نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی متاثر از رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه نخود رقم های آزاد و *ILC 482*

فرزاد امیریان [۱*]، فیض‌اله شهبازی [۲]، امین طاهری گراوند [۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه لرستان

ایمیل مکاتبه کننده: Amirian_Farzad@yahoo.com

چکیده

با توجه به اهمیت برخی خواص فیزیکی و مکانیکی متاثر از رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه‌ی محصولات کشاورزی در طراحی ماشینهای برداشت، هدف از این تحقیق اندازه‌گیری ویژگی‌هایی از قبیل خواص فیزیکی و خواص مکانیکی مانند مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته در حالت خمش، مقاومت برشی در دو رقم ساقه نخود (رقم آزاد و *ILC 482*) بود. از چهار سطح رطوبت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ درصد بر مبنای تر جهت بررسی اثر رطوبت بر خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه استفاده شد. ساقه‌ها به سه قسمت مساوی (تحتانی، میانی و فوقانی) تقسیم شدند. نتایج نشان داد که ناحیه ارتفاعی ساقه بر خواص فیزیکی تاثیر معنی‌دار داشته است. متوسط قطر ساقه‌های نخود در رقم آزاد از ۲/۴۴ تا ۳/۳۴ میلی‌متر به ترتیب در پایین‌ترین و بالاترین سطح رطوبت به دست آمد. همچنین قطر ساقه از ۳/۴۵ میلی‌متر در ناحیه تحتانی تا ۲/۰۵ میلی‌متر در ناحیه فوقانی متغیر بود. تاثیر سطح رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه بر روی خواص مکانیکی ساقه بررسی شد و نتایج نشان داد که رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه بر خواص مکانیکی در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد تاثیر معنی‌دار داشته بود. با افزایش رطوبت تنش برشی ساقه افزایش یافته، تنش خمشی و مدول الاستیسیته (مدول یانگ) کاهش یافته بود. بیش‌ترین مقدار تنش برشی، در ساقه نخود رقم *ILC 482*، در رطوبت ۲۵ درصد (۱۰/۳۲ مگاپاسکال) و در ناحیه تحتانی بدست آمد.

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

مقدمه

امروزه فقر غذایی از بزرگترین مشکلات کشورهای در حال توسعه است که دو سوم جمعیت دنیا را نیز در خود جای داده است. در بیشتر کشورهایی که با کمبود مواد غذایی روبرو هستند، کمیت و کیفیت پروتئین از مسائل اساسی تغذیه می باشد. یکی از راههای غلبه بر این مشکل استفاده از پروتئین های گیاهی است، چرا که بر اساس مطالعات انجام

شده قبلی معلوم شده که ترکیب مناسبی از پروتئین گیاهی می تواند تا حد زیادی سوء تغذیه و کمبود پروتئین را مرتفع سازد. با توجه به میزان پروتئین دانه حبوبات ۱۸ تا ۳۲ درصد بوده و همچنین به عنوان مکمل کمی و کیفی دانه های غلات که حاوی ۹ تا ۱۲ درصد پروتئین هستند، نقش مهمی در تغذیه و سلامت انسان ایفا می کنند. ویژگی دیگر این تیره تثبیت نیتروژن ملکولی هوا (N2) توسط باکتری‌های ریزوبیوم موجود در ریشه‌های آنها با استفاده از نور خورشیدی، در مدت فعال فتوسنتزی گیاه می‌شود، که صرف نظر از تامین ازت گیاه باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (Beak et al., 1998). امروزه، نخود در بیش از ۶۰ کشور و در همه‌ی قاره‌های جهان به جز قطب کشت و کار می‌شود با وجود توزیع گسترده نخود در دنیا ۷۳ درصد تولید آن در جنوب آسیا است. بر اساس آمارهای موجود هند با تولید سالانه حدود ۸ میلیون تن نخود مقام نخست تولید این محصول را در جهان دارد و طبق گزارش‌های سازمان جهانی فائو، ایران در سال ۲۰۱۱ با تولید ۲۹۰ هزار و ۲۴۳ تن مقام هفتم جهان را در تولید این محصول به خود اختصاص داده است. از نظر سطح کشت رتبه کشور بهتر است و ایران با ۵۶۲ هزار و ۳۷۵ هکتار مقام چهارم جهان را در سال ۲۰۱۱ در زمینه‌ی سطح زیر کشت نخود کسب کرده است. از منظری دیگر نخود بیش از ۶۳ درصد سطح زیر کشت حبوبات کشور را در بر می‌گیرد. با این حال وضعیت تولید در ایران فاصله زیادی با معیارهای بین‌المللی دارد. متوسط عملکرد نخود در ایران با رقم حدود ۴۷۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به عملکرد جهانی آن با حدود ۱۱۸۲ کیلوگرم در هکتار ۷۱۰ کیلوگرم کمتر است. بر اساس بانک اطلاعات زراعت وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۸۹-۸۸، استان کرمانشاه با تولید ۶۰ هزار و ۴۴۲ تن نخود مقام نخست، لرستان با تولید ۵۰ هزار و ۴۴۳ تن نخود مقام دوم، آذربایجان‌غربی با تولید ۴۱ هزار و ۵۵۷ تن نخود مقام سوم تولید نخود کشور را داشتند (بی‌نام).

