

مشخصه های خمشی و برشی ساقه یونجه (۳۶۷)

مهرداد نظری گله دار^۱، احمد طباطبائی فر^۲، علی جعفری^۳، احمد شریفی مالواجردی^۴، حامد توکلی^۵

چکیده

در این تحقیق تنش خمشی، مدول الاستیسیته، تنش برشی و انرژی برشی ساقه یونجه (*Medicago Sativa L.*) تعیین شد. نیروهای خمشی در رطوبت های مختلف اندازه گیری و تنش خمشی و مدول الاستیسیته از این اطلاعات محاسبه گردید. به منظور اندازه گیری نیروهای برشی نمونه های ساقه، از یک دستگاه برش متصل به کامپیوتر استفاده شد. انرژی برشی با استفاده از سطح زیر منحنی نیروی برشی، تغییر شکل (جابه جایی) محاسبه شد. آزمایشات در رطوبت های ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ درصد بر مبنای وزن تر انجام شد. تنش خمشی با افزایش رطوبت ساقه ها، کاهش نشان داد. مقدار تنش خمشی در رطوبت های پائین تقریباً سه برابر مقدار آن در رطوبت های بالا بدست آمد و مقدار آن از ۹/۷۱ تا ۴۷/۴۹ مگاپاسکال متغیر بود. همچنین مدول الاستیسیته در خمش با افزایش مقدار رطوبت و قطر ساقه ها، کاهش یافت و در محدوده ۰/۷۹ تا ۳/۹۹ گیگاپاسکال قرار داشت. نتایج نشان داد که میزان تنش برشی و انرژی برشی در اثر افزایش محتوای رطوبت، افزایش یافت. بیشترین استحکام برشی و انرژی برشی به ترتیب ۲۸/۱۹ مگاپاسکال و ۳۴۵/۸ مگاژول بدست مد.

کلیدواژه: یونجه، تنش خمشی، مدول الاستیسیته، تنش برشی، انرژی برشی

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران، پست الکترونیک: mehrdad_n_g@yahoo.com
- ۲- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران
- ۳- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران
- ۴- استاد یار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران

۱- مقدمه

یونجه به عنوان یک منبع سرشار پروتئین، ویتامین ها و مواد معدنی، مهمترین گونه ی علوفه دام در ایران است. اطلاعات درباره ی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه یونجه در طراحی ماشین های کشاورزی نظیر دروگرها، بسته بندها (بیلرها) و چپرها دارای اهمیت بسیاری است. نبود دانش درباره ی خواص فیزیکی ساقه یونجه، توسط مهندسان مرتبط با وسایل برش علوفه مورد توجه قرار گرفته است [۱۹ و ۲۵]. یکی از دلایل اولیه ی این فقدان اطلاعات درباره خصوصیات فیزیکی مواد علوفه ای، تنوع زیادی است که در خواصشان وجود دارد. دلیل دیگر فقدان شیوه و روال تثبیت شده و تجهیزات مربوطه، برای استفاده در تعریف این خواص است [۱۰]. بیشتر مطالعات روی خواص مکانیکی گیاهان در طول رشدشان و با استفاده از معیارهای گسیختگی آنها (نیرو، تنش و انرژی) و یا مدول الاستیسیته انجام شده است. تحقیقات بیشتر روی آناتومی گیاه، پروسه های انبارداری، بهینه سازی برداشت، تغذیه حیوانات، کاربردهای صنعتی و تجریه کاه باقی مانده از محصول در داخل خاک متمرکز شده است [۲ و ۲۰]. خواص فیزیکی مهم مواد سلولی در برش عبارتند از: فشردگی، کشش، خمش، چگالی و اصطکاک. این خواص به گونه، وارسته، قطر ساقه، رسیدگی، مقدار رطوبت و ساختار سلولی گیاه بستگی دارند [۳ و ۲۴]. این خواص فیزیکی همچنین در ارتفاعات مختلف ساقه ی گیاه از سطح زمین متفاوت است. بنابراین تعیین خواص فیزیکی - مکانیکی ای نظیر تنش برشی و خمشی و انرژی لازم برای برش، در طراحی تیغه مناسب و برای تعیین پارامترهای عملیاتی ضروری است [۱۵].

هال و همکاران^۱ (۱۹۶۷) خواص ویسکوالاستیک ساقه یونجه را مطالعه کردند. آنها دریافتند که ساقه یونجه بیشتر مثل مواد ویسکوالاستیک رفتار می کند تا مواد ویسکو پلاستیک. هالیک^۲ (۱۹۶۲) استحکام برشی و کششی ساقه یونجه را تعیین کرد و معادلات رگرسیون استحکام کششی را نسبت به رطوبت و چگالی توسعه داد.

