



خصوصیات خمشی و برشی ساقه سه رقم نخود پر کشت در ایران

حسین مصطفی‌وند^۱، سعادت کامگار^۲

۱ و ۲ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز

hmostafavand@gmail.com

تنش خمشی، مدول الاستیسیته و تنش برشی برای ساقه سه رقم نخود پر کشت در ایران به نامهای هاشم، آرمان و فیلیپس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نیروهای خمشی به وسیله آزمایش تیر یک سر گیردار در سه سطح رطوبتی انجام شد و تنش خمشی و مدول الاستیسیته از این داده‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیروهای برشی، از دستگاه اینستران استفاده گردید. برای این منظور فک مخصوص این دستگاه ساخته و به کار گرفته شد. تنش خمشی با افزایش محتوای رطوبتی کاهش یافت. مقدار میانگین تنش خمشی برای ارقام هاشم، آرمان و فیلیپس به ترتیب برابر بود با ۴۲/۸، ۵۸/۲ و ۶۷/۴ مگاپاسکال. مدول الاستیسیته در خمش با افزایش رطوبت و افزایش قطر ساقه کاهش می‌یافت. میانگین مدول الاستیسیته برای هر سه رقم به ترتیب فوق‌الذکر بود با ۲/۵۳، ۲/۹ و ۲/۶۴ گیگاپاسکال. تنش برشی نیز در سه سطح رطوبتی در دو ناحیه مختلف از ساقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش برشی با افزایش رطوبت افزایش می‌یافت. حداکثر مقدار میانگین تنش برشی برای سه رقم فوق‌الذکر به ترتیب برابر بود با ۱۰/۲۳، ۲۰/۲ و ۱۶/۱. مقدار تنش برشی در ناحیه پایینی ساقه به دلیل غیر یکنواختی در ساختار ساقه بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: تنش خمشی و برشی، ساقه نخود، مدول الاستیسیته.

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum L.*) بعد از لوبیا و نخود فرنگی سومین محصول مهم از خانواده حبوبات در دنیا محسوب می‌شود. بر اساس آمار منتشر شده، سطح زیر کشت نخود در ایران ۶۶۰ هزار هکتار می‌باشد که تقریباً نیمی از کل سطح زیر کشت حبوبات کشور را تشکیل می‌دهد. تولید سالانه نخود حدود ۲۹۵۰۰۰ تن با عملکردی معادل ۱۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبی و ۴۰۰ کیلوگرم در شرایط دیم می‌باشد (اسکندری، ۱۳۸۲). برداشت این محصول بیشتر به صورت سنتی است و یکی از لازمه‌های مکانیزه کردن این محصول برداشت ماشینی آن می‌باشد. با توجه به ارزش غذایی کاه و کلش آن برای دام، استفاده از ابزارهای برشی برای تهیه کاه و کلش ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. خصوصیات فیزیکی مواد گیاهی شامل کشش، فشار، خمش، دانسیته و اصطکاک می‌باشد. این خصوصیات بستگی به گونه، رقم، قطر ساقه و محتوای رطوبتی دارد (پرسون، ۱۹۸۷). این خصوصیات همچنین در ارتفاع مختلف ساقه متفاوت است. بنابراین لازم است که

خصوصیات فیزیکی-مکانیکی مانند خمش و برش برای طراحی تیغه های مناسب و دیگر پارامترها تعیین گردد.