طراحی ماشین‌های مناسب و نیز استفاده بهینه از آنها بر مبنای اطلاعات موجود در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی محصول صورت می‌گیرد. اطلاعات خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه محصولات کشاورزی در طراحی ماشین‌هایی از قبیل مور، بیلر، چاپر، کمباین و تنظیمات آنها بسیار مهم و ضروری است. هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری ویژگی‌هایی از قبیل خواص فیزیکی و خواص مکانیکی مانند مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته در حالت خمش، مقاومت برشی و انرژی مورد نیاز برای برش در دو رقم ساقه نخود (رقم آزاد و *ILC 482*) بود. این داده‌ها در طراحی ماشین‌های برداشت و دیگر ماشین هایی که برای فرآوری ساقه استفاده می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند در توسعه کشت و کار محصول موثر باشد و گامی در جهت بهینه سازی، بومی سازی و خود کفایی کشور در تولید این نوع ماشین‌ها باشد. مواد ساقه‌ای از موادی هستند که در کشاورزی معمولا باید بریده شوند و لذا ساختار و مقاومت آن‌ها بسیار مورد توجه است. بر حسب وضعیت تیغه، چندین نوع مختلف برش ساقه می‌تواند رخ دهد. در شروع نفوذ تیغه در ساقه، تغییر شکل پلاستسک موضعی در ماده گیاهی اتفاق می‌افتد. در ساقه‌های تر و با سرعت زیاد تیغه، فشار آب درون ساقه، فشردگی اولیه ساقه را محدود می‌نماید. با پیشروی تیغه، شکم دادن و فشردگی قابل ملاحظه‌ای روی می‌دهد. این فشردگی پیشاپیش و در کناره لبه تیغه اتفاق می‌افتد. پیش فشردگی قبل از شکستن ساقه موجب تجمع نیرو روی تیغه شده و انرژی برش را در بر می‌گیرد. با خم شدن فیبرها

در پیشاپیش لبه تیغه، مقاومت برشی ماده گیاهی تغییر محل داده تا در فیبر، تنش کششی ایجاد شود. این تنش‌ها ممکن است آن قدر زیاد شوند که ساقه در اثر کشیدگی بشکند. در این حالت بار به فیبرهای جلوتر از لبه تیغه منتقل می‌شود. برای مواد گیاهی معمولی، برش زمانی روی می‌دهد که فشار تولید در جلوی لبه تیغه به بیش از ۹ تا $30 N/mm^2$ برسد (بهروزی‌لار، ۲۰۱۳). مقاومت، بستگی به مقدار فیبر و طرز قرار گرفتن آن در ساقه دارد نه به قطر بیرونی. خواص مکانیکی مهم مواد سلولی ساقه در برش عبارتند از : فشردگی، کشش، خمش، چگالی و اصطکاک. این خواص به نوع محصول، واریته‌های محصول، قطر ساقه، رسیدگی محصول، مقدار رطوبت و ساختار سلولی گیاه بستگی دارند. این خواص همچنین در ارتفاعات مختلف ساقهٔ گیاه از سطح زمین متفاوت هستند. بنابراین تعیین خواص مختلف ساقه از جمله خواص فیزیکی و خواص مکانیکی نظیر استحکام برشی، خمشی و کششی و انرژی لازم برای برش، برای طراحی تیغه مناسب و نیز برای تعیین پارامترهای عملیاتی ضروری است.

