

تعیین برخی مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی ساقه استبرق به منظور طراحی ماشین استحصال الیاف آن

نازیلا طربی<sup>۱\*</sup>، حسین موسی زاده<sup>۲</sup>، علی جعفری<sup>۳</sup> و جلیل تقی زاده طامه<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران tarabi99@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

### چکیده

الیاف طبیعی امروزه به عنوان گزینه مهم در تولید کامپوزیت‌ها و دیگر محصولات صنعتی در جهان مطرح می‌باشد. گیاه استبرق که به وفور در نقاط گرمسیر ایران یافت می‌شود دارای الیافی در ساقه است که می‌توان از آن در نساجی و صنعت استفاده نمود. به منظور طراحی و ساخت ماشین استحصال الیاف تار بلند این گیاه، تعیین برخی مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی ساقه ضروری است که در تحقیق حاضر به آن پرداخته شده است. براساس مکانیزم ماشین مورد نظر، آزمون فشار در جهت شعاعی و آزمون کماتش ساقه در سه سطح رطوبتی ۷۰٪، ۴۵٪، ۴٪، آزمون برش و کشش پوست روی ساقه در رطوبت ۷۰٪ انجام شد و تاثیر عواملی چون رطوبت، سرعت و قطر ساقه در هر یک ارزیابی شد. جدایش الیاف از ساقه در محتوای رطوبتی و چگالی متفاوت ساقه مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور بررسی نتایج بدست آمده از روش رویه پاسخ (Response Surface) در نرم افزار Design Expert7 استفاده شد. نتایج نشان داد که جدایش الیاف ساقه در رطوبت ۷۰٪ با میانگین چگالی  $1/02 \text{ g/cm}^3$  رضایت بخش است. حداکثر نیروی گسیختگی در جهت شعاعی با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت و رطوبت ساقه نیروی کماتش نیز کاهش می‌یابد. حد اکثر نیروی برشی لازم برای پوست روی ساقه  $50/30 \text{ N}$  بود و تغییر سرعت اثر قابل توجهی روی نیرو برشی پوست نداشت. میانگین تنش کششی که موجب پاره شدن پوست می‌شود، مدول الاستیسیته و میانگین انرژی مورد نیاز به ترتیب برابر با  $1/91 \text{ MPa}$ ،  $65/77 \text{ MPa}$  و  $12/8 \text{ J}$  بود.

**کلمات کلیدی:** الیاف تار بلند، ساقه استبرق، مشخصات فیزیکی و مکانیکی، آزمون برش، آزمون کماتش

### مقدمه

الیاف طبیعی که زمانی رویای اصلی طرفداران محیط زیست بود، امروزه جایگاه خود را پیدا کرده و به عنوان گزینه مهم در تولید کامپوزیت‌ها و دیگر محصولات صنعتی کشورها مطرح هستند. به طور مثال در ساخت بدنه خودرو در برزیل از الیاف موز استفاده شده است و یا از پر مرغ برای ساخت قطعات کامپوزیتی استفاده می‌شود (Kiew et al., 2013) و به تازگی در ایران از الیاف پوسته نارگیل برای تقویت خاک جهت بکارگیری در شیروانی‌ها، پی‌ها و سدها... استفاده می‌شود (اخوت و همکاران،



۱۳۸۹). کارخانه های خودرو سازی آلمانی نیز در این زمینه پیش گام بوده اند (Karus *et al.*, 2004). در سال های اخیر بر اساس تحقیقات انجام شده در کشورمان، استفاده از الیاف موجود در ساقه گیاه استبرق برای کاربردهای مختلفی مورد توجه قرار گرفته است که علاوه بر توسعه صنعت کشور می تواند برای ساکنین مناطقی که گیاه در آن رشد می کند تولید شغل و درآمد کند. استبرق با نام علمی *Calotropis* به وفور در مناطق جنوب ایران، در نقاط گرمسیر و سواحل دریای عمان از خوزستان تا بلوچستان با ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا دیده می شود (ثابتی، ۱۳۷۳). استبرق گیاهی است دائمی، درختچه ای و همیشه سبز، که پوست آن کرکدار و شیاردار به رنگ خاکستری روشن است (Little *et al.*, 1974). این درخت از مزایای زیادی برخوردار است از جمله جلوگیری از فرسایش خاک، برخوردار بودن از خواص دارویی (Ferreira *et al.*, 2008; Vadlapudi *et al.*, 2012)، تهیه زغال فعال و خودسوز از چوب درخت آن، ساخت چوب پنبه از پوسته درخت، استفاده از شیره گیاه (Dewan *et al.*, 2010; Sheelaa *et al.*, 2000) و البته استفاده از الیاف تار کوتاه و تار بلند آن در صنعت (Varshney *et al.*, 1987) که الیاف تار کوتاه آن در میوه گیاه می باشد (شکل ۱. الف) و الیاف تار بلند آن که در این تحقیق مد نظر است در ساقه گیاه قرار دارد (شکل ۱. ب).