علائم و اختصارات	
انحراف ساقه تحت بار D	ممان اینرسی سطح مقطع بر حسب I میلتر به فوه چهار
F نیروی خمشی بر حسب نیوتون	تنش برشی ساقه بر حسب مگاپاسکال τ
L طول تیر دو سر گیردار بر حسب میلیمتر	سطح مقطع ساقه بر حسب میلیمتر مربع A
C مقدار ثابت (۱/۳) برای تیر دو سر گیردار	قطر خارجی ساقه بر حسب میلیمتر Y
M_b گشتاور خمشی بر حسب نیوتون میلیمتر	

خصوصیات مکانیکی گیاهان توسط پژوهشگران زیادی مورد تعیین و بررسی قرار گرفته است. از جمله کورتیس و هندریک (۱۹۶۹)، مدول الاستیسیته را در تست خمش برای پنبه مورد بررسی قرار دادند آنها دریافتند که مدول با توان سوم قطر از ۷ تا ۱۶ میلیمتری ساقه رابطه مستقیم دارد. آنها این مقدار را ۶۰۰ تا ۳۵۰۰ مگاپاسکال ذکر کردند. پرینس و همکاران (۱۹۶۹)، مدول سختی نمونه های خشک شده یونجه را با حالت سبز آن مورد مطالعه قرار دادند. آنها مقادیر ۱/۴۵ و ۰/۲۲۵ گیگاپاسکال را به ترتیب برای خشک و سبز گزارش دادند. چاتوپادهیای و پاندی (۱۹۹۹) مقادیر تنش خمشی برای ساقه سورگوم را ۴۰/۵۳ و ۴۵/۶۵ مگاپاسکال در دو حالت سیلویی و دانه ای گزارش کردند. پراساد و گوپتا (۱۹۷۵) تاکید کردند که سطح مقطع و محتوای رطوبتی تاثیر معنی داری بر روی انرژی برش و حداکثر نیروی برشی دارد. اسحاق بیگی و همکاران (۲۰۰۹) خصوصیات فیزیکی-مکانیکی گندم رقم الوند را مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش دادند که با کاهش رطوبت، تنش برشی و نیروی برشی نیز کاهش می یابد. همچنین نیروی برشی با افزایش ارتفاع برش کاهش می یافت. مدول الاستیسیته و تنش خمشی نیز با افزایش رطوبت و افزایش ارتفاع برش کاهش می یافت. چن و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که مقدار میانگین ماکزیموم نیرو برای گیاه شاه دانه ۲۴۳ نیوتون است. همچنین اینس و همکاران (۲۰۰۵) خصوصیات خمشی و برشی ساقه آفتابگردان را مورد مطالعه قرار دادند آنها گزارش کردند که مدول الاستیسیته در خمش با افزایش قطر و افزایش رطوبت کاهش می یابد همچنین تنش برشی با افزایش محتوای رطوبتی محصول افزایش می یافت آنها مقدار بیشینه تنش برشی را ۱/۰۷ مگاپاسکال گزارش کردند. هدف از این تحقیق تعیین تنش خمشی، مدول الاستیسیته در خمش و تنش برشی در دو ناحیه بالا و پایینی ساقه، سه رقم نخود پر کشت در ایران تحت سه سطح رطوبتی می باشد.

مواد و روش ها

۱- آزمایشات خمشی

سختی ساقه ها در طی عملیات برداشت بستگی به مدول صلابت مواد دارد. مدول صلابت به صورت حاصلضرب EI بیان می شود که در آن E مدول الاستیسیته در خمش می باشد بر حسب مگا پاسکال و I ممان اینرسی سطح مقطع بر حسب میلیمتر به قوه چهار می باشد (کانافوجیسیکی و کاراوسکی، ۱۹۷۲). آزمون خمشی به دو طریق انجام می گیرد. در یک روش ساقه را مانند یک تیر یک سر گیردار مورد آزمایش قرار می دهند و در روش دیگر ساقه توسط دو پایه شبیه به تیر دو سر تکیه گاه تحت مطالعه قرار می گیرد. در این تحقیق ساقه ها به روش تیر دو سر تکیه گاه مورد بررسی قرار گرفتند (پرسون، ۱۹۸۷). ساقه ها تقریباً در یک ضخامت مشابه توسط نیرویی که از فک بالایی دستگاه اینستران مدل سانتام با لودسلی با دقت ۰/۰۱ نیوتون تامین می شد منحرف می شدند. نیروی خمشی در انحراف ۳۵ میلی متر برای کلیه ساقه ها ثبت می شد (رابطه ۱). با داشتن مقدار قطر برای کلیه ساقه ها مقاومت خمشی توسط کامپیوتر ثبت می شد.

