

بررسی رفتار ساقه درختچه زینتی ترون در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای

محمد رضا کماندار*^۱، مسلم نامجو^۲، فرهاد خوشنام^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

۱ و ۲ و ۳- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

* مسئول مکاتبه Email :Mr_kamandar@ujroft.ac.ir

چکیده

طراحی و ساخت ابزار جدید هرس پرچین‌های ایجاد شده با درختچه‌های زینتی ترون، برگ‌نو و شمشاد می‌تواند تأثیر بسزائی بر کیفیت هرس و زیبایی ظاهری آنها در پارک‌ها و فضاهای سبز شهری داشته باشد. حرکت ساقه ترون و سایر درختچه‌های زینتی در زمان برش، به‌عنوان یکی از عوامل غیریکنواختی هرس پرچین در زمان برش با ابزارهای متداول قلمداد می‌گردد. جهت رفع مشکل مطرح شده و به منظور ساخت ابزار هرس جدید، دانستن خواص مکانیکی برشی ساقه درختچه‌های مذکور از قبیل انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ضروری می‌باشد. در این تحقیق برای تعیین خواص مکانیکی ساقه ترون، یک سری آزمایش برش با دو روش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای و در سه موقعیت میان‌گره پنجم، دهم و پانزدهم ساقه انجام شد. نمونه‌های ساقه در برش شبه‌استاتیکی با چهار سرعت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و در برش ضربه‌ای با سرعت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ متر بر ثانیه تحت فرایند برش قرار گرفت. میانگین رطوبت نمونه‌های ساقه ترون در زمان انجام آزمایش ۷۵ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از برش شبه‌استاتیکی ساقه نشان داد: سرعت برش اثر معنی‌داری بر پارامترهای مقاومت برشی ($P < 0/01$) و انرژی مصرفی برش ($P < 0/05$) داشته و موقعیت برش ساقه نیز بر مقاومت برشی ($P < 0/05$) و انرژی مصرفی برش ($P < 0/01$) تأثیر معنی‌داری داشت. اثر متقابل سرعت و موقعیت برش نیز تأثیر معنی‌داری ($P < 0/05$) بر مقاومت برشی و انرژی مصرفی برش داشت. حداکثر مقادیر انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه ترون به ترتیب ۵۹۹/۸ ژول و ۱۴/۶۵ مگا پاسکال در میان‌گره پانزدهم ساقه و سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه به‌دست آمد. نتایج حاصل از آزمون برش ضربه‌ای نشان داد: سرعت برش اثر معنی‌داری ($P < 0/01$) بر انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه داشته و موقعیت برش نیز بر مقاومت برشی ($P < 0/05$) و انرژی مصرفی برش ($P < 0/01$) تأثیر معنی‌داری داشت. اثر متقابل سرعت برش و موقعیت برش تأثیر معنی‌داری ($P < 0/05$) بر مقاومت برشی و انرژی مصرفی برش ساقه ترون داشت. حداقل مقدار انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه به ترتیب ۱/۹۲ ژول و ۰/۰۵ مگا پاسکال در میان‌گره پنجم و سرعت برش ۴ متر بر ثانیه حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، خواص مکانیکی، سرعت، نیروی برشی

How to cite:

M R Kamandar, M Namjoo, F Khoshnam, N. 2024 Behavior investigation of wild privet stalk in quasi-static and impact cutting. *Journal of Agricultural Mechanization* 8 (2): 65–80.

Behavior investigation of wild privet stalk in quasi-static and impact cutting

Mohammad Reza Kamandar¹, Moslem Namjoo², Farhad Khoshnam³

Received: August 6, 2023

Accepted: September 19, 2023

1,2,3-Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

*Corresponding Author: Mr_kamandar@ujiroft.ac.ir

Abstract

Design of new tools for pruning hedges cultivated with a shrubs like wild privet, privet and buxus can have a great impact on the quality of pruning and their appearance in parks and urban green spaces. The movement of wild privet and others stalk during cutting is considered one of the issues of pruning when using common tools, which usually causes uneven pruning. In order to design a new pruning tool, it is necessary to know the shearing mechanical properties of the stalk, such as shear force, cutting energy and shear strength of the stalk. To determine them, a series of a series of experimental tests were performed. The parameters such as shear force, cutting energy, and shear strength were determined with two quasi-static and impact cutting methods in three cutting positions of the fifth, tenth, and fifteenth internode position. In the quasi-static cutting test, the stem samples were subjected to cutting with four cutting speeds of 5, 10, 15, and 20mm/min, and in the impact cutting test, the samples were subjected to cutting with four speeds of 1, 2, 3, and 4m/s. The average moisture content of the samples at the time of the experiment was measured at 75% on a wet basis. The results of quasi-static stalk cutting showed that cutting speed had a significant effect on the parameters of shear strength ($P<0.01$), and cutting energy ($P<0.05$), and the stalk cutting position had a significant effect on shear strength ($P<0.05$), and cutting energy ($P<0.01$). The interaction effect of cutting speed and cutting position has a significant effect ($P<0.05$) on the shear strength, and cutting energy. The maximum values of cutting energy, and shear strength are respectively 599.8J and 14.65MPa were obtained in the 15th internode position and the cutting speed of 20mm/min. In the impact cutting test, the results showed that the cutting speed of the stalk had a significant effect ($P<0.01$) on the cutting energy and the shear strength of the stalk. The cutting position also had a significant effect on the shear strength ($P<0.05$), and cutting energy ($P<0.01$). The interaction effect of cutting speed and cutting position has a significant effect ($P<0.05$) on the shear strength, and cutting energy. The minimum values of cutting energy, and shear strength of the stalk are 1.92J, and 0.05MPa were obtained in the fifth internode position and the cutting speed of 4m/s.

Keywords: Consumption energy, Mechanical properties, Shear force, Shear strength, Speed

۱- مقدمه

گرفته، این درختچه زینتی و همیشه سبز همانند شمشاد و برگ‌نو یکی از درختچه‌هایی بوده که بیشتر به صورت ردیفی و برای ایجاد پرچین در بسیاری از پارک‌ها و فضاهای سبز شهرهای کشور کشت شده است (Salehi, 2020). با توجه به شکل ۱ عملیات هرس به طور معمول در مساحت‌های کوچک با قیچی‌های باغبانی و به صورت دستی و در مساحت‌های بزرگی مانند پارک‌ها و فضاهای سبز با استفاده از شمشادزن‌های برقی و موتوری انجام می‌گیرد (Kamandar et al., 2022).

