم ساقه در سرعت و رطوبت‌های مختلف

Table 3- Average of maximum consumed power in stem unit mass in different moistures and speeds

سرعت (دور بر دقیقه) Speed (rpm)	رطوبت ۷۵٪ Moisture of 75 % w.b.			رطوبت ٦٥٪ Moisture of 65 % w.b.			رطوبت ٥٥٪ Moisture of 55 % w.b.		
	35	45	55	35	45	55	35	45	55
میانگین حداکثر توان مصرفی (وات) Maximum consumed power (W)	504	664	668	461.3	559	631	401.5	468	573.4
میانگین حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم ساقه (وات بر گرم) Maximum consumed power in mass unit (W g^{-1})	1.35	1.79	1.94	1.44	1.73	1.94	1.5	1.85	2.2

اما در ساقه استبرق به دلیل ضخیم و محکم بودن بافت چوبی و در عین حال لطیف و نازک بودن الیاف آن و با توجه به نتایج ارزیابی، ساقه با رطوبت بین ۷۵ تا ۵۵ درصد مناسب برای استحصال بود. طول الیاف جداشده از ساقه استبرق توسط روش ماشینی از ۱۰سانتی‌متر تا ۸۰ سانتی‌متر متغیر بود، این در حالی است که ردی و یانگ (۲۰۰۹) برای جداسازی الیاف ساقه استبرق از روش شیمیایی استفاده نمودند (پوست را به‌طور دستی از ساقه جدا کرده و در محلول سدیم هیدروکسید قرار دادند) و طول الیاف جدا شده از ساقه را بین ۱۱ تا ۱۵ سانتی‌متر گزارش دادند (Reddy and Yang, 2009). شکل ۶ ساقه‌های استبرق مورد آزمایش، الیاف و پوست جدا شده از ساقه با رطوبت ۷۵ درصد توسط ماشین استحصال و چوب‌های باقی‌مانده پس از عبور ساقه از ماشین را نشان می‌دهد.



شکل ٦- a) ساقه‌های تازه، b) الیاف و پوست جداشده از ساقه با رطوبت ۷۵ درصد توسط ماشین، c) الیاف و پوست جداشده از ساقه با رطوبت ۵۵ درصد توسط ماشین d) ساقه‌ها پس از عبور از ماشین

Fig.6. a) Fresh cut stem (b) Separated barks and fibers with moisture of 75% (c) Separated barks and fibers with moisture of 55% (d) Stems after passing through the machine

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نحوه استحصال ماشینی الیاف ساقه استبرق مورد مطالعه قرار گرفت و طراحی و ساخت ماشینی که قادر به جدایش الیاف از ساقه بود، ارائه شد. ظرفیت تغذیه ساقه به داخل ماشین، در سرعت و رطوبت‌های متفاوت تعیین شد. نتایج نشان داد که در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد، ظرفیت ماشین به‌ترتیب برابر ۴۶، ۳۷ و ۲۸ کیلوگرم بر ساعت می‌باشد. ارزیابی بازده جدایش پوست و الیاف توسط ماشین نیز در سه محتوای رطوبتی و شش سرعت دورانی انجام شد و بیشترین بازده جدایش در سطح رطوبت ۷۵ درصد با سرعت۴۰ دور بر دقیقه بود که مقدار آن برابر ۹۵ درصد می‌باشد. حداکثر توان مصرفی موتور نیز در این شرایط برابر ۶۶۹ وات به‌دست آمد. حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم با کاهش رطوبت افزایش می‌یابد. این مسئله به دلیل کاهش رطوبت پوست، سخت شدن و چسبیدن آن به بافت چوبی است. میانگین حداکثر توان مصرفی بر واحد جرم ساقه در رطوبت‌های ۷۵، ۶۵ و ۵۵ درصد به‌ترتیب برابر ۱/۶۴، ۱/۷۰ و ۱/۸۵ وات برگرم در سرعت ۴۵ دور بردقیقه بود. همچنین نتایج بررسی عملکرد ماشین نشان داد که از ۲۲ کیلوگرم ساقه تر استبرق، یک کیلوگرم الیاف به‌دست می‌آید.