درند^۳ (۱۹۷۰) یک روش جعبه برش (Shear Box Method) برای اندازه گیری استحکام برشی یک مجموعه ای از مواد علوفه ای بکار برد. او در دو سری از آزمایش ها رنج های ۸۸-۲۵ مگاپاسکال و ۱۲۸-۵۹ مگاپاسکال را به ترتیب در ماکزیمم رطوبت های ۲۰٪ و ۳۵٪ بدست آورد.

فرم منحنی های مربوط به استحکام برشی و مقدار رطوبت مشابه نتیجه ای است که توسط لیلجدال و همکاران^۴ (۱۹۶۱) برای انرژی مخصوص مورد نیاز برای برش بن علوفه بدست آمده است. اندازه گیری استحکام برشی شش وارسته کاه گندم توسط اودقوتی و همکاران^۵ (۱۹۹۵) محدوده ی ۸/۵-۵/۴ مگاپاسکال را نشان داد. کوشواها و همکاران^۶ (۱۹۸۳) مقدار استحکام برشی کاه گندم را از ۸/۶ تا ۱۳ مگاپاسکال، با قدری وابستگی به مقدار رطوبت گزارش کردند.

سایر محققین انرژی مورد نیاز برای برش مواد را اندازه گیری کرده اند. مکراندال و مکنولتی^۷ (۱۹۸۰)، آزمایشات برشی را روی چمن انجام دادند و به تنش برشی ۱۶ مگاپاسکال و انرژی برشی ۱۲ میلی ژول بر میلی متر مربع پی بردند. پراساد و گوپتا^۸ (۱۹۷۵) تأکید کردند که سطح مقطع و درصد رطوبت محصول، تأثیر معنی داری روی انرژی برشی و نیروی برشی ماکزیمم دارد. همچنین نتایج مشابهی توسط چوی و ارباچ^۹ (۱۹۸۶) گزارش شده است.

ساخارف و همکاران^{۱۰} (۱۹۸۴) گزارش دادند که نیروی لازم برای بریدن ساقه های کشیده و دراز ۵۰ درصد کمتر از مقدار آن برای ساقه های شل و نرم است. چن و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۴) متوسط مقدار نیروی ماکزیمم و انرژی برشی کل برای بوته شاهدانه را به

1 Hall et al. (1967)

2 Halyk (1962)

3 Dervede (1970)

4 Liljdall et al (1961)

5 O'Dogherty et al (1995)

6 Kushwaha et al (1983)

7 McRandal and McNulty (1980)

8 Prasad and Gupta (1975)

9 Choi and Erbach (1986)

10 Sakharov et al (1984)

11 Chen et al. (2004)

ترتیب ۲۴۳ یوتن و ۲/۱ ژول یافتند. کورتیس و هندریک^۱ (۱۹۶۹) تشخیص دادند که مدول مقطع در خمش با توان سوم قطر برای ساقه های پنبه با قطرهای ۷ تا ۱۶ میلی متر، تغییر می کند. بر طبق یافته های این دو مدول الاستیسیته از ۶۰۰ تا ۳۵۰۰ مگاپاسکال متغیر بود. اودقرتی و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که مدول الاستیسیته برای کاه گندم بزرگی به اندازه ۴/۷۶ تا ۶/۵۸ گیگاپاسکال داشت. چاتوپادحیای و پاندی^۲ (۱۹۹۹) تنش خمشی ساقه ی سورگوم را ۴۰/۵۳ و ۴۵/۶۵ مگاپاسکال به ترتیب در مرحله بذر دهی و مرحله علوفه تعیین کردند.

هیچگونه مطالعه ای روی تنش خمشی ساقه یونجه انجام نشده و اطلاعاتی در مورد مدول الاستیسیته آن وجود ندارد. هدف این تحقیق اندازه گیری مشخصه های برشی و خمشی ساقه یونجه و تعیین رابطه ای بین این مشخصه ها با درصد رطوبت و ارتفاع نواحی ساقه یونجه است.