$$D = C \times F \times \left(\frac{L^3}{EI} \right) \quad (1)$$

به منظور تعیین مقاومت خمشی، آزمایش تحت شرایط شبه استاتیک (چاتوپادهای و پاندی، ۱۹۹۹) در سه محتوای رطوبتی مختلف انجام گرفت. منحنی مربوطه در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این آزمایش، ساقه ها در یک ضخامت برابر مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برگها و قسمت های زائد از ساقه ها جدا گردید. به منظور تعیین محتوای رطوبتی ساقه ها در روز آزمایش، چند نمونه از ساقه ها در مزرعه جمع آوری و در آون در دمای ۱۰۲ در طی ۲۴ ساعت خشک گردید. تنش خمشی بر حسب مگاپاسکال با استفاده از معادلات ۲ و ۳ اندازه گیری شد (آنوسامی و همکاران، ۲۰۰۰). ساقه نخود استوانه ای توخالی است که این مورد در محاسبات در نظر گرفته شد.

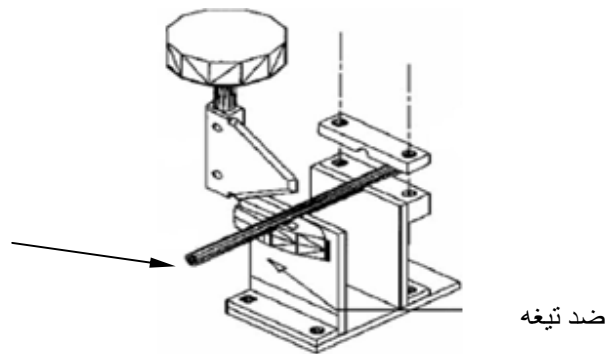
$$M_b = F_b \times L \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{M_b y}{I} \quad (3)$$

۲- آزمایشات برشی

روش های متفاوتی برای قرار دادن لبه تیغه متحرک در برابر تیغه ثابت وجود دارد از آن جمله روش عمود بر هم، مایل و مایل متغیر. در این مطالعه از روش مایل استفاده گردید که در آن زاویه لبه تیغه ۲۴ درجه و زاویه مایل بین تیغه و ضد تیغه ۴۰ درجه انتخاب گردید. به منظور تعیین نیروی برشی هر سه ساقه نخود، فک ثابت و متحرک برای اتصال به دستگاه اینستران ساخته شد (شکل ۳). دستگاه اینستران از طریق پورت مخصوص به کامپیوتر وصل می شد. آزمایشات برشی در سرعت ثابت ۲۰ میلیمتر بر دقیقه، در سه تکرار و در سه محتوای رطوبتی ۷، ۱۵ و ۳۰ در صد بر مبنای خشک و در دو ناحیه بالا و پایینی ساقه انجام گرفت. مقدار ضخامت ساقه ها با هم برابر و در طی آزمایش مقدار نیروی برشی برای هر ساقه ثبت گردید. تنش برشی بر حسب مگاپاسکال با استفاده از رابطه ۴ بدست می آمد (محسنین، ۱۹۷۰). ناحیه پایینی ساقه در فاصله سه

سانتی متری از گره اول ساقه و ناحیه بالایی ساقه از ارتفاع ۹ سانتی متری ساقه انتخاب گردید. در این آزمایش ضخامت مورد نظر در دو ناحیه سه میلی متر، با دقت ۰.۱ میلیمتر در نظر گرفته شد.