(McRandal and McNulty, 1980) آزمایشات برشی را روی چمن انجام داده و استحکام برشی ۱۶ مگاپاسکال و انرژی برشی برابر با ۱۲ میلی ژول بر میلی متر مربع را گزارش کرده‌اند (مکراندال و همکاران، ۱۹۸۰). طبق گزارش سطح مقطع و درصد رطوبت محصول، تأثیر معنی داری روی انرژی برشی و نیروی برشی ماکزیمم دارند (Prasad and Gupta, 1975). همچنین نتایج مشابهی توسط (Choi and Erbach, 1986) گزارش شده است. طبق گزارش نیروی لازم برای بریدن ساقه کشیده و دراز ۵۰ درصد کمتر از مقدار آن برای ساقه‌های شل و نرم است(Sakharov et al., 1984). متوسط مقدار نیروی برشی و انرژی برشی کل برای بوته شاهدانه به ترتیب ۲۴۳ نیوتن و ۲/۱ ژول توسط (Chen et al., 2004) اندازه‌گیری و گزارش شده است. تنش برشی ماکزیمم و انرژی برشی ساقه یونجه به ترتیب ۲۸/۱۶ مگاپاسکال و ۳۴۵/۸۰ میلی‌ژول توسط(Nazari Gale Dar et al., 2008) گزارش شده است. (Shahbazi et al., 2012) خواص مکانیکی ساقه گلرنگ بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش رطوبت تنش برشی وانرژی برشی افزایش می‌یابد. (Tom leblicq et al., 2015) رفتار خمشی ساقه گندم بر اثر اعمال بار مورد بررسی قرار دادند و گزارش کرده‌اند که در مواد ساقه‌ای که دارای سطح مقطع دایره‌ای توخالی هستند هنگام اعمال بار دو فاز پیاپی اتفاق می‌افتد که در فاز اول تنش برشی تا زمانی که سطح مقطع از دایره‌ای به لوزی تغیر شکل دهد، ثابت است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق پارامترهای مورد مطالعه عبارت‌اند از: اندازه‌گیری خواص فیزیکی ساقه مانند: قطر متوسط، سطح مقطع ساقه، گشتاور دوم سطح در خمش که مهمترین خواص ساقه محصولات کشاورزی می‌باشند. همچنین اندازه‌گیری خواص مهم مکانیکی ساقه مانند: تنش (مقاومت) خمشی، مدول الاستیسیتهٔ ساقه در خمش، اندازه‌گیری تنش (مقاومت) برشی ساقه صورت گرفت.

نمونه ساقه‌های مورد آزمایش به صورت تصادفی از میان نمونه‌هایی که در مزرعه کشاورزی مرکز تحقیقات دیم استان کرمانشاه کشت شده بودند انتخاب و برداشت شدند. نمونه‌ها در فصل پاییز ۱۳۹۲ کشت و در تابستان ۱۳۹۳

برداشت شدند. در زمان کاشت از کود پتاسیم به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شده بود. نمونه برداری و برداشت در زمانی که دانه‌ها کاملا رسیده و آماده برداشت بودند انجام گرفت. قطر ساقه‌های نخود به طرف نقاط ارتفاعی بالاتر گیاه کاهش می‌یابد. از آنجا که گیاه باید به وزش باد مقاوم باشد، مقاومت گیاه به تناسب ارتفاع آن تغییر می‌کند یعنی در بیشتر گیاهان، هر چه به زمین نزدیک شویم، قطر ساقه بیش‌تر می‌شود. برای مثال ساقه برنج در ۶۳٪ رطوبت در نزدیک زمین ۳/۵ تا ۴ برابر قطورتر از بالای ساقه است (بهروزی‌لار، ۲۰۱۳). بنابراین ساقه‌ها به سه ناحیهٔ ارتفاعی مساوی با نام‌های ناحیه فوقانی، میانی و تحتانی تقسیم شدند و آزمایشات به طور جداگانه بر روی هر یک از این قسمت‌ها انجام گرفت. محتوای رطوبت بر مقاومت گیاه تاثیر می‌گذارد چون فشار آب درون سلول بر سفتی و مقاومت ساقه موثر است. معمولا زمان برداشت نخود وقتی است که دانه زیر دندان بشکند نه اینکه له شود. بنابراین به نمونه‌ها، چهار سطح رطوبت ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد اعمال گردید. رطوبت ساقه بر پایه تر بـا استفاده از استاندارد ASABE (S358.2)، در درجه حرارت۱۰۳درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت با استفاده ازآون (اجاق الکتریکی)، به دست آمد. برای اندازه‌گیری رطوبت در هر مرحله ازسه نمونه ساقه استفاده شد. با توجه به این که رطوبت اولیه‌ی ساقه‌های نخود در ارقام آزاد و *ILC 482*، به ترتیب ۵/۶۶ و ۵/۵۹ درصد بود، برای رسیدن به سطوح بالاتر رطوبت و بررسی اثر رطوبت بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه ها مقدار کافی آب به نمونه ها اضافه ودر ظرف پلاستیکی در بسته، عملیات مشروط سازی به خوبی انجام و طبق رابطه (۱) رطوبت محاسبه گردید(*Dursun*, 2005).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \qquad (۱)$$