شکل ۱. الف: میوه گیاه که کاملاً رسیده و الیاف آن خارج شده است ب: ساقه جوان گیاه

با توجه به خصوصیات منحصر به فرد این الیاف متاسفانه استحصال آن به روش سنتی، امری مشکل، طاقت فرسا و هزینه بر خواهد بود که این امر عاملی مهم در عدم رغبت برای استفاده از این الیاف و در نتیجه ممانعت از توسعه این صنعت می باشد. بر همین اساس تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ساقه گیاه که بتواند در طراحی و ساخت ماشین استحصال الیاف مورد استفاده قرار گیرد ضروری به نظر می رسد. ساقه در هنگام عبور از ماشین مورد نظر (که عملیات ساخت آن در حال انجام می باشد) تحت نیروهای کششی، فشاری و برشی قرار می گیرد و نیز ممکن است کماتش در ساقه ایجاد شود. بنابراین لازم است تا میزان این نیروها و مدول الاستیسیته ساقه تحت شرایط مشخصی از جمله میزان رطوبت ساقه و قطر آن تعیین شده و طراحی مکانیزم ماشین به گونه ای باشد که نیروهای اعمالی بیشتر از مقادیر تعیین شده نباشد، زیرا باید از کج شدن یا پاره شدن ساقه حین عبور از ماشین اجتناب شود. از دیگر پارامترهای فیزیکی تاثیر گذار در طراحی ماشین، محتوای رطوبتی گیاه و جرم حجمی است که در میزان جدایش الیاف از ساقه با استفاده از ماشین موثر می باشد.



خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ساقه های برخی از گیاهان مورد تحقیق قرار گرفته اند. پراساد و گوپتا (۱۹۷۵) و همچنین ایگادیناتان و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه ذرت و تغییرات آن در شرایط مختلف زاویه برش تیغه و برداشت آن پرداختند (Prasad and Gupta, 1975; Igathinathane *et al.*, 2010). چاتوپدی و پندی (۱۹۹۹) خواص مکانیکی ساقه ذرت خوشه ای را تحت تغییر شکل استاتیکی مورد بررسی قرار دادند (Chattopadhyay and Pandey, 1999). اینسه و همکاران (۲۰۰۵) مشخصه های برش و خمش در بقایای ساقه گل آفتاب گردان را با توجه به تغییر در محتوای رطوبتی آن با هدف برداشت بقایا، اندازه گیری و تحلیل نمودند (Ince *et al.*, 2005). نظری گله دار و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر رطوبت را بر خواص فیزیکی و مکانیکی یونجه مورد مطالعه قرار دادند (Nazari Galedar *et al.*, 2008). ژویو و همکاران (۲۰۱۲) نیروی لازم برای برش ساقه برنج، در رطوبت های مختلف و قطر های مختلف ساقه را اندازه گیری و ارزیابی نمودند (Zhou *et al.*, 2012). لی و همکاران (۲۰۱۳) برخی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه کنف و تغییرات ساختار سلولی الیاف آن در قسمت های متفاوت ساقه های بلند را مورد بررسی قرار دادند (Li *et al.*, 2013). اما تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه استبرق و الیاف تار بلند آن ارائه نشده است.

هدف از این تحقیق تعیین برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه استبرق می باشد، تا ضمن تعیین شرایط بهینه برای استخراج الیاف آن، محدوده نیروهای قابل تحمل آن را تعیین نموده و در طراحی و ساخت ماشین استحصال الیاف، که فاز دوم این پروژه می باشد، لحاظ نمود.

## مواد و روش ها

با اعزام یکی از همکاران طرح به استان کرمان، شهرستان ریگان، ساقه های تازه استبرق برداشت و جهت انجام آزمایش های مختلف به دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران انتقال یافت. قبل از انجام آزمون ها، همه برگ ها و گره های اضافی از روی ساقه حذف شدند. با توجه به اینکه قطر ساقه ها از قسمت سر یا بالای ساقه تا انتها یا پایین آن افزایش داشته، بنابراین ساقه ها بر اساس میزان افزایش قطر از بالا به پایین به سه بخش بالا، وسط و پایین تقسیم شدند و هر نمونه گرفته شده از این بخش ها نیز با بیشترین قطر ( $D_1$ ) و کمترین قطر ( $D_2$ ) مشخص شدند. تعداد نمونه ها برای هر آزمون ۳۰ عدد لحاظ شده و قطر ساقه ها بین ۸ تا ۲۵ میلیمتر متغیر بود.