شکل ۳- فک ساخته شده متصل به دستگاه اینسترن برای برش ساقه

لودسل

نگهدارنده ساقه

تیغه متحرک

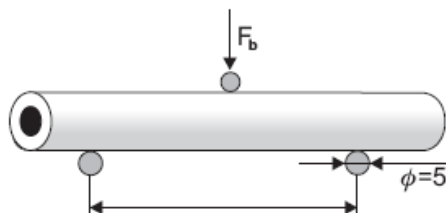
$$\tau = \frac{F_{\max}}{A}$$

ساقه

۳- مدول الاستیسیته

به منظور بررسی تغییر ضریب الاستیسیته ساقه، رقم آرمان انتخاب شده و آزمایشات در سه محتوای رطوبتی در ضخامت های متفاوت انجام گرفت. برای بدست آوردن این پارامتر از رابطه ۵ استفاده گردید (پرسون، ۱۹۸۷).

$$E = \frac{F_b \cdot L^3}{48 \Delta Y_b I} \quad \text{و} \quad I = \frac{\pi}{64} (\phi_2^4 - \phi_1^4) \quad (5)$$



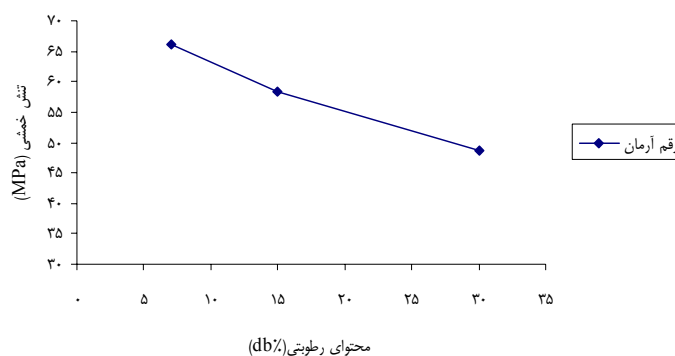
شکل ۳- روش انجام گرفته برای اندازه گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

طرح آزمایشی

برای انجام آزمایشات از یک طرح آزمایش کورت های خرد شده در قالب بلوک های کامل تصادفی استفاده شد. متغیرهای مستقل مقدار رطوبت، ضخامت ساقه و نواحی ارتفاعی بودند. متغیر وابسته مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت برشی بود. سطوح مقدار رطوبت ۷، ۱۵ و ۳۰ درصد بر مبنای وزن تر بودند. سطوح نواحی ارتفاعی، ناحیه فوقانی و تحتانی بودند. تعداد تکرارهای بکار رفته بین ۱۰ تا ۱۵ تکرار به ازای هر ترکیب از پارامتر های آزمایشی بود. اطلاعات بدست آمده بصورت آماری و با استفاده از نرم افزار Spss 13 تجزیه و تحلیل شد و نمودارها در نرم افزار Excel کشیده شد.

نتایج و بحث:

نمودار تغییرات تنش خمشی بر حسب محتوای رطوبتی برای رقم آرمان و سپس برای هر سه رقم در مقایسه با هم ترسیم شده است. هنگامی که محتوای رطوبتی افزایش می یابد تنش خمشی کاهش می یابد (شکل ۴). این نتیجه توسط آنوسامی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شد. میانگین مقادیر تنش خمشی در رطوبت های مختلف در نمودار مربوطه نمایش داده شده است.