در این رابطه، Q ؛ جرم آب اضافه شده بر حسب کیلوگرم، W_i ؛ جرم اولیه نمونه بر حسب کیلوگرم، M_i ؛ محتوای رطوبتی اولیه نمونه بر پایه خشک، M_f ؛ رطوبت نهایی نمونه بر پایه خشک می باشد. بعد از رسیدن نمونه ها به سطوح رطوبتی موردنظر، به منظور توزیع یکنواخت رطوبت در سراسر ساقه، ساقه ها برای مدت ۷ روز در دمای ۱±۵ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شدند (ASABE, 2006). جهت اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و برای وزن‌گیری نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۲ گرم استفاده شد.

آزمون برش

آزمون برش دوبل با استفاده از جعبه برش تشکیل‌شده از سه صفحه ۲ میلی‌متری که در مرکز صفحه‌ها سوراخ‌هایی متناسب با قطر ساقه‌ها ایجاد گردیده استفاده شد. صفحه‌ها بافاصله ۲/۲ میلی‌متر نسبت به همدیگر قرار گرفتند به‌طوری‌که باهم تماس نداشته باشند. نیروی برشی با دستگاه کشش_ فشار (سانتام ماشین – ساخت ایران – تهران) به نمونه‌ها اعمال گردید. مقداری نیروی ناچیز جهت غلبه بر سایش صفحه‌ها وجود داشت و برای تمام آزمایش‌ها یکسان بود. سرعت پیشروی صفحه ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد و نیروی اعمالی به‌وسیله یک لودسل با تغییرات نیرو–زمان تا هنگام گسیختن نمونه ثبت گردید.

نیروی برشی از معادله (۲) محاسبه گردید:

$$\tau_s = \frac{F}{2A} \quad (۲)$$

در این رابطه τ_s تنش برشی (Mpa)، F نیروی برشی در نقطه شکست بر حسب(N)، و A مساحت سطح مقطع ساقه بر حسب(mm^2).

آزمون خمش

برای آزمون خمش و مدول یانگ از سه صفحه فلزی استفاده شد. روی هرکدام از لبه صفحه‌ها متناسب با میانگین قطر نمونه‌ها نیم دایره‌ای جهت قرار گرفتن ساقه و جلوگیری از حرکت جانبی در صفحه پایه ایجاد گردید. صفحه‌ها به فاصله ۵۰ میلی‌متر از هم قرار گرفتند و نیرو با صفحه متحرک متصل به لودسل مربوط به دستگاه سنتام با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه به وسط ساقه اعمال گردید.

منحنی تغییرات نیرو-تغییر شکل به‌وسیله نرم‌افزار رایانه‌ای ثبت گردید. نیروی خمش و تغییر شکل در نقطه ماکزیمم تنش و نقطه خمیدگی طبق استاندار ASAE S368.1(ASAE 1985) از همه‌ی منحنی‌ها به دست آمد. برای محاسبه تنش خمشی از رابطه زیر استفاده شد (کروک و انوس، ۱۹۹۵):

$$\sigma = \frac{F\,y\,l}{4\,I} \quad (۳)$$

در این معادله: б تنش خمشی (Mpa)، F نیروی خمشی (N)، y فاصله بین دورترین تار تا محور خنثی ($y = \frac{d}{2}$) میلی‌متر و l فاصله بین دو صفحه نگه‌دارنده است (۵۰ میلی‌متر).

با مشاهده نمونه‌ها مشخص شد که سطح مقطع نمونه‌ها به صورت دایره‌ای بود، بنابراین ممان سطح از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (۴)$$

در این رابطه: I ممان سطح (mm^4)، و d قطر ساقه (mm).