۲- مواد و روش ها

این تحقیق به منظور تعیین تنش خمشی، مدول الاستیسیته، تنش برشی و انرژی برشی ساقه یونجه به عنوان یک تابعی از درصد رطوبت و ارتفاع نواحی انجام شد. به منظور تعیین محتویات رطوبتی متوسط ساقه یونجه، در تاریخ آزمایش، نمونه هایی از مزرعه جمع آوری و وزن شدند و سپس در داخل آون و در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس در مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و دوباره وزنشان اندازه گیری شد [۱]. با اندازه گیری مقدار رطوبت نمونه ها، رطوبت های ۱۰٪، ۲۰٪، ۴۰٪ و ۸۰٪ بر مبنای وزن تر ایجاد شده و آزمایشات در این درصد رطوبت ها انجام شد. قطر ساقه یونجه به طرف بالای گیاه کاهش می یافت. بنابراین ساقه به سه ناحیه ی ارتفاعی مساوی با عنوان ناحیه ی فوقانی، میانی و تحتانی تقسیم شد. قطر بزرگتر ساقه ها در ناحیه های فوقانی، میانی و تحتانی به ترتیب در رنج ۲/۶۰-۱/۹۷، ۳/۷۲-۳/۴۹ و ۴/۰۴-۳/۴۱ میلی متر متغیر بود. قطر کوچک ساقه ها در نواحی فوقانی، میانی و تحتانی به ترتیب بین ۲/۲۵-۱/۶۱، ۳/۳۶-۲/۷۷ و ۳/۸۹-۳/۱۱ میلی متر متغیر بود.

۲-۱- شیوه آزمایش

۲-۱-۱- آزمایش خمشی

مقاومت و سفتی ساقه ها در طول برداشت، به سختی موادشان بستگی دارد. مدول سختی ساقه بوسیله حاصلضرب EI بیان می شود که در آن E مدول الاستیسیته در خمش و برحسب Mpa و I ممان اینرسی سطح مقطع برحسب mm⁴ می باشد [۱۶]. برای اندازه گیری مدول الاستیسیته، ساقه ها بر اساس محور بزرگتر مقطع عرضی در یک صفحه ی افقی مرتب شده و روی دو تکیه گاه فلزی ۵۰ میلی متری جدا از هم، قرار داده شدند و سپس وسط فاصله ی بین دو تکیه گاه با استفاده از صفحه ی بارگذاری که روی پایه های قابل حرکت قرار داده شده، بارگذاری شد (شکل ۱). سرعت بارگذاری ۱۰ میلی متر بر دقیقه بود و نیروی خمشی توسط یک لودسل استرین گیجی اندازه گیری شد و تغییرات نیرو-زمان تا هنگام گسیختگی نمونه ها ثبت شد. بیشتر نمونه ها دارای سطح مقطع تقریباً بیضوی بودند؛ بنابراین گشتاور دوم سطح در خمش حول محور بزرگتر (I_b) از فرمول زیر محاسبه شد [۱۱]:

$$I_b = \frac{\pi}{4} [ab^3 - (a-t)(b-t)^3] \quad (1)$$

که در آن a نصف قطر بزرگتر مقطع عرضی برحسب mm، b نصف قطر کوچکتر مقطع عرضی برحسب mm و t ضخامت متوسط دیواره برحسب mm می باشد.

مدول الاستیسیته یونجه با استفاده از یک آزمایش خمش سه نقطه ای شبیه آنچه که توسط کروک و نوس^۳ (۱۹۹۴) توصیف شده، ارزیابی شد. مدول الاستیسیته، E، طبق گفته های کروک و نوس (۱۹۹۴) برای تیری که در دو طرف دارای تکه گاه ساده است و در وسط بارگذاری شده، از فرمول زیر محاسبه شد:

1 Curtis and Hendrick (1969)

2 Chattopadhyay and Pandey (1999)

3 Crook and Ennos (1994)

$$E = \frac{F_b l^3}{48 \delta I_b} \quad (2)$$

که در آن F_b نیروی اعمال شده بر حسب N، l فاصله بین دو تکه گاه فلزی بر حسب mm، δ جابجایی عمودی وسط نمونه بر حسب mm و I_b گشتاور دوم سطوح بر حسب mm^4 می باشد. تنش ماکزیمم خمشی، σ_b ، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [۷ و ۱۱]:

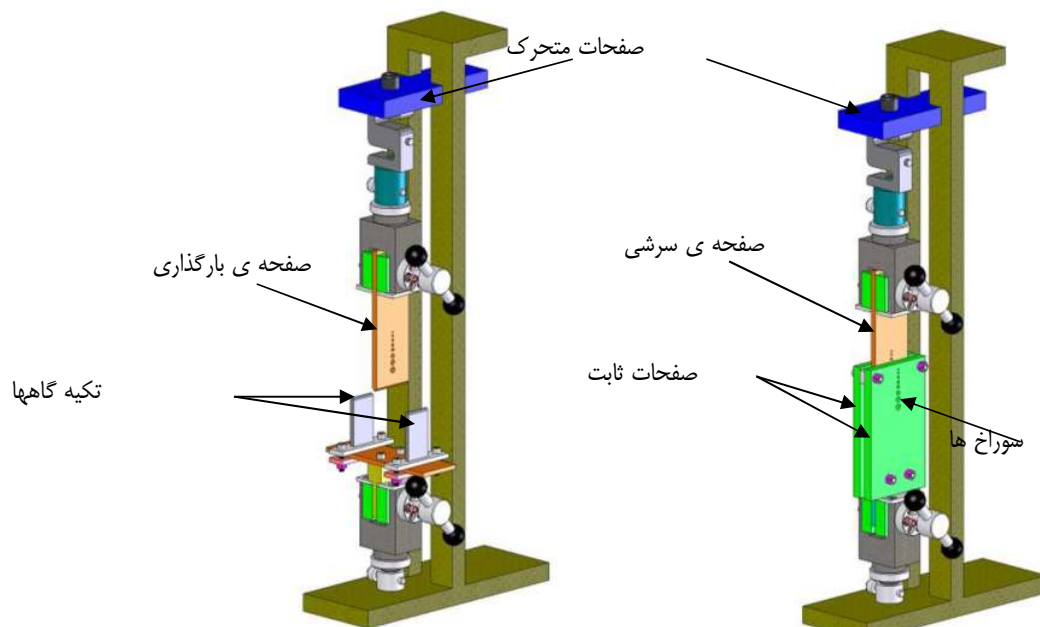
$$\sigma_b = \frac{F_b a l}{4 I_b} \quad (3)$$