گیاه ترون (Wild privet) با نام علمی (*Ligustrum vulgare*)، از جنس برگ‌نو یا *Ligustrum* و از خانواده زیتون‌ها بوده و بومی اروپای مرکزی و جنوبی، شمال آفریقا و جنوب غربی آسیا از جمله ایران می‌باشد (Blamey & Grey-Wilson, 1989). در سال‌های اخیر کاشت درختچه زینتی ترون در پارک‌ها و فضاهای سبز به دلیل توانایی بالای آن در کاهش آلودگی هوا، در حال افزایش بوده و نحوه هرس و آرایش ساقه‌های آن از نظر شکل ظاهری، نقش موثری در زیباسازی فضاهای سبز شهری ایفا می‌کند. بر اساس بررسی‌های انجام



شکل ۱- روش‌های متداول هرس پرچین
Fig 1. Common methods of pruning hedge

با توجه به این که هرس پرچین یک عملیات دوره‌ای و زمان‌بر است، بر اساس نتایج بسیاری از تحقیقات، اپراتورها در معرض ارتعاشات ناخوشایند و خطرناک بازو و همچنین آلودگی صوتی شمشادزن‌ها قرار می‌گیرد (Feyzi et al., 2014). علاوه بر بحث آگونومی ابزارهای برش متداول، موضوع حرکت و جابجایی ساقه درختچه‌های زینتی خصوصاً ترون در زمان برش نیز به‌عنوان یک مشکل جدی مطرح بوده، که این موضوع سبب غیریکنواختی هرس ساقه و در نهایت نازیبایی پرچین هرس شده می‌گردد. طراحی و ساخت ابزاری جدید برای هرس این گیاه علاوه بر افزایش کیفیت برش ساقه، می‌تواند از وارد شدن صدمات و آسیب‌های جدی ناشی از انتقال ارتعاش دستگاه‌های متداول به بدن کاربر جلوگیری نماید.

مطالعه برش ساقه نیشکر در میان‌گره‌های ۱ تا ۱۰ ساقه، سرعت‌های برش ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و رطوبت‌های ۴۶، ۵۴، ۶۲، ۷۰ و ۷۸ درصد ساقه نشان داد، انرژی مصرفی برش در نواحی پایین ساقه دارای بیشترین مقدار می‌باشد (Hemmatian et al., 2012). در برش ساقه گلرنگ در چهار رطوبت ۸/۶۱، ۱۶/۳۷، ۲۵/۲۶ و ۳۷/۱۶ درصد و در سه موقعیت برش پایین، وسط و بالای ساقه گزارش گردید، حداقل انرژی مصرفی برش با مقدار ۱۲۴/۹۵ میلی‌ژول در بخش بالای ساقه و در حداقل رطوبت ۸/۶۱ درصد و حداکثر انرژی

از آنجائی که دانستن خواص مکانیکی برشی خصوصاً انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه گیاهان به‌عنوان پارامترهای ضروری در طراحی ماشین‌های برداشت و ابزارهای برش محصولات کشاورزی قلمداد می‌گردند (Ahangarnezhad et al., 2019; Azmi et al., 2013; Bako & Garba, 2020; Chattopadhyay & Pandey, 1999; Li et al., 2011, ; Mohammadi Baneh et

پنجم و سرعت بارگذاری ۴ متر بر ثانیه و ۱/۵۵ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم و سرعت بارگذاری ۱ متر بر ثانیه به دست آمده است (Kamandar & Massah, 2017). برش ضربه‌ای ساقه برگ‌نو نشان داد مقادیر حداقل انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه به ترتیب ۳/۹۵ ژول و ۰/۲ مگاپاسکال در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه و در میان‌گره پنجم ساقه به دست آمده است (Kamandar et al., 2018). در بررسی اثر رطوبت، موقعیت برش و زاویه تمایل تیغه بر برخی از ویژگی مکانیکی ساقه اسپرس مشخص گردید، تنش برشی ساقه اسپرس با افزایش رطوبت افزایش یافته، اما در میان‌گره‌های بالایی ساقه نسبت به میان‌گره‌های پایینی مقدار آن کاهش می‌یابد. حداکثر تنش برشی و انرژی برشی ویژه به ترتیب ۵/۷۶ مگاپاسکال و ۱۶/۶۵ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع در رطوبت ۷۱/۷۶ درصد، زاویه تمایل صفر درجه و اولین میان‌گره ساقه بدست آمده است (Boydas et al., 2019). مطالعه نیروی مورد نیاز در برش ساقه مرکبات نشان داد با افزایش رطوبت ساقه و همچنین افزایش سرعت برش، ماکزیمم نیروی برش کاهش می‌یابد. همچنین تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد ماکزیمم نیروی برشی با افزایش قطر ساقه و وزن میوه افزایش می‌یابد (Wang et al., 2020). در یک پژوهش اثر نرخ تغذیه، سرعت برش، قطر شاخه و محتوای رطوبت بر میزان نیروی برشی مورد نیاز برش شاخه درخت سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد نیروی برشی به نرخ تغذیه، سرعت برش و قطر شاخه بستگی داشته و پارامترهای سرعت برش و قطر شاخه تأثیر معنی‌داری بر نیروی برش شاخه داشتند (Li et al., 2022).

۲- مواد و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش، مطالعه رفتار مکانیکی ساقه درختچه زینتی ترون در زمان هرس بوده، که از طریق تعیین و بررسی برخی از خواص مکانیکی مانند مقاومت برشی ساقه گیاه و میزان انرژی مصرفی در زمان برش انجام شد. در شکل ۲، نمونه‌ای از پرچین و ساقه ترون نشان داده شده است. نمونه‌های ساقه ترون در آخرین ماه فصل بهار سال ۱۴۰۰ از ساقه‌های جوان موجود در فضای سبز شهر کرمان جمع‌آوری گردید. به منظور تعیین درصد رطوبت در زمان انجام آزمون برش، نمونه‌ها توزین و در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت درون آون خشک شدند. رطوبت میانگین نمونه‌های ساقه در زمان آزمون برش ۷۵ درصد بر مبنای تر محاسبه گردید (ASAE, 2005b). با توجه به اینکه سطح مقطع ساقه ترون تقریباً بیضی شکل بوده و قطر ساقه در قسمت فوقانی آن کمتر از قسمت تحتانی آن می‌باشد، نمونه‌ها از سه بخش بالایی، میانی و پایینی ساقه و از میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه انتخاب و قطر هر نمونه قبل از شروع آزمایش با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. محدوده تغییرات قطر کوچک و بزرگ سطح مقطع نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

مصرفی برش با مقدار ۹۳۸/۳۳ میلی‌ژول در بخش پایین ساقه و در حداکثر رطوبت ۳۷/۱۶ درصد حاصل شده است (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012). در برش ساقه سه رقم کلزا در چهار سطح رطوبت ۳۵، ۴۳، ۵۰ و ۵۷ درصد گزارش گردید، با افزایش رطوبت ساقه کلزا، مقاومت برشی ساقه کاهش یافته و مقاومت برشی ساقه کلزا در حداقل رطوبت تقریباً ۳۵ درصد بیشتر از ساقه کلزای دارای حداکثر رطوبت می‌باشد (Hoseinzadeh & Shirmeshan, 2012).