سپاسگزاری

این پژوهش به سفارش سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا و با حمایت معاونت علمی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی طرح پژوهشی-کاربردی به شماره ۰۱/۶/۳۲۳۳۶۰ به اجرا درآمد که بدین وسیله از همکاری ایشان تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Amel, B. A., T. Paridah, R. Sudin, U. M. K. Anwar, S. Ahmed, and A. S. Hussein. 2013. Effect of fiber extraction methods on some properties of kenaf bast fiber. Industrial Crops and Products 46: 117-123.
2. ASABE, Standards. 2008. Moisture measurement forages. St. Joseph, Mich, ASABE: S358.2.
3. Burneo, M. G. P. 2012. Process and extraction of natural fibers in the artistic application. Journal of Materials Science and Engineering 2 (2): 238-247.
4. Cristaldi, G., A. Latteri, G. Recca, and G. Cicala. 2010. Composites based on natural fibre fabrics. Woven Fabric Engineering 17: 317-342.
5. Das, P. K., D. Nag, S. Debnath, and L. K. Nayak. 2010. Machinery for extraction and traditional spinning of plant fibers. Indian Journal of Traditional Knowledge 9 (2): 389-393.
6. Hassani, H., M. Zarebini-Esfahani, and S. Hassan-Zadeh. 2012. Sound Insulation produced from Calotropis (Estabragh) Fibers. IR patent 80144. (In Farsi).
7. Hobson, R. N., D. G. Hepworth, and D. M. Bruce. 2001. Quality of fibre separated from unretted hemp stems by decortication. Journal of Agriculture Engineering Research 78 (2): 153-158.
8. Holser, R. A., and H. O. Rogers. 2006. Transesterified milkweed (Asclepias) seed oil as a biodiesel fuel. Fuel 85: 2106-2110.
9. Kemble, L. J., P. Krishnan, K. J. Hennings, and H. D. Tillman. 2002. Development and evaluation of kenaf harvesting technology. Biosystems Engineering 81 (1): 49-56.
10. Liu, Y. 2005. Diallel and Stability Analysis of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in South Africa. Master of Science in Agriculture Faculty of Natural and Agricultural Sciences Department of Plant Sciences: Plant Breeding University of the Free State Bloemfontein, South Africa.
11. Mukhopadhyay, S., R. Fangueiro, Y. Arpaç, and U. Şentürk. 2008. Banana fibers – variability and fracture behavior. Journal of Engineered Fibers and Fabrics 3(2): 39-45.
12. Mohamadi-Zadeh, M., F. Jafar-Zadeh, and E. Sekhavati. 2012. I.R. patent 78466. (In Farsi).
13. Phong, N. T., T. Fujii, B. Chuong, and K. Okubo. 2012. Study on how to effectively extract bamboo fibers from raw bamboo and wastewater treatment. Journal of Materials Science Research 1 (1): 144-155.
14. Phoo, Z. W. M. M., L. F. Razon, G. Knothe, Z. Ilham, F. Goembira, C. F. Madrazo, S. A. Roces, and S. Saka. 2014. Evaluation of Indian milkweed (*Calotropis gigantea*) seed oil as alternative feedstock for biodiesel. Industrial Crops and Products 54: 226-232.
15. Reddy, N., and Y. Yang. 2007. Structure and properties of natural cellulose fibers obtained from sorghum leaves and stems. Journal of Agriculture Food and Chemistry 55 (14): 5569-5574.
16. Reddy, N., and Y. Yang. 2009. Extraction and characterization of natural cellulose fibers from common milkweed stems. Biological Systems Engineering 49 (11): 2212-2217.
17. Ray, D. P., L. K. Nayak, L. Ammayappan, V. B. Shambhu, and D. Nag. 2013. Energy conservation drives for efficient extraction and utilization of banana fibre. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 3 (8): 296-310.
18. Sadooghi, A. 2012. Electric machinery fundamentals. Fourth edition. Publication of Nas, page 69. (In Farsi).
19. Schwartz, D. M. 1987. Underachiever of the plant world. Audubon 89:46-61.
20. Tajvidi, M., R. H. Falk, C. John, and J. C. Hermanson. 2006. Effect of natural fibers on thermal and mechanical properties of natural fiber polypropylene composites studied by dynamic mechanical analysis. Journal of Applied Polymer Science 101: 4341-4349.
21. Tarabi, N., H. Mousazadeh, A. Jafari, and J. Taghizadeh-Tameh. 2014. Determination of physical and

mechanical properties of Calotropis stems in order to design of long warp yarn extracting machine. 8th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) and Mechanization 2177-2187. (In Farsi).

22. Varshney, A. C., and K. L. Bhoi. 1988. Cloth from bast fibre of Calotropis procera (Aak) plant. Biological Wastes 29: 229-232.
23. Webber, C. L., V. K. Bledsoe, and R. E. Bledsoe. 2002. Kenaf harvesting and processing. Trends in New Crops and New Uses 9: 340-347.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 2, Fall - Winter 2016, p. 384-395

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۵، ص ۳۹۵-۳۸۴

Evaluation of effective parameters on fiber separation from calotropis stems in mechanical methods

N. Tarabi[1]- H. Mousazadeh[2*]- A. Jafari[3]- J. Taghizadeh Tameh[1]

Received: 29-10-2014
Accepted: 14-03-2015

Introduction

Calotropis is an evergreen and perennial shrub that grows in tropical areas of Iran and has valuable fibers in the bark of its stem. Fibers obtained from Calotropis stem have 75% cellulose. Tensile strength and modulus of the fibers is more than Cotton and elongation of the fibers is higher than Linen fibers. Calotropis stem fibers are researched for paper pulp applications and also has been evaluated for some applications such as their fiber characteristics for cloth making.