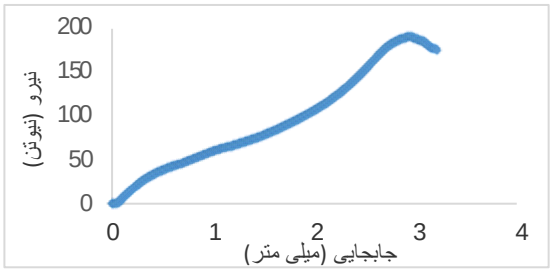
مدول الاستیسیته یا مدل یانگ ساقه نخود با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$E = \frac{Fl^3}{48\,\delta I} \quad (۵)$$

در این رابطه: E مدول الاستیسیته در خمش(Gpa)، و δ تغییر شکل مرکز نمونه‌ها بر حسب(mm).

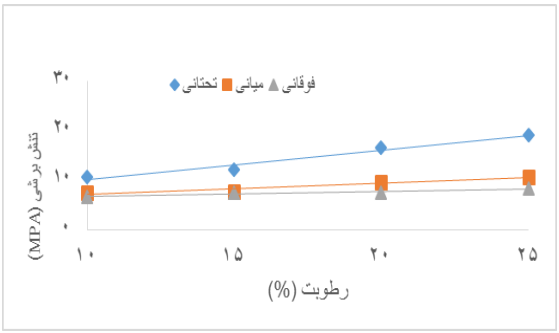
نتایج و بحث

ساقه اکثر محصولات کشاورزی در عملیات برداشت بریده می‌شوند. همچنین ممکن است در برخی ماشین‌های برداشت مانند موور، برداشت شوند که ساقه گیاه به صورت تیر یکسر گیردار عمل می‌کند و مقاومت به خمش ساقه محصول در این نوع عملیات بسیار مهم است. رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه در میزان انرژی مورد نیاز برای برش مواد گیاهی حائز اهمیت است. رطوبت بالای ساقه باعث فشردگی فیبر ساقه در مقابل تیغه شده و در این حالت تنش برشی به طور قابل ملاحظه‌ای زیاد می‌شود اما در ارقام مختلف ساقه گیاهی می‌تواند متفاوت باشد. در ساقه نخود با حرکت از ناحیه تحتانی به سمت ناحیه فوقانی، قطر ساقه کاهش می‌یابد. به منظور عملیات برداشت و جلوگیری از ریزش دانه حین برداشت می‌توان عملیات برداشت را زودتر شروع کرد اما این در حالی است که رطوبت ساقه در برخی ارقام نخود بر انرژی مصرفی تاثیر چشمگیری دارد. نتایج در این آزمون نشان داد که با افزایش سطح رطوبت تنش برشی نیز افزایش یافته بود. اما تنش خمشی و مدول یانگ کاهش یافته بود. مقدار تنش برشی در سطح رطوبت ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد در رقم آزاد به ترتیب برابر با ۸/۶۲، ۸/۸۵، ۱۰/۵۶ و ۱۱/۶۵ مگاپاسکال بوده است.



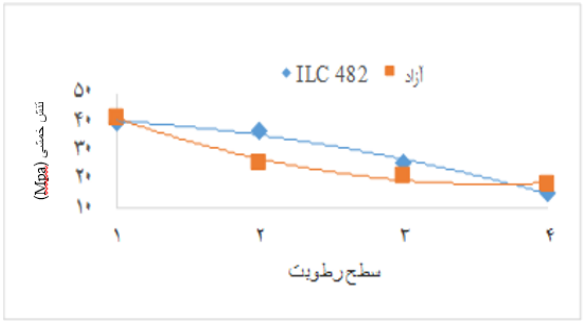
شکل ۱ – نمونه‌ای از آزمون برش در رقم آزاد مربوط به ناحیه میانی در سطح رطوبت ۲۰ درصد

نتایج آنالیز رگرسیونی داده‌ها نشان داد که بین سطح رطوبت و تنش برشی، ضریب همبستگی با مقدار R^2 = ۰/۹۶ در رقم آزاد و با مقدار R^2 = ۰/۸۱۷ در رقم *ILC482* وجود داشته است. تنش برشی ساقه در رقم *ILC482* با افزایش سطح رطوبت از پایین‌ترین سطح به بالاترین سطح افزایش یافته است. شکل ۲ نموداری از رابطه رطوبت ساقه با تنش برشی در رقم آزاد به ما نشان می‌دهد.