## تعیین رطوبت و جرم حجمی ساقه

هدف از اندازه گیری محتوای رطوبتی ساقه تعیین رابطه بین محتوای رطوبتی و میزان جدایش الیاف از ساقه می باشد. بدین منظور ساقه هایی به طول یک متر انتخاب و در هوای آزاد، به طوری که با یکدیگر و با زمین در تماس نباشند، بر روی دو میله موازی قرار داده شدند و هر ۴۸ ساعت یک بار رطوبت آنها اندازه گیری گردید تا زمانیکه مقدار رطوبت صفر شود. برای اندازه گیری



رطوبت، نمونه های پنج تایی در قطر های مختلف و به طول ۱۰ سانتی متر به طور تصادفی تهیه شدند. نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $103^{\circ}\text{C}$  قرار گرفت و رطوبت طبق فرمول (۱) بر مبنای وزن تر محاسبه شد (ASAE, 2006).

$$\%MC = \frac{FW-DW}{FW} \quad (1)$$

که در آن MC درصد رطوبت، FW وزن ساقه تر و DW وزن ساقه خشک شده در آن می باشد.

جرم حجمی ساقه ها نیز در سه سطح رطوبت، ۷۰٪، ۴۵٪ و ۴٪ اندازه گیری شد. در هر سطح رطوبت، ۱۵ نمونه با قطر های متفاوت، به طول ۱۰ سانتی متر و به طور تصادفی انتخاب شدند. برای اندازه گیری حجم ساقه ها از روش جابه جایی سیال استفاده شد و با استفاده از فرمول (۲) جرم حجمی محاسبه گردید (عنایتی، ۱۳۸۹).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

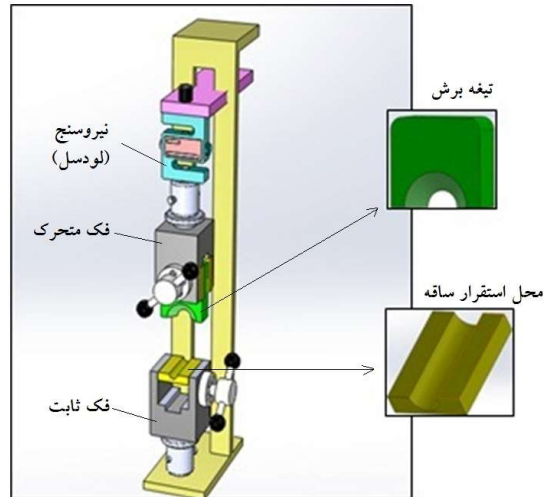
که در آن  $\rho$  عبارت است از چگالی،  $m$  جرم و  $v$  حجم می باشد.

### آزمون فشار

در ماشین تحت طراحی، به دلیل اعمال فشار در جهت شعاعی یا عمود بر الیاف ساقه، آزمون فشار نیز در این جهت و در دو سطح رطوبت ۷۰٪ و ۴٪ انجام شد. علت انتخاب این دو رطوبت به دلیل لزوم ارزیابی عملکرد ماشین در دو حالت تر و خشک است. نمونه ها در قطر های متفاوت تهیه شد. برای انجام این آزمون از ماشین تست اینسترون یونیورسال مدل SMT-5، SANTAM با لودسلی به ظرفیت نیرویی ۵۰۰ KN استفاده گردید. نیرو در جهت شعاعی ساقه تا مرحله شکست، و با سرعت بارگذاری ۵۰ cm/min اعمال شد.

### آزمون برش

برای انجام تست برش پوستی که بر روی ساقه قرار دارد یک فک ویژه، طراحی و ساخته شد. به طوری که تیغه برش آن مشابه تیغه ای است که در ماشین استحصال الیاف استفاده خواهد شد (شکل ۲). لبه برنده تیغه با زاویه ۹۰ درجه نسبت به ساقه استقرار می یابد. به دلیل جدایش بهتر الیاف در حالت تر و چسبیدن کامل پوست به ساقه در حالت خشک، رطوبت ۷۰٪ برای این آزمایش در نظر گرفته شد و در سه سرعت متفاوت ۵۰، ۳۰ و ۲۰ cm/min میزان نیروی برشی و مدول برشی مورد ارزیابی قرار گرفت. طول نمونه ها ۱۰ سانتی متر بوده و در قطر های متفاوت بین ۹ تا ۲۵ میلیمتر به طور تصادفی انتخاب شدند.