خواص فیزیکی در نقاط و موقعیت‌های مختلف ساقه گیاه متفاوت بوده و تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مانند تنش خمشی و برشی و همچنین انرژی مورد نیاز برش، برای طراحی یک تیغه برش مناسب ضروری می‌باشد (Yilmaz et al., 2009). نتایج برش ساقه جو در سه سطح سرعت ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و در سطوح رطوبتی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد نشان داد با افزایش سرعت و میزان رطوبت، مقادیر مقاومت برشی و انرژی برشی کاهش می‌یابد (Tavakoli et al., 2009). در برش ساقه چغندر قند در سه سطح سرعتی ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه گزارش گردید که با افزایش سرعت برش، مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص افزایش می‌یابد (Taghi jarah et al., 2011). در مطالعه برش ضربه‌ای ساقه لوبیای سودانی با قطر ۳۰ میلی‌متر در محدوده سرعتی ۷/۲۳ - ۱/۲۸ متر بر ثانیه در برش عمودی تیغه و زاویه اریب ۳۰ درجه، مقدار انرژی مصرفی ۱۴۶/۹۶ نیوتن متر و مقدار نیروی برشی ۷۴۷/۲۵ نیوتن گزارش گردید (Dange et al., 2012). نتایج بررسی تأثیر سرعت و زاویه برش تیغه در برش ضربه‌ای بر روی انرژی برش ساقه‌های نیشکر نشان داد، با افزایش سرعت برش انرژی ویژه برش نیز افزایش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج حاصله کمترین انرژی ویژه برش در زاویه برش ۶۰ درجه و سرعت برشی ۷/۹ متر بر ثانیه و بیشترین انرژی ویژه برش در زاویه برش ۹۰ درجه و سرعت ۱۶/۴ متر بر ثانیه گزارش گردید (Mathanker et al., 2015). برش ضربه‌ای ساقه کلزا نشان داد، در سرعت تیغه ۲/۶۴ متر بر ثانیه، حداکثر و حداقل انرژی برشی به ترتیب ۱/۱ کیلوژول در رطوبت ۲۵/۵ درصد و در ارتفاع برش ۱۰ سانتی متر و ۰/۷۶ کیلوژول در رطوبت ۱۱/۶ درصد و ارتفاع برش ۳۰ سانتی متر حاصل شده است (Azadbakht et al., 2015). در برش ساقه نیشکر گزارش گردید، بیشترین مقدار مقاومت برشی ساقه در قسمت پایین ساقه و روی گره حاصل شده و ساختار سلولی متفاوت در قسمت‌های مختلف ساقه دلیل تغییر در مقاومت برشی عنوان گردید (Tabatabaee & Hadie pour, 2016). در برش ضربه‌ای ساقه شمشاد گزارش گردید، حداقل و حداکثر مقدار انرژی مصرفی برش به ترتیب ۳/۱۹ ژول در میان‌گره پنجم و سرعت بارگذاری ۴ متر بر ثانیه و ۱۹/۶ ژول در میان‌گره پانزدهم و سرعت بارگذاری ۱ متر بر ثانیه به دست آمده است. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، حداقل و حداکثر مقاومت برشی ساقه ۰/۰۶ مگاپاسکال در میان‌گره

جدول ۱- محدوده قطری نمونه‌های ساقه ترون

Table 1. Diametric range of wild privet stalk samples

محدوده قطر کوچک (mm) Small diameter range	محدوده قطر بزرگ (mm) Large diameter range	موقعیت ساقه Stalk position
2.25 - 3.15	3.05 - 3.82	میان‌گره پنجم 5 th Internode
3.55 - 4.22	3.77 - 4.28	میان‌گره دهم 10 th Internode
3.75 - 4.90	4.08 - 5.50	میان‌گره پانزدهم 15 th Internode

به منظور محاسبه خواص مکانیکی برشی ساقه ترون از قبیل نیروی برشی، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی و همچنین بررسی تأثیر پارامترهای سرعت و موقعیت برش بر خواص مذکور، این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی برای هر دو نوع برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای با ۵ تکرار اجرا گردید. در ادامه به نحوه انجام هر یک از این آزمون‌ها پرداخته شده است.



شکل ۲- پرچین و ساقه ترون
Fig 2. Hedge and stalk of wild privet

۲-۱- آزمون برش شبه استاتیکی

فک‌های دستگاه، مورد برش قرار گرفتند. آزمون برش شبه استاتیکی در چهار سرعت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه روی نمونه‌های تهیه شده از میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه انجام گردید.

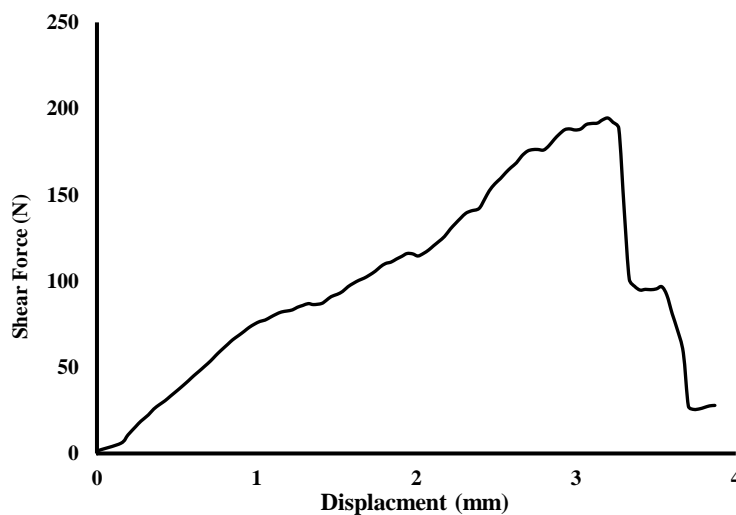
در این آزمون، از دستگاه آزمون کشش- فشار یونیورسال سنتام مدل STM-5 بانضمام یک جعبه برش مضاعف که بر روی فک‌های بالایی و پایینی آن نصب شده بود استفاده گردید (شکل ۳). نمونه‌های مورد نظر تحت اثر نیروی برش شبه استاتیکی مضاعف اعمالی توسط



شکل ۳- دستگاه آزمون کشش- فشار یونیورسال ستنام به انضمام جعبه برش مضاعف
Fig 3. Universal tension-compression test device with double-cutting box

۴، نمونه‌ای از نمودار برشی میان گره پنجم ساقه در سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه نشان داده شده است.