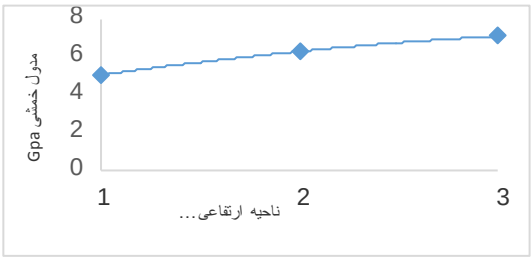
شکل ۲– رابطه بین سطح رطوبت و تنش برشی در ساقه نخود رقم آزاد

همچنین بیش‌ترین مقدار تنش خمشی مربوط به رطوبت ۱۰ درصد با مقدار ۴۲/۰۱ مگاپاسکال در رقم آزاد و در رقم *ILC* 482 بیش‌ترین مقدار مدول خمش در ناحیه فوقانی (۹/۹۴ گیگاپاسکال) با سطح رطوبت ۱۰ درصد و کمترین مقدار مدول خمش در ناحیه تحتانی (۳/۳۹ گیگاپاسکال) در رطوبت ۲۵ درصد بدست آمد. شکل ۳ رابطه سطح رطوبت با تنش خمشی در دو رقم ساقه نخود (آزاد و *ILC 482*) به ما نشان می‌دهد.



شکل ۳ – رابطه رطوبت و تنش خمشی در ساقه نخود ارقام آزاد و *ILC 482*

با حرکت از ناحیه تحتانی ساقه به سمت ناحیه فوقانی مدول الاستیسیته افزایش یافته است و با افزایش سطح رطوبت مدول الاستیسیته کاهش یافته است. اگر چه تنش برشی به سمت ناحیه بالایی کاهش یافته و قطر ناحیه فوقانی کمتر از ناحیه تحتانی است اما این می‌تواند به دلیل ساختار ساقه باشد نه به دلیل اختلاف قطر ساقه. آزمایشات نشان داد که ساقه نخود با قطر مساوی اما در ناحیه ارتفاعی مختلف تنش برشی متفاوت است. به طوری که تنش برشی در ناحیه تحتانی ساقه بیش‌تر از ناحیه میانی و فوقانی بوده است. ناحیه ارتفاعی ساقه بر تنش خمشی اثر معنی‌دار نداشته است. مدول الاستیسیته ساقه نخود، با حرکت از ناحیه تحتانی به سمت ناحیه فوقانی به ترتیب برابر با ۵/۰۵، ۶/۳۲ و ۷/۱۳ گیگاپاسکال بدست آمد. شکل ۴ رابطه بین ناحیه ارتفاعی ساقه نخود و مدول الاستیسیته را در رقم *ILC482* نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین ناحیه ارتفاعی ساقه با مدول الاستیسیته $R^2=1$ حاصل شد.



شکل ۴ – مدول خمشی در ساقه نخود رقم *ILC 482* مربوط به ناحیه ارتفاعی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه نخود رقم های آزاد و*ILC 482* در چهار سطح رطوبت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ درصد بر مبنای تر و تاثیر محتوای رطوبتی ساقه ها در خواص مهندسی مذکور مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به دلیل کاهش قطر ساقه در ناحیه‌های مختلف ارتفاعی ، ساقه را به سه قسمت مساوی: تحتانی، میانی و فوقانی تقسیم شدند. نتایج نشان داد که ناحیه ارتفاعی ساقه بر خواص فیزیکی تاثیر معنی‌دار داشته است. متوسط قطر ساقه نخود در رقم آزاد در کمترین سطح رطوبت ۲/۴۴ تا ۳/۳۴ میلی‌متر در بالاترین سطح رطوبت و همچنین قطر ساقه از ۳/۴۵ میلی‌متر در ناحیه تحتانی تا ۲/۰۵ میلی‌متر در ناحیه فوقانی متغیر بود. طبق نتایج بدست آمده، سطح رطوبت بر قطر ساقه و همچنین سطح مقطع ساقه اثر چندانی نداشته است اما قطر ساقه در ناحیه تحتانی بیش‌تر از ناحیه میانی و فوقانی بود. میانگین قطر ساقه رقم *ILC 482* برای ناحیه تحتانی، میانی و فوقانی در سطح رطوبت ۲۰ درصد به ترتیب برابر با ۳/۴۴، ۲/۷۶ و ۲/۲۸ میلی‌متر متغیر بود. سطح رطوبت و ناحیه ارتفاعی ساقه بر تنش برشی، تنش خمشی و مدول الاستیسیته تاثیر معنی‌دار داشته است. به طوری که در رقم آزاد با افزایش سطح رطوبت تا سطح ۲۰ درصد تنش برشی افزایش یافته، اما در رطوبت ۲۵ درصد دوباره کاهش یافته است. نتایج نشان داد که تنش خمشی و مدول خمشی با افزایش سطح رطوبت در هر دو رقم ساقه نخود کاهش یافته است. با حرکت از ناحیه تحتانی ساقه به سمت ناحیه فوقانی تنش برشی کاهش یافته اما تنش خمشی و مدول خمشی هر دو افزایش یافته است. در رقم *ILC 482* بیش‌ترین مقدار مدول خمش در ناحیه فوقانی (۹/۹۴ گیگاپاسکال) با سطح رطوبت ۱۰ درصد و کمترین مقدار مدول خمش در ناحیه تحتانی (۳/۳۹ گیگاپاسکال) در سطح رطوبت ۲۵ درصد بدست آمد.