شکل ۲. شماتیکی از فک و تیغه مورد استفاده برای آزمون برش

### آزمون کماتش

ساقه در هنگام عبور از بین تیغه‌های ماشین استحصال الیاف تحت بار محوری فشاری قرار دارد که در جهت موازی الیاف ساقه بوده و ممکن است ساقه تحمل خود را در مقابل بار از دست داده و دچار کماتش شود. در این آزمون، ساقه مانند یک ستون یک سرگیر دار در نظر گرفته شد که نیروی کماتش در آن از طریق فرمول (۳) محاسبه می‌شود. آزمون کماتش در سه سطح رطوبت متفاوت و با سه سرعت ۲۰، ۳۰، ۵۰ cm/min انجام شد.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_0^2} \quad (3)$$

که در آن  $P_{cr}$  ماکزیمم نیروی کماتش،  $E$  مدول الاستیسیته،  $I$  ممان اینرسی و  $L_0$  طول موثر ستون می‌باشد.

### آزمون اندازه گیری مقاومت کششی پوست

پوست ساقه در حین عبور از ماشین تحت کشش قرار گرفته و همراه الیاف از چوب جدا می‌شود. طراحی ماشین باید به گونه ای باشد که این نیروی کشش بیشتر از مقداری نباشد که موجب تکه تکه شدن الیاف موجود در پوست گردد. آزمایش کشش پوست با استفاده از ماشین تست اینسترون یونیورسال مدل SMT-5, SANTAM با فک های مخصوص کشش انجام شد. ۳۰ نمونه پوست تر ساقه با ابعاد ۱۰×۲۰۰ میلیمتر با ضخامت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. ضخامت پوست های مورد آزمون بین ۰/۴ الی ۱/۱۳ میلیمتر متغیر بود. انرژی کششی نیز بر اساس انتگرال گیری از منحنی نیرو- جابه جایی (Chen et al., 2004) با استفاده از نرم افزار کامپیوتری (Vers 5, SMT Machine Linker, SANTAM Company) محاسبه می‌شود.

به منظور بررسی روابط بین پارامترهای مستقل و تاثیر عواملی چون رطوبت و سرعت در این پارامترها از تکنیک های رویه پاسخ (Response Surface) با استفاده از نرم افزار Design Expert7 استفاده شد و آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) با فاصله اطمینان (CI) ۹۵٪ و تعیین معادلات حاکم بر پارامترها با مدل cubic بر روی داده ها انجام شد.



## نتایج و بحث

بر اساس آزمون‌های انجام گرفته، رطوبت ساقه تازه از درخت جدا شده زمانی که شیره آن کاملاً شل و تازه هست به طور میانگین ۷۸٪ بر مبنای جرم تر تعیین شد. ساقه تازه بریده شده به دلیل خروج شیره از آن در هنگام برش، مناسب استفاده در ماشین استحصال الیاف نیست. طبق نتایج حاصل از عبور ساقه از نمونه اولیه ساخته شده مکانیزم، میزان جدایش الیاف در رطوبت ۷۰٪ در مقایسه با میزان رطوبت‌های دیگر بیشتر بوده و در این رطوبت شیره ساقه نیز تا حد مطلوبی خشک شده و الیاف آسان‌تر و با طول بیشتری جدا می‌شود. در رطوبت‌های کمتر از ۴۵٪، میزان جدایش الیاف از پوست رضایت بخش نبوده زیرا پوست تا حدی خشک شده و به ساقه چسبیده است و در زمان جدا شدن پوست، الیاف تکه تکه می‌شود. مدت زمان لازم برای خشک شدن کامل ساقه در هوای آزاد و در مقابل نور آفتاب، با متوسط حداقل و حداکثر دمای روزانه به ترتیب ۲۰ و ۳۳ C<sup>0</sup> حدود ۱۶ روز می‌باشد. میانگین چگالی ساقه در میزان رطوبت ۷۰٪، ۴۵٪ و ۴٪ به ترتیب برابر با ۱/۰۲ gr/cm<sup>3</sup>، ۰/۷۲ و ۰/۵۲ به دست آمد. جدول ۱ و جدول ۲ میانگین برخی مشخصات فیزیکی و مکانیکی ساقه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. میانگین برخی مشخصات فیزیکی ساقه استبرق در رطوبت و قطرهای مختلف ساقه

رطوبت	۷۰٪			۴۵٪			۴٪		
	پایین	وسط	بالا	پایین	وسط	بالا	پایین	وسط	بالا
بخش بندی ساقه									
(mm)D <sub>1</sub>	۲۳/۹۳	۱۸/۵۹	۱۴/۵۵	۲۳/۲۳	۱۷/۳۸	۱۳/۷۹	۲۱/۹۹	۱۸/۰۵	۱۴/۳۵
(mm)D <sub>2</sub>	۱۹/۲۲	۱۵/۳۶	۹/۸	۱۸/۴۶	۱۴/۱۴	۹/۶	۱۸/۷۷	۱۵/۴۵	۱۰/۹۴
(cm <sup>3</sup> )V	۲۵/۸۳	۲۳/۴۰	۱۳/۸۰	۲۶/۶۶	۱۷/۶۶	۱۱	۲۰/۵۶	۱۷/۷۶	۹/۳
ρ (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۵۶