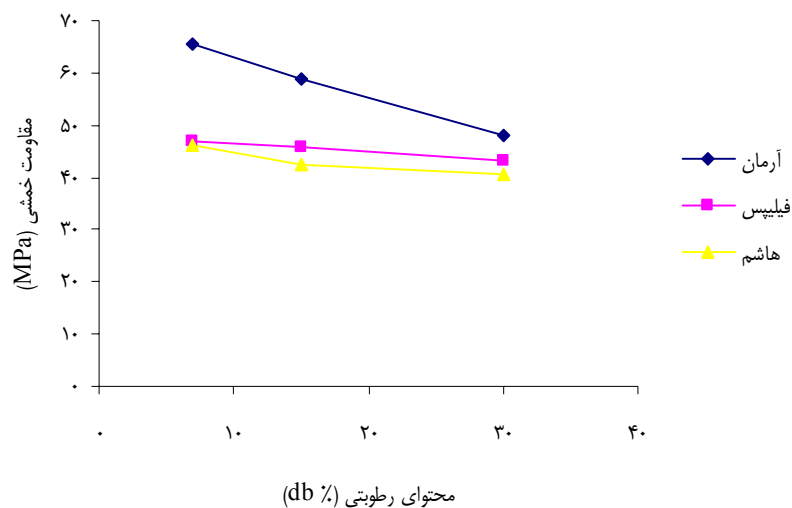


شکل ۴- اثر محتوای رطوبتی بر روی تنش خمشی برای رقم آرمان

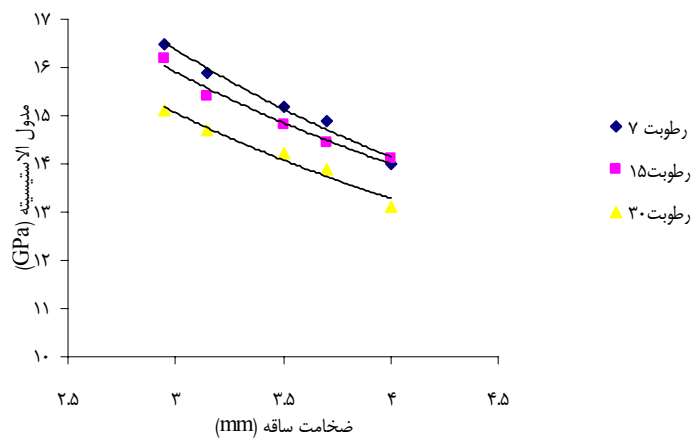
مقدار میانگین مقاومت خمشی در رطوبت کم، ۴۰ در صد بیشتر از میانگین مقاومت خمشی در رطوبت بالا بود. محتوای رطوبتی اثر معنی داری بر روی تنش خمشی در سطح ۰.۰۱ داشت. نمودار تست خمش در سه سطح محتوای رطوبتی برای هر سه رقم در مقایسه با هم مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵).

تجزیه آماری نشان داد که رقم اثر معنی داری در مقدار بیشینه تنش خمشی ندارد اما محتوای رطوبتی در هر سه رقم اثر معنی داری در سطح ۰.۰۱ برای رقم آرمان و در سطح ۰.۰۵ در دو رقم هاشم و فیلیپس دارد. مدول الاستیسیته با افزایش محتوای رطوبتی و افزایش قطر ساقه کاهش می یافت. اختلاف بین مقادیر مدول الاستیسیته در رطوبت بالا و پایین برای ضخامت ۲.۹ میلیمتر ۲۷ درصد بود. مقادیر میانگین مدول الاستیسیته،

۱۵.۳، ۱۴.۹۹ و ۱۴.۲ به ترتیب برای رطوبت های ۷، ۱۵ و ۳۰ درصد بود. اثر محتوای رطوبتی و ضخامت ساقه روی مدول الاستیسیته در سطح ۰.۱ معنی دار بود. همانطور که در شکل ۶ می بینید اثر ضخامت ساقه در محتوای رطوبتی کم کاهش یافته است.