However, there are no more studies on Calotropis bark fibers and very limited information is available about fibers extraction methods. In traditional methods of extraction, the stems were wetted for a period of 8 days and then the fibers were separated manually. In another method that was common in south region of Iran, the dried stems were threshed by hand and the fibers were separated from the crushed stems manually. These methods need cumbersome works, and require long times for processing. Therefore the aim of this study is to develop an extraction method for Calotropis bark fibers based on mechanical ways. Investigation of some importance characteristics, e.g. moisture content and rotational speed on the performance of extraction machine is another objective of this study.

Materials and Methods

Considering that the fibers are in the bark of the stems, extracting principle is based on bark separation by pushing of stems against some pairs of sharp blades. Since diameter of stems is variable, it is essential that the designed system to be capable of auto-adjusting for different diameters. So the stems were fed through the blades, via two serrated rollers. The roller, blade and other parts of a separated unit were tightened to a yoke, so when thick stems are inserted, the roller compresses the spring and moves up, as a result, the blade was pulled up. The Yoke was connected to the frame through two long screws. For complete debarking and fibers extraction, three separation units were arranged in series at the final design. For complete debarking from all sides, the second unit was attached while 90^{o} rotated in relation to the first unit.

To evaluate the machine performance, the test specimens were provided from the south region of Iran, Kerman. Approximated length of test specimens was 150 cm. Firstly, petioles and leaves were removed at the nodes of the stems. Extraction efficiency of the machine was evaluated with three moisture contents (75% w.b., 65% w.b. and 55% w.b.) and six rotational speeds (30, 35, 40, 45, 50 and 50 rpm). Stems with a moisture content higher than 75% w.b. and lower than 55% w.b. were not suitable for fiber extraction by the machine. Because latex flows from the stem at moisture content of higher than 75% w.b. and also the bark was being stuck on the stem at moisture content of lower than 55% w.b. The stem feeding capacity was evaluated at different moisture content and speeds as well. In order to investigate the power consumption due to moisture content and rotational speed, the consumed power per stem mass unit was calculated at three moisture contents and three speeds (35, 45 and 55 rpm).

Analysis of variance (ANOVA) technique was used to evaluate effect of different speeds and moisture contents. The study was planned as factorial experiments based on a completely randomized design and each treatment was replicated five times.

Results and Discussion

Based on the analysis of variance for extraction efficiency at different three moisture contents and six

1- MSc. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran
2- Assisstant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran
3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran
(*- Corresponding Authore Email: hmousazade@ut.ac.ir)

rotational speeds, it is obtained that the effect of moisture contents (at P≤0.01) and rotational speeds (at P≤0.05) were significant on the extraction efficiency. Comparison extraction efficiency at six speeds and three moisture content levels showed that the maximum extracting efficiency occurs at rotational speed of 40 rpm with the moisture content of 75% w.b. The average efficiency in this case was 95% approximately. Extraction efficiency at moisture contents of 65 and 55 % w.b. were 78-90% and 60-82% respectively. As the moisture content decreased, the bark was being bonded and stuck on the stem so the fibers were torn while debarking. It is found that the effect of speeds on the capacity was not significant. Average stem feeding capacity into the machine at rotational speed of 45 rpm and at three moisture contents of 75% w.b., 65% w.b. and 55%w.b. were respectively 46, 37 and 28 kg hr^{-1}.

The effect of moisture content and rotational speed on the consumed power per stem mass unit was significant at 0.01 probability level. However, the consumed power per mass unit increased with decrease in moisture content and increase in rotational speed. The average of maximum consumed power per unit mass at moisture contents of 75%, 65% and 55% w.b. were 1.46, 1.70 and 1.85w g^{-1}, respectively. Also 1 kg fibers were obtained from 22kg stems at a moisture content of 75% w.b. Finally, it is concluded that the fiber length varied from 10 cm to 80 cm by the mechanical method.

Conclusions

In this study, a machine that would be capable to extract fibers from stems of Calotropis was developed. Comparison of extracting efficiency at six speed levels and three moisture contents indicated that the maximum extracting efficiency (95%) is at rotational speed of 40 rpm with the moisture content of 75% w.b. Average stem feeding capacity into the machine at three moisture contents of 75% w.b., 65% w.b. and 55% w.b. were 46, 37 and 28 kg hr^{-1}, respectively. Results showed that consumed power per unit mass is increased when moisture decreased. Also 1 kg fiber was obtained by 22kg stems at moisture content of 75% w.b.

Keywords: Calotropis, Fiber, Mechanical extraction, Stem