D<sub>1</sub>: بزرگترین قطر نمونه، D<sub>2</sub>: کوچکترین قطر نمونه، V: حجم نمونه ها، ρ: چگالی نمونه ها

جدول ۲. میانگین برخی خواص مکانیکی ساقه و پوست استبرق به عنوان تابعی از رطوبت و بخش بندی ساقه

خواص مکانیکی	σ <sub>c</sub> (MPa)		P <sub>cr</sub> (N)		E <sub>c</sub> (MPa)		En <sub>t</sub> (J)	
	۴٪	۷۰٪	۴٪	۷۰٪	۴٪	۷۰٪	۴٪	۷۰٪
سطح رطوبتی								
پایین	۰/۲۳	۰/۲	۱۸۹/۴۳	۱۴۶/۱۱	۵۶/۸۴	۱/۸۳	۹/۲۹	۲/۶۲
وسط	۰/۱۹	۰/۵۳	۱۰۴/۱۸	۶۵/۲۹	۸۱/۶۷	۷/۶۹	۷/۸۲	۱/۱۷
بالا	۰/۲۲	۳/۲	۶۰/۰۹	۴۶/۸۱	۷۸/۳۵	۱۳/۸۲	۲۴/۲۷	۱/۹۹

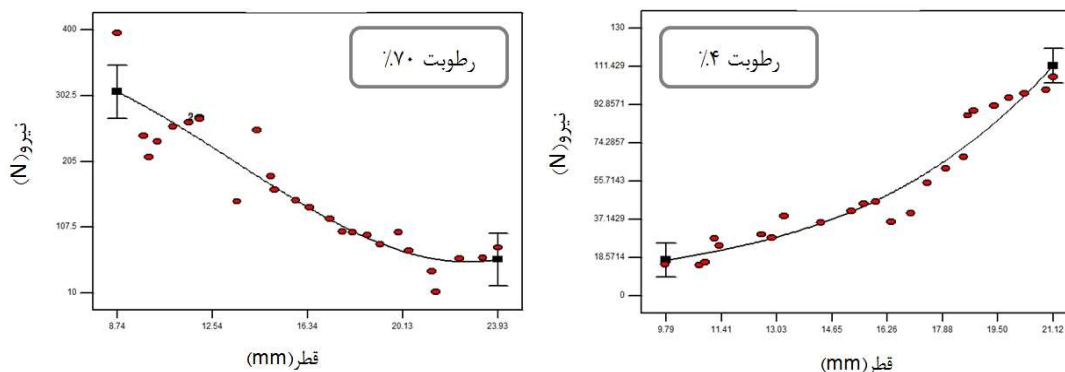
σ<sub>c</sub>: تنش فشاری قابل تحمل برای ساقه در جهت عمود بر الیاف، E<sub>c</sub>: مدول الاستیسیته فشاری در جهت عمود بر الیاف، P<sub>cr</sub>: نیروی کماتش، σ<sub>t</sub>: حداکثر تنش کششی قابل

تحمل برای پوست، En<sub>t</sub>: حداکثر انرژی صرف شده برای کشش پوست



## آزمون فشار

آزمون فشار که در جهت شعاعی ساقه انجام گرفت، نشان داد، با کاهش رطوبت، مقاومت به فشار و نیروی لازم برای خرد شدن ساقه کاهش می یابد و احتمال شکسته شدن ساقه ها در هنگام عبور از غلتک های تغذیه بیشتر است. شکل ۳ نمودار تغییرات نیروی فشاری شعاعی را نسبت به قطر ساقه ها در دو رطوبت ۷۰٪ و ۴٪ نشان می دهد. میانگین حداکثر نیروی فشاری برای خرد شدن ساقه ها به ترتیب برای بالا، وسط و پایین ترین بخش ساقه در حالت تر برابر با  $1237/69$ ،  $159/13$ ،  $120/67$  N و در حالت خشک برابر با  $17/29$ ،  $91/40$ ،  $70/18$  می باشد. در نتیجه در نمونه های تر با افزایش قطر ساقه نیروی لازم برای خرد شدن کاهش می یابد و این به دلیل افزایش فضای خالی بین ساقه است که محل شیره گیاه می باشد اما در نمونه های خشک با افزایش قطر مقدار این نیرو افزایش می یابد، اما در کل مقاومت به فشار در نمونه های ساقه تر بیشتر از خشک است و این از دیگر دلایل استفاده از ساقه تر برای ماشین استحصال می باشد. معادله حاکم بر این روابط و مقدار  $R^2$  برای داده ها نیز در جدول ۳ ارائه شده است.