شکل ۵- اثر محتوای رطوبتی بر بیشینه مقاومت خمشی در هر سه رقم

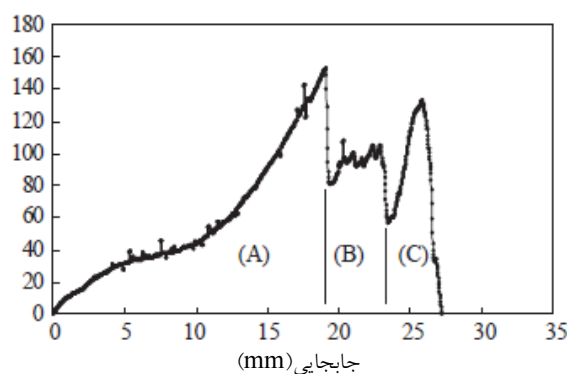


شکل ۶- اثر قطر ساقه و محتوای رطوبتی بر مدول الاستیسیته برای رقم آرمان

اینس و همکاران (۲۰۰۵) نیز اثر ضخامت ساقه و محتوای رطوبتی را بر مدول الاستیسیته ساقه آفتابگردان در سطح ۰.۱ معنی دار گزارش کردند.

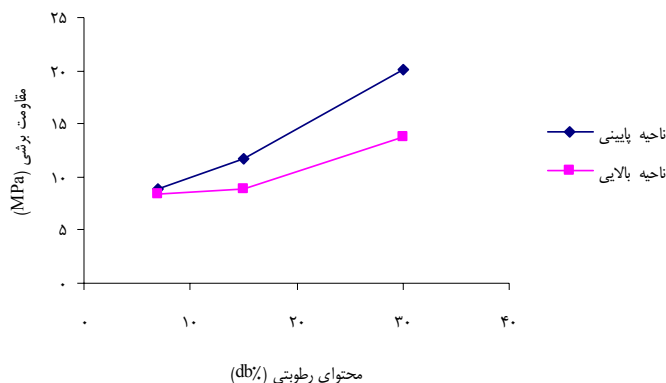
تنش برشی

ساقه گیاه نخود دارای بافت فیبری است و سطح مقطع لوله ای شکل دارد. بافت خشبی آن باعث شده که این گیاه قبل از برش، تحت فشار قرار بگیرد. به عبارتی دیگر خواص برشی ساقه بعد از فشار آن اتفاق می افتد. به عنوان مثال منحنی نیرو، تنش برشی در شکل ۷ نمایش داده شده است. منحنی دارای سه بخش است، در بخش A لبه تیغه برشی با ساقه در تماس است. نیرو در حال افزایش است تا جاییکه گسیختگی در ساختار ساقه رخ دهد. به علت گسیختگی در ساقه، نیرو کاهش می یابد. بنابراین در بخش B، فشار تا لحظه برش ادامه می یابد و در نقطه C ساقه بریده می شود.

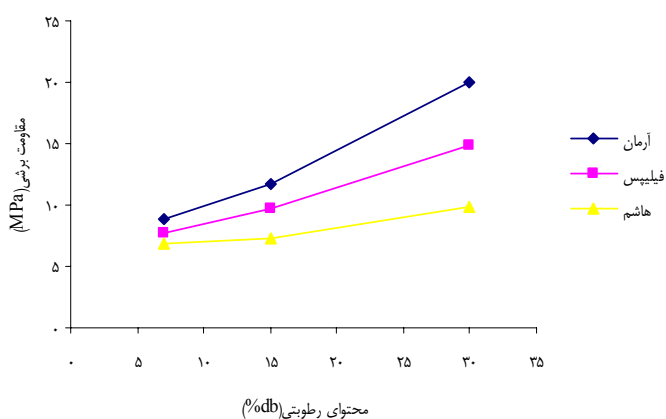


شکل ۷- منحنی نیرو-جابجایی برای ساقه نخود.