مقدار نیروی لحظه‌ای برش توسط نیروسنج دستگاه آزمون کشش- فشار اندازه‌گیری و نمودار نیروی برشی نسبت به تغییر شکل و جابجایی محل اثر نیرو، برای هر یک از نمونه‌ها بدست آمد. در شکل



شکل ۴- تغییرات نیروی برشی نسبت به جابجایی محل اثر نیرو در برش شبه‌استاتیکی ساقه ترون
Fig 4. Diagram of shear force versus blade displacement in quasi-static cutting

که در آن T_s ، مقاومت برشی (MPa)؛ F_s ، نیروی برشی (N) و A ، سطح مقطع نمونه (mm^2) می‌باشد. با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- جابجایی بدست آمده، مقدار انرژی مصرفی در برش نمونه‌ها قابل

پس از تعیین نیروی برش، با استفاده از رابطه (۱) مقدار مقاومت برشی نمونه‌ها محاسبه گردید (Gere & Timoshenko, 2004).

$$T_s = \frac{F_s}{2A} \quad (1)$$

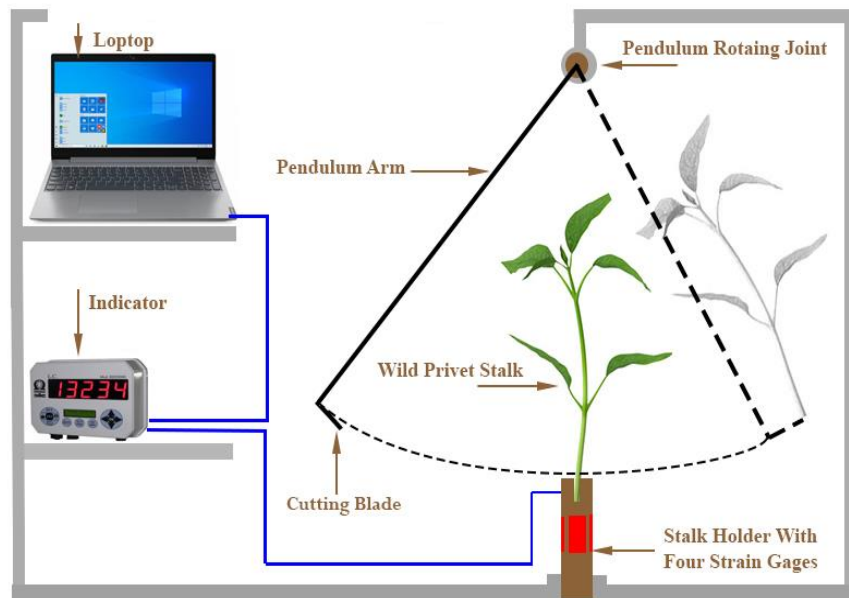
محاسبه می‌باشد (Chen et al., 2004). در این تحقیق سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی توسط نرم افزار متلب محاسبه گردید.

۲-۲- آزمون برش ضربه‌ای

در این آزمون، از دستگاه آزمون ضربه پاندولی ساخته شده استفاده گردید. دستگاه مذکور از یک پاندول نوسانی به همراه تیغه برش و سیستم جمع‌آوری داده تشکیل شده که طرح‌واره آن در شکل ۵ نشان داده شده است. سیستم جمع‌آوری داده، از چهار کرنش‌سنج HBM مدل LY116/120۱ نصب شده در وجوه بخش پایینی نگهدارنده ساقه (Stalk Holder)، بانضمام نمایشگر Nikcell و تقویت کننده ولتاژ Tika تشکیل شده است. کرنش‌سنج‌ها توسط پل وتستون به یکدیگر متصل و خروجی آنها پس از تقویت، توسط نرم‌افزار

بر روی کامپیوتر ثبت و ذخیره گردید. در نهایت نیروی برش ضربه‌ای ساقه ترون از داده‌های خروجی سیستم جمع‌آوری داده به دست آمد.

به انتهای پاندول یک تیغه برش با زاویه تمایل ۹۰ درجه، زاویه اریب ۶۰ درجه و زاویه تیزی ۲۳ درجه متصل گردید. با رها سازی پاندول از زاویه مشخص (a_1) نسبت به محور تعادل، تیغه با نمونه برخورد کرده و پس از برش آن، پاندول تا زاویه ثانویه (a_2) نسبت به محور تعادل عمودی در سمت دیگر حرکت خواهد کرد. پس از برخورد پاندول با نمونه و برش آن، با توجه به پارامترهای دستگاه و زاویه پاندول بعد از برخورد با نمونه، انرژی مصرفی برش نمونه توسط رابطه ۲ محاسبه گردید.



شکل ۵- شماتیک دستگاه برش ضربه‌ای و موقعیت پاندول قبل و بعد از برش ساقه ترون

Fig 5. The schematic figure of the impact cutting device and the position of the pendulum before and after cutting the stalk

جرمی پاندول حول محور دوران (kg.m^2) می‌باشد (Beer & Johnston, 2009). با توجه به ساختار دستگاه تست ضربه‌ای ساخته شده و چهار سرعت انتخابی ۱، ۲، ۳ و ۴ متر بر ثانیه، از چهار زاویه رهاسازی پاندول ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۵ درجه در این تحقیق استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

به منظور بررسی خواص مکانیکی برشی ساقه ترون تأثیر پارامترهای سرعت و موقعیت برش بر خواص مکانیکی ساقه مذکور، بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی برای دو نوع برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای با پنج تکرار اجرا گردید. در ادامه به صورت جداگانه به تحلیل و بررسی رفتار برشی ساقه ترون در برابر هر یک از این دو نوع برش مذکور پرداخته شده است.

$$U = mgr(\cos a_2 - \cos a_1) = mgL\cos a_2 \quad (2)$$

که در آن U ، انرژی برشی (J)؛ m ، جرم پاندول (Kg)؛ L ، طول پاندول (m)؛ r ، فاصله مرکز جرم پاندول تا محور دوران (m)؛ a_1 ، زاویه اولیه پاندول قبل از برخورد با نمونه (deg)؛ a_2 ، زاویه ثانویه پاندول بعد از برخورد با نمونه (deg) می‌باشد (Beer & Johnston, 2009). با توجه به روابط حاکم بر حرکت نوسانی پاندول، زاویه رهاسازی پاندول (زاویه اولیه) توسط رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$a_1 = \cos^{-1}\left(1 - \frac{V^2 \cdot I}{2L \cdot W \cdot r}\right) \quad (3)$$

که در آن V ، سرعت ضربه‌ای برش در لحظه برخورد پاندول به نمونه (m/s)؛ W ، مجموع وزن پاندول و تیغه (N) و I ، ممان اینرسی