۲-۱-۲- آزمایش برش

به منظور تعیین نیروی برشی ساقه یونجه از یک دستگاه برش آزمایشگاهی استفاده شد (شکل ۲). استحکام برشی در برش دوپل با استفاده از یک جعبه برش (Shear Box) که به طور کلی تشکیل شده از دو صفحه ی فولادی سخت شده ی ۶ میلی متری که موازی و جدا از هم ثابت شده اند و بینشان یک صفحه سومی می تواند آزادانه و چسبیده به دو صفحه دیگر سر بخورد، اندازه گیری شد (شکل ۲). یک سری سوراخ با قطرهای ۱/۵ تا ۵ میلی متر در روی صفحات برای تطبیق با قطرهای مختلف نمونه ها ایجاد شد (شکل ۲). نیروی برشی با نصب جعبه برش روی یک ماشین تست فشار-کشش اختصاصی، به نمونه ها اعمال شد. صفحه سرشی با سرعت ۱۰ میلی متر بر دقیقه بارگذاری شد و نیروی اعمالی بوسیله یک لودسل استرین گیجی اندازه گیری شد و تغییرات نیرو- زمان تا هنگام گسیختگی نمونه ها ثبت شد. تنش برشی گسیختگی نمونه ها (یا استحکام نهایی برش)، τ_s از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\tau_s = \frac{F_s}{2A} \quad (4)$$

که در آن F_s نیروی برشی در هنگام گسیختگی بر حسب نیوتن و A مساحت سطح دیواره ی نمونه ها در هنگام گسیختگی بر حسب mm^2 می باشد. انرژی برشی با استفاده از سطح زیر منحنی نیروی برشی- تغییر شکل محاسبه شد [۴ و ۵]. برای این منظور سطح زیر نمودار به شکل های هندسی اصلی تقسیم شد و محاسبه ی سطح زیر نمودار نیروی برشی - تغییر شکل با استفاده از یک برنامه کامپیوتری انجام شد.