مقدار تنش برشی برای ساقه آرمان با افزایش رطوبت افزایش می یافت. به طوری که در رطوبت ۳۰ درصد بیشترین مقدار را در نواحی بالایی و پایینی ساقه دارا بود. نتایج نشان داد که در ناحیه پایینی ساقه مقاومت برشی بیشتر از ناحیه بالایی بود. شکل ۸ تغییرات تنش برشی با محتوای رطوبتی را نشان می دهد. چانسولور (۱۹۵۸) و آناسومی (۲۰۰۰) رابطه نمایی بین مقاومت برشی و محتوای رطوبتی گزارش کردند. بیشترین مقدار تنش برشی برای ناحیه پایینی ساقه و در رطوبت ۳۰ درصد برابر ۲۱/۱۵ مگاپاسکال بود، در حالیکه کمترین مقدار در ناحیه بالایی و در کمترین مقدار رطوبت و به میزان ۷/۹ مگاپاسکال بود. اختلاف مقادیر مقاومت برشی در هر دو ناحیه ساقه هنگامی که محتوای رطوبتی کاهش می یافت کم می شد. دلیل این امر را می توان کاهش اختلاف دانسیته بین ناحیه ها در محتوای رطوبتی کم دانست. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رطوبت اثر معنی داری در سطح ۱۰ درصد بر مقاومت برشی دارد اما ناحیه برشی اثر معنی داری را نشان نداد. همچنین اثر متقابل محتوای رطوبتی و ناحیه برشی اثر معنی داری را نشان نداد. اینس و همکاران (۲۰۰۵)، تنها در محتوای رطوبتی بالاتر از ۵۰ درصد اثر معنی داری در سطح ۱۰ درصد برای مقاومت برشی ساقه آفتابگردان گزارش کردند.



شکل ۸- تغییرات مقاومت برشی با محتوای رطوبتی در دو ناحیه بالایی و پایینی



شکل ۹- تغییرات مقاومت برشی با محتوای رطوبتی در هر سه رقم

شکل ۹ تغییرات مقاومت برشی با محتوای رطوبتی سه رقم ساقه نخود را نشان می‌دهد. در بین ارقام، رقم آرمان بیشترین مقادیر مقاومت برشی را در کلیه محتوای رطوبتی دارا بود. به طوریکه کمترین مقدار میانگین مقاومت برشی برای رقم هاشم و به میزان ۷/۱ مگاپاسکال و بیشترین مقدار میانگین مقاومت برشی برای رقم آرمان و به میزان ۱۸/۹ مگاپاسکال بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم تنها در سطح ۱۰ درصد معنی دار بود.

سپاسگزاری

در پایان از دکتر امین الله معصومی عضو هیئت علمی بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی و همچنین بخش صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان برای مهیا کردن وسایل آزمایشگاهی این پروژه تشکر می‌کنیم.

منابع

اسکندری، ا. ۱۳۸۲. اثر روش های مختلف خاکورزی و کاشت بر رطوبت خاک و عملکرد نخود در شرایط دیم. نهال و بذر ۱۹: ۵۱۱-۴۹۷.

Annoussamy M., Richard G., Recous S., and Guerif J., 2000. Change in mechanical properties of wheat straw due to decomposition and moisture. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(6), 657-664.

Chancellor W J (1958). Energy requirements for cutting forage. *Agricultural Engineering*, 39(10), 633-640

Chattopadhyay P S; Pandey K P (1999). Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 199-206

Chen Y; Gratton J L; Liu J (2004). Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering*, 87(4), 417-424

Curtis L M; Hendrick J G (1969). A study of bending strength properties of cotton stalk. *Transactions of the ASAE*, 12(1), 39-45

Esehaghbeygi A, Hoseinzadeh B, Khazaei M, Masoumi A (2009). Bending and Shearing Properties of Wheat Stem of Alvand Variety. *World Applied Sciences Journal* 6 (8): 1028-1032, 2009.

İnce, A., S. Uğurluay, E. Güzel and M.T. Özcan. 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering* 92: 2, 175-181

Kanafojiski Cz; Karwowski T (1972). *Agricultural Machines, Theory and Construction*, Vol. 2. US Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, pp 25-60

Prasad J; Gupta C B (1975). Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20(1), 79-87

Persson S., 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material*. ASAE Publications, Michigan.

Prince R. P., Bartok T. W., and Bradway D. M., 1969. Shear stress and modulus of elasticity of selected forages. *Transactions of the ASAE.*, 12(3), 426-429.