۳-۱- برش شبه‌استاتیکی

پارامترهای انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه ترون در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (ANOVA) فاکتورهای سرعت و موقعیت برش و اثر متقابل آنها در برش شبه‌استاتیکی روی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای سرعت و موقعیت برش در برش ساقه ترون

Table 2. ANOVA for the parameters of shear force, shear energy and shear strength

منابع تغییر S.V	درجه آزادی df	مقاومت برشی (MPa) Shear strength	انرژی مصرفی برش (J) Shear energy
سرعت برش (A) Cutting speed (A)	3	6.46**	13824.99*
موقعیت برش (B) Cutting position (B)	2	97.25*	118994.53**
اثر متقابل سرعت × موقعیت برش (A×B) Cutting Position×Speed (A×B)	6	0.116*	1115.03*
خطا Error	11		

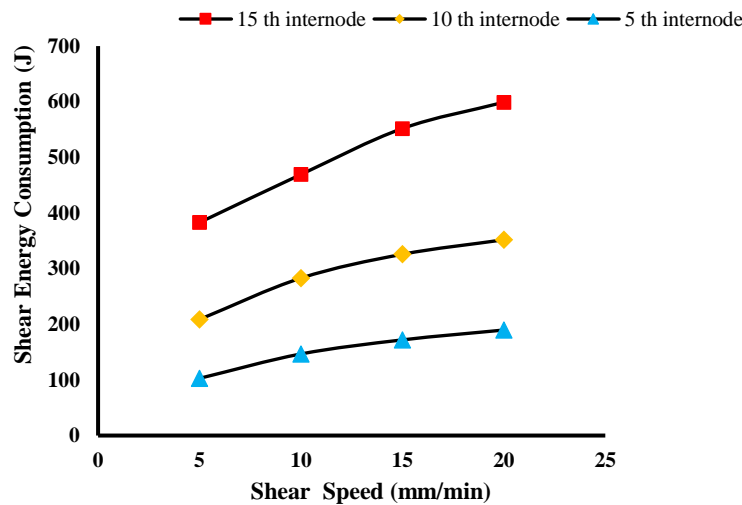
*** و ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد. ns عدم اختلاف معنی‌دار

قسمت فوقانی و در میان‌گره پنجم ساقه ترون حاصل شد. دلایل اصلی تغییر در صفات مورد بررسی در موقعیت‌های مختلف ساقه راه، می‌توان ناشی از افزایش قطر ساقه و افزایش خشبیت ساقه از میان‌گره پنجم تا پانزدهم آن برشمرد (Mohsenin, 1963). در ادامه، تأثیر سرعت و موقعیت برش بر روی خواص مکانیکی ساقه ترون به تفصیل شرح داده شده است.

۳-۱-۱- انرژی مصرفی برش

اثر متقابل سرعت و موقعیت برش بر انرژی مصرفی برش در شکل ۶ نشان شده است. همانطور که مشخص است، در هر میان‌گره، با افزایش سرعت برش، مقدار انرژی مورد نیاز برای برش ساقه افزایش می‌یابد. به خصوص در میان‌گره پانزدهم ساقه، انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت افزایش یافته و میزان انرژی مصرفی در این گره بسیار بیشتر از دو میان‌گره پنجم و دهم ساقه است. حداکثر مقدار انرژی مصرفی برش ۵۹۹/۰۴ ژول در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر در دقیقه در میان‌گره پانزدهم ساقه و حداقل مقدار آن ۱۰۲/۸۵ ژول در سرعت برش ۵ میلی‌متر در دقیقه در میان‌گره پنجم ساقه به‌دست آمد. مقادیر انرژی مصرفی برش از ۱۰۲/۸۵ تا ۱۸۹/۶۷ ژول در میان‌گره پنجم، از ۲۰۸/۷۵ تا ۳۵۱/۸۷ ژول در میان‌گره دهم و از ۳۸۲/۹۰ تا ۵۹۹/۰۴ ژول در میان‌گره پانزدهم در سرعت‌های برش مختلف متغییر می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۲، تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد فاکتور سرعت برش بر پارامترهای مقاومت برشی ($P < 0/01$) و انرژی مصرفی برش ($P < 0/05$) تأثیر معنی‌داری داشته و تأثیر فاکتور موقعیت برش نیز بر مقاومت برشی ($P < 0/05$) و انرژی مصرفی برش ($P < 0/01$) معنی‌دار گردید. همچنین مشخص شد اثر متقابل دو فاکتور سرعت و موقعیت برش نیز بر مقاومت برشی و انرژی مصرفی برش معنی‌دار ($P < 0/05$) می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در خصوص تأثیر و مقایسه میانگین‌های سرعت و موقعیت برش روی صفات انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه نشان داد با افزایش سرعت برش از ۵ تا ۲۰ میلی‌متر در دقیقه، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه افزایش یافته است. با توجه به نتایج، بیشترین مقدار میانگین انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب ۳۸۰/۱۹ ژول و ۱۲/۲۳ مگاپاسکال و کمترین آنها در سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب ۲۲۴/۸۳ ژول و ۶/۱۱ مگاپاسکال حاصل گردید. دلیل افزایش مقادیر مذکور را می‌توان ناشی از افزایش تغییر شکل دیواره بیرونی ساقه با افزایش سرعت برش ساقه، مشابه نظر محسنین و همکاران دانست (Mohsenin, 1963). همچنین بیشترین مقدار میانگین انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه به ترتیب ۴۹۵/۷۰ ژول و ۱۴/۴۱ مگاپاسکال در قسمت پایین و در میان‌گره پانزدهم ساقه و کمترین آنها به ترتیب ۱۵۲/۶۶ ژول و ۴/۴۳ مگاپاسکال در



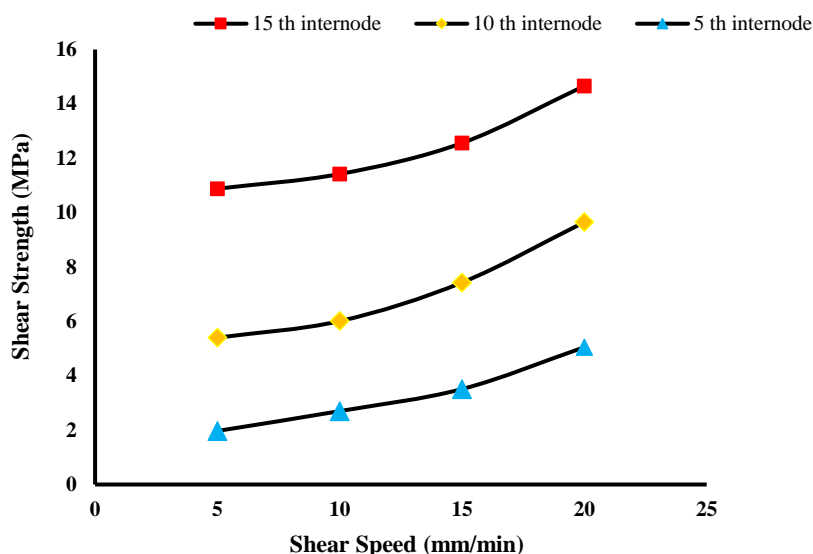
شکل ۶- تغییرات انرژی مصرفی برش نسبت به سرعت و موقعیت برش
 Fig 6. Variation in cutting energy consumption versus cutting speed and cutting position