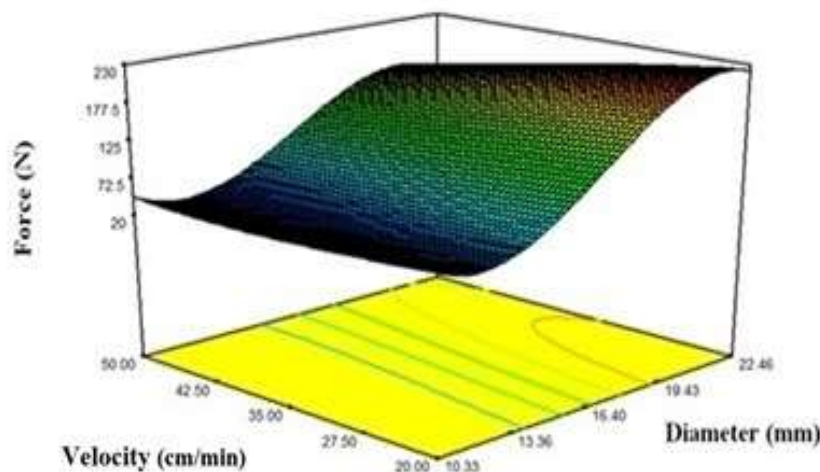
شکل ۳. نمودار تغییرات نیرو بر طبق قطر ساقه در دو رطوبت ۷۰٪ و ۴٪ در آزمون فشار

## آزمون برش

به دلیل جدا شدن بهتر الیاف در رطوبت ۷۰٪ و تحمل بیشتر بار فشاری در این رطوبت، آزمون برش تنها بر روی ساقه تر و به عبارتی رطوبت ۷۰٪ انجام شد. عمق نفوذ تیغه تا جایی بود که تنها پوست روی ساقه بریده شود و میانگین ماکزیم نیروی لازم برای برش پوست در بخش بالا، وسط و پایین ساقه ها به ترتیب برابر با  $21/42$  N،  $33/14$  N و  $50/30$  N به دست آمد. نتایج فوق نشان می دهد ماکزیم نیروی برشی با افزایش قطر افزایش می یابد. به هر حال تغییرات سرعت تاثیر قابل توجهی در کاهش و یا افزایش این نیرو نداشت. مدول برشی پوست در این آزمون نیز برابر  $0/4$  Mpa بود. معادله تغییرات نیرو بر حسب قطر و سرعت در جدول ۳- آمده است.

## آزمون کمانش

نتایج حاصل از آزمون کمانش نشان داد، در هر سه سطح رطوبتی ۷۰٪، ۴۵٪ و ۴٪ با افزایش سرعت اعمال بار، ماکزیمم نیرویی که موجب کمانش ساقه می شود کاهش می یابد و در نتیجه ساقه راحت تر دچار کمانش می شود (جدول ۲). بنابراین تا حد امکان باید از سرعت های پایین برای عبور دادن ساقه از ماشین استفاده نمود. با کاهش رطوبت نیز نیروی کمانش افزایش می یابد؛ به این معنا که احتمال خم شدن ساقه های تر بیشتر است. همچنین با افزایش قطر ساقه نیروی که موجب کمانش می شود افزایش می یابد. شکل ۴ نمودار تغییرات نیرو به قطر ساقه را در سرعت های متفاوت نشان می دهد. معادله مربوط به رابطه نیروی کمانش با قطر، سرعت و رطوبت در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار تغییرات نیرو نسبت به قطر ساقه و سرعت اعمال نیرو در آزمون کمانش

جدول ۳. معادلات روابط بین مشخصات مکانیکی با قطر ساقه در رطوبت های مشخص

مشخصات مکانیکی	رطوبت ۴٪	R <sup>2</sup>	رطوبت ۷۰٪	R <sup>2</sup>
F <sub>c</sub> (N)	$F_c = -1504.77 + 328.60D + 23.33D^2$	0.94	$F_c = 513.97 - 9.09D - 2.02D^2 + 0.06D^3$	0.95
F <sub>s</sub> (N)			$F_s = 39.48 + 42.21D + 7.62S - 0.56D.S + 9.15D^2 - 4.75S^2$	0.67
F <sub>t</sub> (N)	$F_t = 35.09 - 72.16T + 55.10T^2$			0.60
*P <sub>cr</sub> (N)	$1.161D - 20.93S + 4.57M - 17.48DS + 2.52DM + 0.63SM + 6.61D^2 + 2.20S^2$		$18.42M^2$	0.80

F<sub>c</sub>: حداکثر نیروی فشاری قابل تحمل ساقه، F<sub>s</sub>: حداکثر نیروی برای برش پوست بروی ساقه، F<sub>t</sub>: نیروی کششی پوست، F<sub>cr</sub>: نیروی کمانش ساقه، D: قطر، S: سرعت بار گذاری،