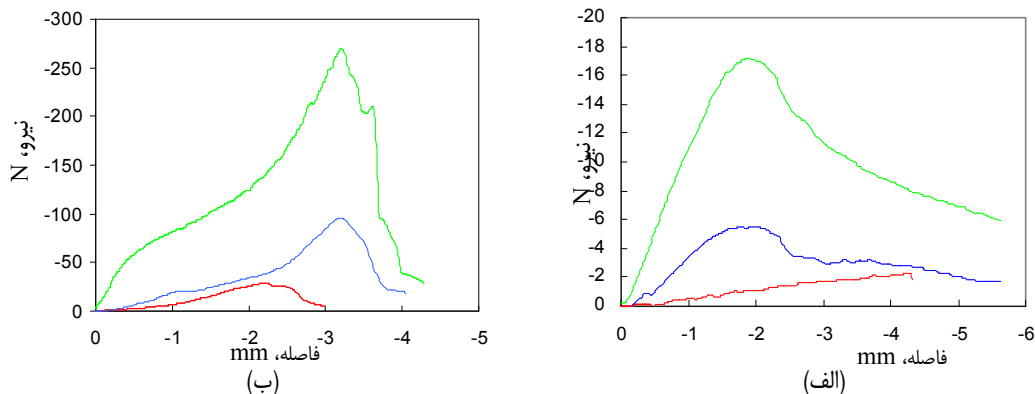


شکل ۱) دستگاه اندازه گیری مدول الاستیسیته

شکل ۲) دستگاه اندازه گیری استحکام برشی

۳- نتایج و بحث

شکل ۳ نمونه هایی از نیروهای ثبت شده در طول تست های خمش و برش بر اساس فاصله طی شده توسط صفحات متحرک و در نواحی ارتفاعی سه گانه را نشان می دهد. ساقه یونجه یک ماده ی فیبره ای است که دارای مقطع لوله ای می باشد. برش فیبرها بوسیله فشردگی ای که باعث متلاشی شدن لوله های توخالی قبل از جدا شدن فیبرها می شود، حاصل می گردد. به عبارت دیگر، این نشان دهنده خواص برش یکپارچه ساقه یونجه بعد از فشردگی است. معیارهای مکانیکی مورد بررسی، معیارهای گسیختگی (نیروی ماکزیمم، تنش ماکزیمم و انرژی مورد نیاز برای گسیختگی) و مدول الاستیسیته بودند.



شکل ۳ تغییرات نیرو در مقابل فاصله ای که صفحه ی متحرک طی می کند در طول (الف) تست خمش (ب) تست برش. (●) ناحیه ی فوقانی، (●) ناحیه ی میانی و (●) ناحیه ی تحتانی

۱-۳- تنش خمشی

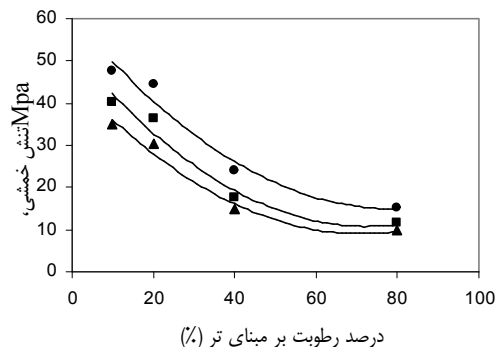
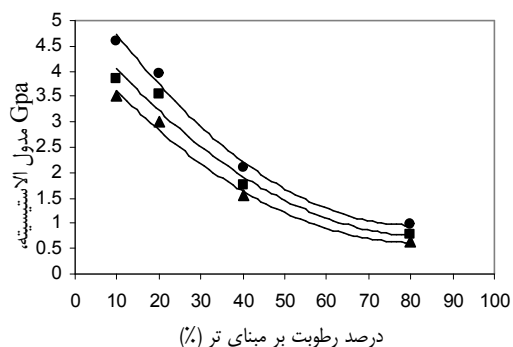
تنش خمشی به عنوان تابعی از درصد رطوبت و ارتفاع نواحی مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش درصد رطوبت ساقه، تنش خمشی کاهش یافت (شکل ۴) که این نشان دهنده ی کاهش تردی ساقه هاست. این نتیجه همچنین توسط آنوسامی و همکاران^۱ (۲۰۰۰) گزارش شده است. این تأثیر درصد رطوبت همچنین توسط اینس و همکاران^۲ (۲۰۰۵) گزارش شده است. تنش خمشی همچنین به طرف ناحیه ی فوقانی ساقه کاهش یافت (شکل ۴). مقدار تنش خمشی در درصد رطوبت های کم تقریباً سه برابر بزرگتر از مقدار آن در درصد رطوبت های زیاد بود. مقدار تنش خمشی برای نواحی فوقانی، میانی و تحتانی و در درصد رطوبت های مختلف مورد مطالعه به ترتیب بین ۴۷/۴۹-۱۵/۱۸ ، ۴۰/۲۰-۱۱/۴۸ و ۳۴/۸۳-۹/۷۱ مگاپاسکال متغیر بود. درصد رطوبت و ارتفاع نواحی تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ روی تنش خمشی داشتند. بعلاوه بر اساس نتایج آزمون چند دامنه ای دانکن، مقادیر تنش خمشی متفاوت با هم هستند. رابطه بین درصد رطوبت و تنش خمشی می تواند توسط معادلات زیر بیان شود:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.0073x^2 - 1.1547x + 60.628 & (R^2 = 0.9647) & \text{ناحیه ی فوقانی;} \\
 Y &= 0.0081x^2 - 1.16.92x + 53.065 & (R^2 = 0.9647) & \text{ناحیه ی میانی;} \\
 Y &= 0.0072x^2 - 1.0278x + 45.668 & (R^2 = 0.9647) & \text{ناحیه ی تحتانی;}
 \end{aligned}$$