برش ساقه نیشکر در سه سرعت برش ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، افزایش انرژی مصرفی با افزایش سرعت برش را گزارش کردند (Taghi Jarah et al., 2013). سزیز و همکاران با مطالعه برش ساقه زیتون گزارش کردند افزایش قطر ساقه سبب افزایش نیروی برشی و انرژی مورد نیاز برش می‌گردد (Sessiz et al., 2013). نظری و همکاران گزارش کردند، انرژی برشی ساقه یونجه با افزایش ارتفاع ساقه کاهش می‌یابد (Nazari Galedar et al., 2008). اینس و همکاران با بررسی بقایای ساقه‌های آفتابگردان در مزرعه تأثیر کاهش انرژی ویژه برش را با افزایش ارتفاع ساقه از سطح زمین گزارش کرده و دلیل آن را غیر یکنواختی ساختمان ساقه آفتابگردان بیان نمودند (Ince et al., 2005). تقی‌نژاد و همکاران با مطالعه اثر اندازه و ابعاد ساقه روی ساقه نیشکر نشان دادند که با افزایش قطر ساقه، انرژی برشی مخصوص ساقه افزایش می‌یابد (Taghinezhad et al., 2013). اینس و همکاران مقدار انرژی ویژه برش بقایای ساقه آفتابگردان را ۱۰/۰۸ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع گزارش نموده و نشان دادند، پارامتر مذکور در بخش پایینی ساقه دارای مقدار بیشینه می‌باشد (Ince et al., 2005). بنابراین می‌توان بیان کرد که نتایج حاصل از تأثیر سرعت و موقعیت برش روی پارامتر انرژی مصرفی برش ساقه ترون با نتایج حاصل از مطالعات سایر محققین همخوانی دارد.

۳-۱-۲- مقاومت برشی

شکل ۷ اثر متقابل سرعت و موقعیت برش را بر مقاومت برشی ساقه ترون نشان می‌دهد. بالاترین مقدار مقاومت برشی ۱۴/۶۶ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم و سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و کمترین مقدار آن ۱/۹۷ مگاپاسکال در میان‌گره پنجم و سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه به‌دست آمد.

همچنین با توجه به شکل ۶، حداقل مقادیر انرژی مصرفی برش، در سرعت برش ۵ میلی‌متر در دقیقه، از ۱۰۲/۸۵ تا ۳۸۲/۹۰ ژول در میان‌گره پنجم و حداکثر مقادیر آن در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه از ۱۸۹/۶۷ تا ۵۹۹/۰۴ ژول و در میان‌گره پانزدهم متغییر می‌باشد. همچنین مشخص گردید در فرآیند برش شبه‌استاتیکی ساقه ترون، انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت برش برای تمام مناطق ساقه افزایش می‌یابد. در واقع در بازه شروع برش تا تسلیم ساقه در برابر برش، بخشی از انرژی مصرفی برش صرف تراکم اولیه ساقه شده و با افزایش سرعت در محدوده برش شبه‌استاتیکی، میزان این تراکم اولیه افزایش می‌یابد. با توجه به این نمودار مشخص است با افزایش سرعت برش از ۵ به ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقدار انرژی مصرفی برش در هر سه موقعیت برش میان‌گره پنجم، دهم و پانزدهم ساقه، افزایش یافته و تغییرات انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم در محدوده سرعت انتخابی، نسبت به سایر میان‌گره‌ها محسوس‌تر می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۶ با افزایش سرعت از ۵ به ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه، در هر یک از سطوح میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه، انرژی مصرفی برش به ترتیب به نسبت ۱/۴۵، ۱/۶۰ و ۱/۷۵ افزایش می‌یابد. در واقع می‌توان بیان کرد که در برش شبه‌استاتیکی با یک سرعت مشخص، مصرف انرژی برای هرس بخش‌های پایینی ساقه نسبت به بخش‌های بالایی آن حدود ۱/۷۵ تا ۱/۵ برابر بیشتر خواهد بود. توکلی و همکاران با بررسی برش ساقه جو در محدوده سرعت برش ۵ تا ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، افزایش انرژی مصرفی را با افزایش سرعت برش گزارش کردند (Tavakoli et al., 2009). همتیان و همکاران با مطالعه برش ساقه نیشکر در سرعت‌های برش ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه گزارش کردند، با افزایش سرعت برش انرژی مصرفی برش افزایش می‌یابد (Hematian et al., 2012). تقی جراح و همکاران با



شکل ۷- تغییرات مقاومت برشی نسبت به سرعت و موقعیت برش

Fig 7. Variation in cutting strength versus cutting speed and cutting position

degherty et al., 1995). اسحاق بیگی و همکاران با مطالعه ساقه گندم گزارش کردند با افزایش ارتفاع ساقه از سطح زمین، تنش برشی کاهش می‌یابد (Eshaghbeygi et al., 2009). نظری و همکاران در برش ساقه یونجه گزارش کردند، مقاومت برشی ساقه با افزایش ارتفاع ساقه کاهش می‌یابد (Nazari Galedar et al., 2008). اینس و همکاران با بررسی بقایای ساقه‌های آفتابگردان در مزرعه تأثیر کاهش مقاومت برشی را با افزایش ارتفاع ساقه از سطح زمین گزارش کرده و دلیل آن را غیریکنواختی ساختمان ساقه آفتابگردان بیان نمودند (Ince et al., 2005). توکلی و همکاران در مطالعه خواص مکانیکی ساقه جو گزارش کردند با افزایش سرعت برش از ۵ به ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، مقاومت برشی ساقه از ۴/۲۴ تا ۴/۹۸ مگاپاسکال برای گره اول، ۴/۷۲ تا ۵/۴۰ مگاپاسکال برای گره دوم و ۵/۲۲ تا ۵/۸۰ مگاپاسکال برای گره سوم افزایش می‌یابد (Tavakoli et al., 2009). تقی‌نژاد و همکاران با مطالعه اثر اندازه و ابعاد ساقه روی ساقه نیشکر نشان دادند که با افزایش قطر ساقه، مقاومت نهایی ساقه افزایش می‌یابد (Taghinezhad et al., 2013). اینس و همکاران مقدار مقاومت برشی بقایای ساقه آفتابگردان را برابر با ۱/۰۷ مگاپاسکال ارائه نموده و نشان دادند، پارامتر مذکور در بخش پایینی ساقه دارای مقدار بیشینه می‌باشد (Ince et al., 2005). بنابراین می‌توان بیان کرد که نتایج حاصل از تأثیر سرعت و موقعیت برش روی پارامتر مقاومت برشی ساقه ترون با نتایج حاصل از مطالعات سایر محققین همخوانی دارد.