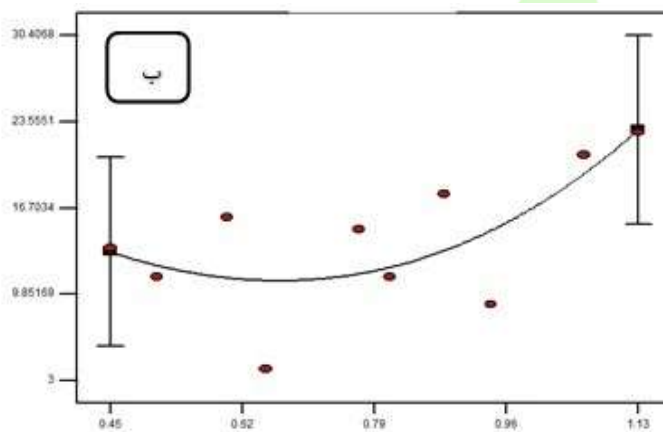
T: ضخامت پوست، \*در معادله P<sub>cr</sub> درصد رطوبت (M) به عنوان یکی از متغیرها در معادله در نظر گرفته شده است





## آزمون مقاومت کششی پوست

به دلیل خاصیت ویژه پوسته ساقه استبرق با کشیده شدن آن بافت سبز پوست پاره شده اما الیاف آن سالم باقی می ماند به عبارتی حین کندن شدن پوست از روی ساقه با عمل کشش پوست، الیاف تا حدی از ساقه بیرون کشیده می شود (شکل ۵.الف). میانگین تنش کششی که موجب پاره شدن پوست می شود همچنین مدول الاستیسیته برای ضخامت بین  $0.4 - 1.3$  mm به ترتیب برابر با  $1.91$  MPa و  $65.77$  MPa می باشد و میانگین انرژی مورد نیاز  $12.48$  J است و با افزایش ضخامت پوست ساقه، ماکزیم نیروی کششی لازم برای پاره کردن آن نیز افزایش می یابد (شکل ۵.ب).



شکل ۵. الف: پوستی که تحت نیروی کششی پاره شده اما الیاف آن سالم است، ب: نمودار نیرو-ضخامت برای کشش پوست

## نتیجه گیری کلی

به دلیل جدایش بهتر الیاف و عدم جاری شدن شیره ساقه در رطوبت  $70\%$ ، این سطح رطوبتی برای ساقه هنگام عبور از ماشین استحصال انتخاب شد. حداکثر نیروی فشاری قابل تحمل در جهت شعاعی در رطوبت  $70\%$  بیش از رطوبت  $4\%$  یا حالت خشک بوده و میزان این نیرو برای بخش های مختلف ساقه  $227/69$  N،  $159/13$  N،  $120/67$  N بود. میانگین ماکزیم نیروی لازم برای برش پوست روی ساقه در بخش بالا، وسط و پایین ساقه ها به ترتیب برابر با  $21/42$  N،  $33/14$  N و  $50/30$  N به دست آمد. ماکزیم نیروی برشی با افزایش قطر افزایش می یابد. با افزایش سرعت اعمال بار، ماکزیم نیرویی که موجب کماتش ساقه می شود کاهش می یابد. بنابراین تا حد امکان باید از سرعت های پایین برای عبور دادن ساقه از ماشین استفاده نمود. با کاهش رطوبت نیز نیروی کماتش افزایش می یابد؛ به این معنا که احتمال خم شدن ساقه های تر بیشتر است. با افزایش ضخامت پوست ساقه، ماکزیم نیروی کششی لازم برای پاره کردن آن نیز افزایش می یابد. میانگین انرژی مورد نیاز برای کشش  $12.48$  J است.