۲-۳- مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته در خمش بر اساس درصد رطوبت و ارتفاع نواحی ارزیابی شد (شکل ۴). اودقرتی و همکاران (۱۹۹۵)، نشان دادند که مدول الاستیسیته برای کاه گندم بزرگی به اندازه ۴/۷۶ تا ۶/۵۸ گیگاپاسکال داشت؛ این محققان به این نتیجه رسیدند که مدول الاستیسیته با افزایش رطوبت کاهش می یابد. بین مقادیر مدول الاستیسیته در کمترین و بیشترین مقدار رطوبت تفاوتی در حدود ۸۰ درصد وجود داشت. میانگین مقادیر مدول الاستیسیته در رطوبت های ۸۰، ۴۰، ۲۰ و ۱۰ درصد به ترتیب ۰/۷۹، ۱/۸۰، ۳/۵۲ و ۳/۹۹ گیگا پاسکال بدست آمد. تأثیر مقدار رطوبت و ارتفاع نواحی روی مدول الاستیسیته در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار بود، اگر چه تأثیر قطر ساقه ها (همان طور که در شکل ۴ دیده شد) در درصد رطوبت های کمتر کاهش می یابد. رابطه ی بین درصد رطوبت و مدول الاستیسیته می تواند با معادله های زیر بیان شود:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.0007x^2 - 0.1206x + 5.8533 & (R^2 = 0.9915) & \text{ناحیه ی فوقانی;} \\
 Y &= 0.0006x^2 - 0.1006x + 4.9917 & (R^2 = 0.9714) & \text{ناحیه ی میانی;} \\
 Y &= 0.0006x^2 - 0.0945x + 4.4933 & (R^2 = 0.9916) & \text{ناحیه ی تحتانی;}
 \end{aligned}$$



1 Annoussamy et al. (2000)

2 Ince et al. (2005)

شکل ۴) تغییرات تنش خمشی و مدول الاستیسیته با مقدار رطوبت در نواحی سه گانه. ▲ ناحیه ی تحتانی، ■ ناده ی میانی و ● ناحیه ی فوقانی

۳-۳- تنش برشی

شکل ۵ یک رابطه ی نمایی صعودی بین تنش برشی و درصد رطوبت برای همه نواحی همانند نتیجه ی بیشتر محققان قبلی [۲۱و۲] ارائه می دهد. بزرگترین تنش برشی ۲۸/۱۶ مگا پاسکال در ناحیه تحتانی و در رطوبت ۸۰ درصد بدست آمد؛ درحالیکه کمترین تنش برشی ۵/۹۸ مگاپاسکال در ناحیه فوقانی و در رطوبت ۱۰ درصد حاصل شد. تنش برشی به طرف ناحیه فوقانی ساقه کاهش یافت. مقدار تفاوت بین تنش های برشی در ناحیه میانی ساقه ها با کاهش درصد رطوبت کاهش یافت. این ممکن است به کاهش تفاوت چگالی بین نواحی در درصد رطوبت های کم نسبت داده شود. اندازه گیری استحکام برشی ساقه های یونجه توسط هالیگ و همکاران^۱ (۱۹۶۸)، رنج ۱۸-۰/۴ مگا پاسکال را نشان داد. آنها گزارش کردند که افزایش درصد رطوبت در تمام نواحی ارتفاعی، کاهش در استحکام برشی را به همراه دارد. براساس آزمون چند دامنه ای دانکن، مقادیر تنش برشی در ناحیه تحتانی متفاوت با مقدار آن برای نواحی فوقانی و میانی بدست آمد. رابطه بین درصد رطوبت و تنش برشی با استفاده از معادلات زیر قابل بیان است:

$$Y=0.0013x^2+0.1185x+10.2150 \quad (R^2=0.9798) \quad \text{ناحیه ی تحتانی:}$$

$$Y=0.0024x^2-0.0190x+9.0183 \quad (R^2=0.9824) \quad \text{ناحیه ی میانی:}$$

$$Y=0.0008x^2+0.0446x+6.2383 \quad (R^2=0.9320) \quad \text{ناحیه ی فوقانی:}$$

۳-۴- انرژی برشی

انرژی برشی مورد نیاز به طور خطی با افزایش درصد رطوبت در تمام نواحی ساقه، افزایش یافت (شکل ۵). این تأثیر درصد رطوبت همچنین توسط آنوسامی و همکاران (۲۰۰۰) برای کاه گندم و توسط چن و همکاران (۲۰۰۴) برای بوته شاه دانه گزارش شده است. مقادیر انرژی برشی از ۲۰/۲۰ تا ۳۴۵/۸۰ مگاژول متغیر بود که کمترین مقدار انرژی برشی (۲۰/۲۰ مگاژول) در ناحیه فوقانی ساقه و در کمترین درصد رطوبت حاصل شد و بیشترین مقدار انرژی برشی (۳۴۵/۸۰ مگاژول) در ناحیه تحتانی ساقه و در بیشترین درصد رطوبت بدست آمد. علت این تفاوت همانگونه که پرسون^۲ (۱۹۸۷) گزارش کرد می تواند خاصیت چسبندگی رطوبت باشد. انرژی برشی همچنین به طرف ناحیه فوقانی کاهش یافت. مقادیر انرژی برشی در نواحی فوقانی، میانی و تحتانی در درصد رطوبت های مختلف مورد مطالعه به ترتیب بین ۷۳/۱۰-۲۰/۲۰، ۱۸۷/۶۰-۶۴/۲۰ و ۱۸۵/۲۰-۳۴۵/۸۰ مگاژول متغیر بود. مقادیر انرژی برشی در نواحی تحتانی ساقه بزرگتر بود که دلیل آن تجمع فیبرهای رسیده ی بیشتر در این قسمت ساقه می باشد. مقادیر انرژی برشی به طور معنی داری از درصد رطوبت و ارتفاع نواحی در سطح احتمال ۰/۰۵ تأثیر گرفت. براساس نتایج آزمون چند دامنه ای دانکن این مقادیر برای نواحی مختلف ساقه، متفاوت از هم بود. رابطه بین درصد رطوبت و انرژی برشی می تواند توسط معادلات زیر بیان شود:

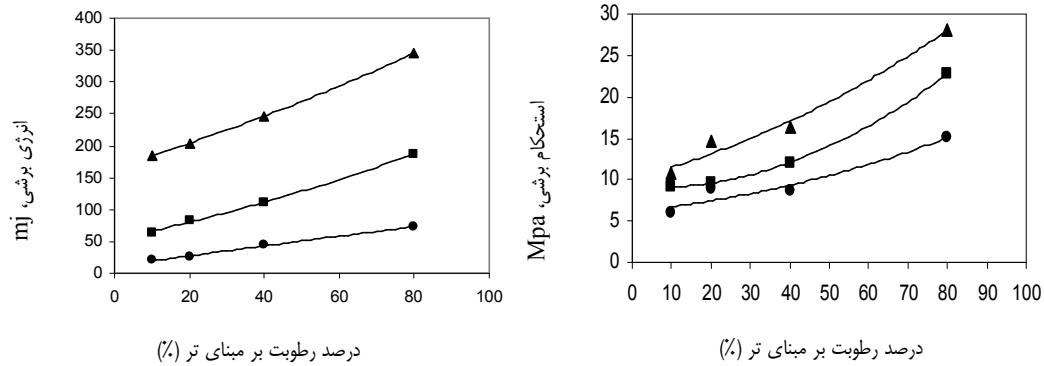
$$Y=0.0062x^2+1.7384x+167.25 \quad (R^2=0.9949) \quad \text{ناحیه ی تحتانی:}$$

$$Y=0.0052x^2+1.2624x+52.79 \quad (R^2=0.9983) \quad \text{ناحیه ی میانی:}$$

$$Y=0.0007x^2+0.8307x+11.017 \quad (R^2=0.9976) \quad \text{ناحیه ی فوقانی:}$$

1 Halyk et al (1968)

2 Persson (1987)



شکل ۵) تغییرات استحکام برشی و انرژی برشی با مقدار رطوبت در نواحی سه گانه. ▲ ناحیه ی تحتانی، ■ ناحیه ی میانی و ● ناحیه ی فوقانی

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر درصد رطوبت ساقه های یونجه، روی استحکام برشی، انرژی برشی، تنش خمشی و مدول الاستیسیته بر اساس ارتفاع نواحی ساقه، بررسی شد. نتایج نشان از کاهش تنش خمشی و مدول الاستیسیته و افزایش تنش برشی و انرژی برشی در اثر افزایش درصد رطوبت ساقه داشت. متوسط مقادیر تنش خمشی و مدول الاستیسیته در کمترین درصد رطوبت تقریباً به ترتیب ۳ و ۵ برابر بزرگتر از مقادیر آنها در بیشترین درصد رطوبت بود. همچنین انرژی برشی به طرف نواحی فوقانی کاهش یافت که مقادیر آن در نواحی فوقانی، نی و تحتانی در درصد رطوبت های مختلف مورد مطالعه، به ترتیب بین $۷۳/۱۰ - ۲۰/۲۰$ ، $۱۸۷/۶۰ - ۶۴/۲۰$ و $۱۸۵/۲۰ - ۳۴۵/۸۰$ مگاژول متغیر بود. بزرگترین مقدار تنش برشی $۲۸/۱۶$ مگاپاسکال و در ناحیه ی تحتانی و در رطوبت ۸۰ درصد بدست آمد؛ در حالیکه کمترین مقدار تنش برشی $۵/۹۸$ مگاپاسکال و در ناحیه فوقانی و در رطوبت ۱۰ درصد حاصل شد. مدول الاستیسیته و تنش خمشی به طرف نواحی فوقانی افزایش یافت. استحکام برشی و انرژی برشی به طرف نواحی تحتانی افزایش یافت.