منابع:

۱. منصور، بهروزی لار. ۲۰۱۳. اصول طراحی ماشین‌های کشاورزی جلد اول/ اصول طراحی موتور و تراکتور، ویرایش دوم، چاپ سوم، ۵۴۶ صفحه.

2. ASABE Standards, 52nd Ed. 2006. S358.2: 1:1 measurement - forages. St. Joseph, MI: ASABE.

3. Aydin, C., & Konak, M. 2002. PH—Postharvest Technology: Some Physical Properties of Turkish Mahaleb. *Biosystems Engineering*, *82*(2), 231-234.

4. Beck, D. P., & Materon, L. A. 1988. *Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture*. Martinus Nijhoff.

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

6. Choi, C.H., and D.C. Erbach. 1986. Corn stalk residue shearing by rolling coulters. Transactions of the ASAE, 29(6): 1530–1535.

7. Crook, M. J., & Ennos, A. R. 1995. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat. *Journal of Experimental Botany*, *46*(8), 931-938.

8. Dursun, E., & Dursun, I. 2005. Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering*, *92*(2), 237-245.

9. http://danakhabar.com/fa/news/1156257/8

10.Leblicq, T., Vanmaercke, S., Ramon, H., &Saeys, W. 2015. Mechanical analysis of the bending behaviour of plant stems. Biosystems Engineering, 129, 87-99
11.McNulty P.B. and N. N. Moshenin. 1979. Compaction of bulk corn carnal to failure. Transaction of the ASAE, 22(2): 264–269.
12.Nazari Galedar M., Tabatabaeefar A., Jafari A., Sharifi A., O'Dogherty M.J., Rafee S., and Richard G., 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. Biosys. Eng., 101(2), 199-208.
13.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.
14.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 Elekfikikatsiya Sel'Skaogo Khozyaistva 3: 61–62.
15.Shahbazi, F., &NazariGaledar, M. 2012. Bending and Shearing Properties of Safflower Stalk. Journal of Agricultural Science and Technology, 14(4), 743-754.

The moisture-dependent and stalk regions- dependent physical and mechanical properties of azad and *ILC 482* check pea stalk varieties

Abstract

The moisture-dependent physical and mechanical properties of stalks are important to design of harvest equipment. The aim of current research was measurement and determination of the physical properties (main diameter, surface area and moment of area) and mechanical properties (shear stress, tension and flexural modulus of elasticity) of check pea stalks. The physical and mechanical properties of check pea stalk were evaluated as a function of moisture content in the range of 10 to 25% w.b. the stalks were divided into three equal parts (lower, middle and upper). The results showed that the stalk regions had a significant effect on physical properties. Average diameter stalk of *Azad* variety was 2.44 to 3.34 mm in lower and upper moisture content respectively. Results showed that the moisture content and the stalk regions on mechanical properties had significant effect at 0.01 probability level ($p< 0.01$). Shear stress were increased and bending stress and modulus of elasticity (Young's modulus) were reduced with increasing of moisture content. The maximum shear stress in check pea stalk of the *ILC 482* variety in 25% moisture content (10.32Mpa) were obtained at lower stalks region.

Keywords: check pea stalks, bending stress, shear stress, modulus of elasticity