## منابع

- ۱- اخوت، ن. پورحسینی، ر. ابطحی، س. م. حجازی، س. م. (۱۳۸۹). اصلاح رفتار مقاومتی خاک با استفاده از الیاف طبیعی. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- ثابتی، ح. (۱۳۷۳). جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات دانشگاه یزد. ص ۴۱۰.
- ۳- عنایتی ع. ا. (۱۳۸۹). فیزیک چوب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. ص ۹.
- 4- ASAE Standards. 2006. S358.2: 1:1 Measurement Forages (52<sup>nd</sup> Ed) ASAE, St. Joseph, MI.
- 5- Chattopadhyay, P.S., and K.P. Pandey. 1999. Mechanical Properties of Sorghum Stalk in relation to Quasi-static Deformation. J.agric.Engng Res. 73: 199-206.
- 6- Chen, Y., L. Gratton, and J. Liu. 2004. Power requirements of hempcutting and conditioning. Biosystems Engineering, 87(4): 417-424.
- 7- Dewan, S., S. Kumar, and V.L. Kumar. 2000. Antipyretic effect of latex of Calotropis procera. Indian J Pharmacol 32: 252.
- 8- Ferreira, P.M.P., D.F. Farias, J.T.A. Oliveira, and A.F.F.U. Carvalho. 2008. Moringa oleifera: Bioactive compounds and nutritional potential. Rev Nutr 21: 431-437.
- 9- Igathinathan, C., A.R. Womac, and S. Sokhansanj. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. Biosystems Engineering 107: 97-106.
- 10- Ince, C., S. Ugurluay, E. Guzel, and M.T. Ozcan. 2005. Bending and Shearing Characteristics of Sunflower Stalk Residue. Biosystems Engineering. 92(2): 175-181.
- 11- Karus, M., S. Ortmann, and D. Vogt. 2004. Use of natural fibres in composites in the German automotive production 1996 till 2003. Nova-Institute (www.nachwachsenrohstoffe).
- 12- Kiew, K.S., S. Hamdan, and M.R. Rahman. 2013. Comparative Study of Dielectric Properties of chicken Feather/Kenaf Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites. Bioresources 8(2): 1591-1603.
- 13- Li, X., S. Wang, G. Du, W.U. Zhangkang, and M. Yujie. 2013. Variation in physical and mechanical properties of hemp stalk fibers along height of stem. Industrial Crops and Products 42: 344-348.
- 14- Little, E.L., R.O. Woodbury, and F.H. Wadsworth. 1974. Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. Vol.2.Agriculture Handbook 449.U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.1,024p.
- 15- Nazari Galedar, M., A. Jafari, S.S. Mohtasebi, A. Tabatabaefar, A. Sharifi, M.J. O'Dogherty, S. Rafiee, and G. Richard. 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. Biosystems Engineering 101:199-208.
- 16- Prasad, J., and C.P. Gupta. 1975. Mechanical properties of Maize Stalk as Related to Harvesting. J.agric.Engng Res. 20: 79-87.
- 17- Sheelaa, B., S. Mohamed Hussain, P.S. Kumar, V.K. Kalaichelvam, and V.K. Venkatachalam. 2010. Vasodilatation Effect of Latex from Calotropis gigantea in Green Frog Rana hexadactyla. Asian Journal of Medical Sciences 2(1): 22-24.
- 18- Vadlapudi, V., M. Behara, K. Kaladhar, S. kumar, S.V.N. Seshagiri, and M. John. 2012. Antimicrobial profile of crude extracts Calotropis procera and Centella asiatica against some important pathogens. Indian Journal of Science and Technology Vol. 5 No. 8.
- 19- Varshney, A.C., and K.L. Bhoi. 1987. Some Possible Industrial Properties of Calotropis procera (Aak) Floss Fibre. Biological Wastes. 22: 157-161.
- 20- Zhou, D., J. Chen, J. She, J. Ton, and Y. Chen. 2012. Temporal dynamics of shearing force of rice stem. Biomass and Bioenergy 47,109e114.

## Determination of Physical and Mechanical Properties of Calotropis stems in order to design of long warp yarn extracting machine

Nazilla Tarabi<sup>1\*</sup>, Hossein Mousazade<sup>2</sup>, Ali Jafari<sup>3</sup>, Jalil Taghizadeh Tameh<sup>1</sup>

1-MSc Student, Department of Biosystems Engineering, University of Tehran  
Tarabi99@ut.ac.ir

2-Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tehran

3-Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tehran

### Abstract

Nowadays, natural yarns are very important in manufacturing of composites and other industrial products in all over the world. Calotropis that grows at tropic regions of Iran has yarn at its stem that is useful in loom and other industries. Therefore this research is carried out to determine some physical and mechanical properties of Calotropis stems in order to design and construction of long warp yarn extracting machine from Calotropis stems. According to mechanism of mentioned machine, the compression test in radial direction, the buckling test for stem and cutting and tensile test for bark of stem at three moisture content levels 4% w.b., 45% w.b. and 70% w.b. were carried out and effects of variations moisture content, feeding velocity and stem diameter were evaluated. Also extracting of yarn from stem at different moisture contents and densities were studied. For Analyzing of results were used Response Surface Methodology by Design Expert software. The results showed that extracting of yarn at moisture content level 70% w.b with density 1.02 g/cm<sup>3</sup> was satisfactory. Increasing of moisture content caused to increase in the maximum compression force in radial direction. Also bucking force decreased by increasing of feeding velocity and stem moisture. The maximum cutting force for bark was 50.30 N and variation of velocity wasn't have considerable effect. The Average of tensile strength, Young's modulus, and tensile energy for bark were 1.91 Mpa, 65.77 Mpa and 12.48 J respectively.

**Keywords:** Calotropis stem, Physical and mechanical properties, Long warp yarn, Cutting test, Bucking test.