۵- سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران بخاطر مهیا کردن وسایل آزمایشگاهی و حمایت های مالی این پروژه تشکر و قدردانی می شود. همچنین از آقایان مهدی قاسمی، احسان عبدی، آرش زیبایی و علی صادقی به خاطر کمک هایشان سپاسگزاریم.

۶- منابع

- [۱] ASABE Standards, 52nd Ed (2006). S358.2: 1:1 measurement - forages. St. Joseph, MI: ASABE
- [۲] Annoussamy, M., G. Richard, S. Recous and J. Guerif. 2000. Change in mechanical properties of wheat straw due to decomposition and moisture. *Applied Engineering in Agriculture* 16: 6, 657–664
- [۳] Bright, R.E. and R.W. Kleis. 1964. Mass shear strength of haylage. *Transactions of the ASAE* 7: 2, 100–101
- [۴] Chattopadhyay, P.S. and K.P. Pandey. 1999. Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73: 199–206
- [۵] Chen, Y., J.L. Gratton and J. Liu. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering* 87: 4, 417–424
- [۶] Choi, C.H. and D.C. Erbach. 1986. Corn stalk residue shearing by rolling coulters. *Transactions of the ASAE* 29: 6, 1530–1535
- [۷] Crook, M.J. and A.R. Ennos. 1994. Stem and root characteristics associated with lodging resistance in poor winter wheat cultivars. *J. Agric. Sci* 126: 167–174
- [۸] Curtis, L.M. and J.G. Hendrick. 1969. A study of bending strength properties of cotton stalk. *Transactions of the ASAE* 12: 1, 39–45
- [۹] Dervede, W. 1970. Die technologischen eigenschaften von gras und deren einfluss den schneidvorgang (Technological properties of grass and their influence on the cutting process). "Zerkleinern Von Halmfutter" *LandbForsch- Völkenrode. Sondern* 8: 53–57
- [۱۰] El Hag, H.E., O.R. Kunze and L.H. Wilkes. 1971. Influence of moisture, dry-matter density and rate of loading on ultimate strength of cotton stalks. *Transaction of the ASAE* 4: 2, 713–716
- [۱۱] Gere, J.M. and S.P. Timoshenko. 1997. *Mechanics of Materials*, 4th Ed. Boston, Mass.: PWS Publishing Company
- [۱۲] Hall, G.E., R.D. Brazee and C.W. Hall. 1967. Relaxation characteristics of alfalfa stem sections. ASAE Paper No. 670–671, ASAE, St. Joseph, Michigan 49085
- [۱۳] Halyk, R.M. 1962. *Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems*. Unpublished Master of Science thesis. University of Nebraska. Lincoln
- [۱۴] Halyk, R.M. and W.E. Splinter. 1968. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems. *Transaction of the ASAE* 11: 2, 256–257
- [۱۵] 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
- [۱۶] Kanafojiski, Cz. and T. Karwowski. 1972. Agricultural Machines, Theory and Construction, Vol. 2. *US Department of Commerce, National Technical Information Service*, Springfield, Virginia, pp 25–60
- [۱۷] Kushaha, R.L., A.S. Vashnav and G.C. Zoerb. 1983. Shear strength of wheat straw. *Canadian Agricultural Engineering* 25: 2, 163–166
- [۱۸] Liljedhal, J.B., G.L. Jackson, R.P. de Graff and M.E. Schroeder. 1961. Measurement of shearing energy. *Agric. Engng* 42: 298–301
- [۱۹] McClelland, J.H. and R.E. Spielrein. 1958. A study of some design factors affecting the performance of mower knives. *J. Agric. Eng. Res* 3: 2, 137–146



- [۲۰] McNulty, P.B. and N.N. Moshenin. 1979. Compaction of bulk corn carnal to failure. *Transaction of the ASAE* 22: 2, 264–269
- [۲۱] McRandal, D.M. and P.B. McNulty. 1980. Mechanical and physical properties of grasses. *Transactions of the ASAE* 23: 4, 816–821
- [۲۲] O'Dogherty, M. J., J.A. Hubert, J. Dyson and C.J. Marshall. 1995. A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. *J. Agric. Eng. Res.* 62: 133–142
- [۲۳] Prasad, J. and C.B. Gupta. 1975. Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research* 20: 1, 79–87
- [۲۴] Persson, S. 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material*. ASAE Publications, Michigan
- [۲۵] Prince, R.P. 1961. Measurement of ultimate strength of forage stalks. *Transaction of the ASAE* 4: 2, 208–209
- [۲۶]. Sakharov, V.V., G.G. Rakmanberdiev and G.G. Guagev. 1984. An investigation into the severing of pre-tensed mulberry stems by a screw-type cutter. *Mekhanizatsiya i Elekfikatsiya Sel'Skaogo Khozyaistva* 3: 61–62