واضح است که در هر میان‌گره، با افزایش سرعت برش، مقدار مقاومت برشی ساقه افزایش می‌یابد. در میان‌گره پانزدهم ساقه، با افزایش سرعت، مقاومت برشی افزایش یافته و میزان تنش برشی در این گره بسیار بیشتر از دو میان‌گره پنجم و دهم ساقه است. با توجه به شکل ۷، مقادیر مقاومت برشی از ۱/۹۷ تا ۵/۰۵ در میان‌گره پنجم، از ۵/۴۰ تا ۹/۶۵ در میان‌گره دهم و از ۱۰/۸۸ تا ۱۴/۶۶ در میان‌گره پانزدهم در سرعت‌های برش مختلف متفاوت بود. حداقل مقادیر مقاومت برشی در سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه از ۱/۹۷ تا ۱۰/۸۸ مگاپاسکال و حداکثر مقادیر آن در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه از ۵/۰۵ تا ۱۴/۶۶ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم ساقه متغیر می‌باشد. همچنین تحلیل نتایج نشان داد در فرآیند برش شبه‌استاتیکی، مقاومت برشی با افزایش سرعت برش برای تمام مناطق مختلف ساقه ترون افزایش می‌یابد. همچنین مقاومت برشی با افزایش سرعت برش برای تمام نواحی ساقه ترون افزایش یافته است. توکلی و همکاران با بررسی برش ساقه جو در محدوده سرعت برشی ۵ تا ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، افزایش مقاومت برشی را با افزایش سرعت برش گزارش کردند (Tavakoli et al., 2009). همچنین همتیان و همکاران نیز با مطالعه برش ساقه نیشکر در سرعت‌های برش ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، افزایش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش را گزارش کردند (Hematian et al., 2012). تقی‌جراح و همکاران با برش ساقه نیشکر در سه سرعت برش ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، گزارش کردند با افزایش سرعت برش مقاومت برشی ساقه افزایش می‌یابد (Taghi jarah et al., 2011). دوقرتی و همکاران نشان دادند با افزایش قطر و سطح مقطع دیواره ساقه گندم از گره اول تا گره چهارم مقاومت برشی ساقه از ۴/۹۱ به ۷/۲۶ مگاپاسکال افزایش می‌یابد (O')

۲-۳- برش ضربه‌ای

ترون دارد. همچنین مشخص شد اثر فاکتور موقعیت برش نیز بر پارامترهای انرژی مصرفی برش ($P < 0.05$) و مقاومت برشی ($P < 0.01$) معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از جدول مذکور نشان داد، اثر متقابل دو فاکتور سرعت و موقعیت برش بر پارامترهای مقاومت برشی و انرژی مصرفی برش ساقه ترون معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (ANOVA) فاکتورهای سرعت و موقعیت برش و اثر متقابل آنها در برش ضربه‌ای بر انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه ترون در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳، نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد فاکتور سرعت برش و برهم‌کنش دو فاکتور سرعت و موقعیت برش تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای سرعت و موقعیت برش در برش ساقه ترون
Table 3. ANOVA for the parameters of shear force, shear energy and shear strength

منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت برشی (MPa)	انرژی مصرفی برش (J)
S.V	df	Shear strength	Shear energy
سرعت برش (A)	3	0.17*	53.99*
موقعیت برش (B)	2	4.04**	4.59*
اثر متقابل سرعت × موقعیت برش (A×B)	6	0.006*	0.16*
خطا	11		
Error			

** و * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد. ns عدم اختلاف معنی‌دار

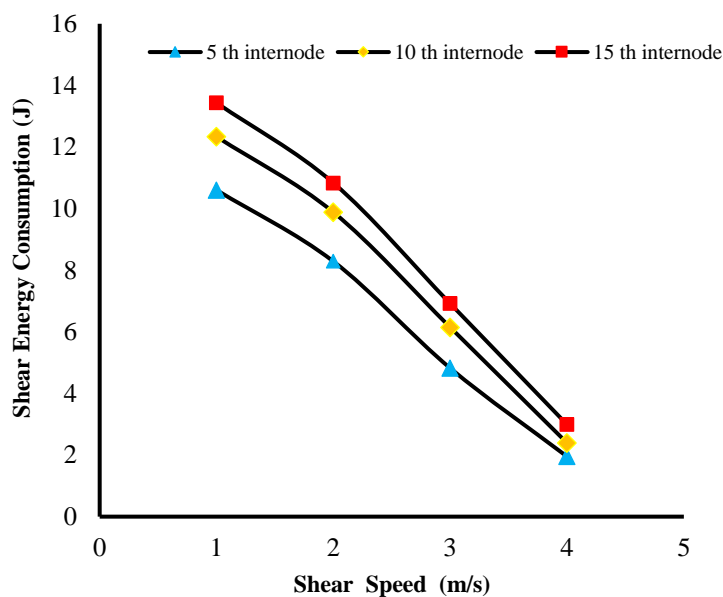
۳-۲-۱- انرژی مصرفی برش

شکل ۸، اثر متقابل سرعت و موقعیت برش را بر انرژی مصرفی برش ساقه ترون نشان می‌دهد. در همه مناطق و موقعیت‌های مختلف ساقه، انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت برش کاهش یافته و مقادیر آن به ترتیب از ۱۰/۶۰ تا ۱/۹۵ ژول در میان‌گره پنجم، از ۱۲/۳۳ تا ۲/۳۹ ژول در میان‌گره دهم و از ۱۳/۴۳ تا ۲/۹۹ ژول برای میان‌گره پانزدهم ساقه متغییر است. بنابراین، تفاوت بین مقادیر انرژی برشی برای موقعیت‌های برش انتخابی، با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد، به ویژه در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه، مقادیر انرژی مصرفی برش به ترتیب ۱/۹۵، ۲/۳۹ و ۲/۹۹ ژول برای میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه ترون می‌باشد. بیشترین انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم برابر با ۱۳/۴۹ ژول و کمترین انرژی مصرفی برش ۱/۹۵ ژول در میان‌گره پنجم ساقه بدست آمده است. با توجه به این نمودار مشخص است که با افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، انرژی مصرفی برش در هر سه موقعیت برش میان‌گره پنجم، دهم و پانزدهم ساقه ترون کاهش یافته و در محدوده سرعت بین ۳ تا ۴ متر بر ثانیه، سیر نزولی این نمودار بسیار بیشتر از سایر سرعت‌ها می‌باشد. در واقع تغییرات انرژی مصرفی برش در این محدوده سرعت در تمام میان‌گره‌ها بسیار محسوس‌تر می‌باشد. با توجه به نمودار تغییرات انرژی مصرفی

با توجه به نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن، با افزایش سرعت برش از ۱ تا ۴ متر بر ثانیه، مقدار هر یک از پارامترهای مورد بررسی کاهش می‌یابد. در واقع مقادیر حداقل میانگین‌های انرژی مصرفی برش ۲/۴۴ ژول و مقاومت برشی ۰/۱۱ مگاپاسکال، در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه حاصل شده و مقادیر حداکثر میانگین‌های انرژی مصرفی برش ۱۲/۱۱ ژول و مقاومت برشی ۰/۹۷ مگاپاسکال، در سرعت برش ۱ متر بر ثانیه بدست آمده است. همچنین با توجه به نتایج و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با حرکت به سمت پایین ساقه از میان‌گره پنجم تا پانزدهم ساقه، هر یک از پارامترهای انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه در برابر برش افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار میانگین انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه به ترتیب ۹/۵۱ ژول و ۰/۴۲ مگاپاسکال در قسمت پایین و در میان‌گره پانزدهم ساقه و کم‌ترین آنها به ترتیب ۶/۵۵ ژول و ۰/۱۵ مگاپاسکال در قسمت فوقانی و در میان‌گره پنجم ساقه ترون حاصل شد. مشابه با برش شبه‌استاتیکی در برش ضربه‌ای نیز دلایل اصلی تغییر در صفات مورد بررسی در موقعیت‌های مختلف ساقه را، افزایش قطر ساقه و همچنین افزایش خشبی بودن از میان‌گره پنجم تا پانزدهم آن می‌توان برشمرد (Mohsenin, 1963). در ادامه، تأثیر سرعت و موقعیت برش بر روی خواص مکانیکی ساقه ترون به تفصیل شرح داده شده است.

سرعت برش، انرژی مصرفی برش افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه قطر ساقه با افزایش فاصله از بالای ساقه به سمت پایین افزایش می‌یابد، تغییر شکل ساقه با کاهش سرعت برش افزایش یافته و انرژی مورد نیاز برای برش ساقه‌های با قطر کوچک کمتر از ساقه با قطر بزرگ خواهد بود. تحقیقات انجام شده روی برش ضربه‌ای ساقه سایر گیاهان نتایج مشابهی را ارائه کرده است.

برش نسبت به سرعت و موقعیت برش، در محدوده سرعت ۱ به ۲ متر بر ثانیه ۲۱ درصد، در محدوده سرعت ۲ به ۳ متر بر ثانیه ۳۷ درصد و در محدوده سرعت ۳ به ۴ متر بر ثانیه ۵۲ درصد کاهش انرژی مصرفی را نشان می‌دهد. رابطه سرعت برش و موقعیت برش با انرژی مصرفی برش نشان می‌دهد، با حرکت به سمت موقعیت‌های پایین از سمت بالای ساقه، انرژی مصرفی برش افزایش یافته و همچنین با کاهش



شکل ۸- تغییرات انرژی مصرفی برش نسبت به سرعت و موقعیت برش

Fig 8. Variation in cutting energy consumption versus cutting speed and cutting position

موقعیت برش و مقطع ساقه در برش ضربه‌ای ساقه ذرت گزارش کردند که مقطع عرضی ساقه اثر معنی داری روی انرژی برش و ماکزیمم نیروی برش داشته و هر دو پارامتر مذکور دارای یک نسبت مستقیم با مقطع عرضی ساقه می‌باشند (Prasad & Gupta, 1975). دنگی و همکاران همچنین در برش ضربه‌ای ساقه لوبیای سودانی در محدوده سرعتی ۲/۲۸ تا ۷/۲۳ متر بر ثانیه در محدوده قطر ساقه ۸ تا ۳۰ میلی‌متر گزارش کردند که با افزایش قطر ساقه میزان نیروی برش و انرژی برش ساقه افزایش می‌یابند (Dange et al., 2011). آزادبخت و همکاران با مطالعه برش ضربه‌ای ساقه کلزا در ارتفاع‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح زمین گزارش کردند که میزان انرژی مصرفی با افزایش ارتفاع ساقه کاهش یافته و دلیل این کاهش را کاهش قطر ساقه و تأثیر آن بر روی انرژی مصرفی بیان کردند (Azadbakht et al., 2015). علیزاده و همکاران با بررسی ضربه‌ای ساقه واریته‌های مختلف برنج گزارش کردند که انرژی لازم برای برش میان‌گره‌های بالایی ساقه برنج نسبت به میان‌گره‌های پایینی آن دارای مقدار کمتری بوده و دلیل آن را تجمع بیشتر فیبرهای رسیده و همچنین افزایش ضخامت دیواره ساقه در بخش‌های پایینی آن بیان کردند. همچنین

پارساد و گوپتا با مطالعه برش ضربه‌ای ساقه ذرت گزارش کردند که سرعت ۲/۶۵ متر بر ثانیه یک سرعت بهینه جهت برش ساقه ذرت بوده و در واقع در این سرعت میزان انرژی در واحد سطح مقطع ساقه کمترین می‌باشد (Prasad & Gupta, 1975). یلجیب و محمد با بررسی اثر سرعت برش در برش ضربه‌ای ساقه سورگوم در دو ارتفاع ۲۰ و ۱۲۰ میلی‌متر از سطح زمین، گزارش کردند که حداقل انرژی لازم برای برش در دو ارتفاع مذکور برابر با ۷/۸۷ و ۱۲/۵۵ نیوتن‌متر بوده که در سرعت‌های برش ۲/۹۱ به ۳/۵۴ متر بر ثانیه بدست می‌آید (Yiljep & Mohammed, 2005). مک راندل و مک نالتی در برش ساقه‌های چمن و جو دو سر در محدوده سرعتی ۲۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه در زوایای مختلف تیغه گزارش کردند که با افزایش سرعت، میزان انرژی بر واحد سطح مقطع کاهش یافته و نسبت کاهش انرژی در این محدوده سرعتی، در حدود ۲۵ درصد می‌باشد (McRandal & McNulty, 1978). چاتوپادهی و همکاران با برش ضربه‌ای ساقه‌های سورگوم با استفاده از یک تیغه برش چکشی در محدوده سرعتی ۲۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه نشان دادند که با افزایش سرعت برش، انرژی برش بر واحد سطح مقطع ساقه در زمان برش ساقه کاهش می‌یابد (Chattopadhyay & Pandey, 2001). پارساد و گوپتا با مطالعه اثر

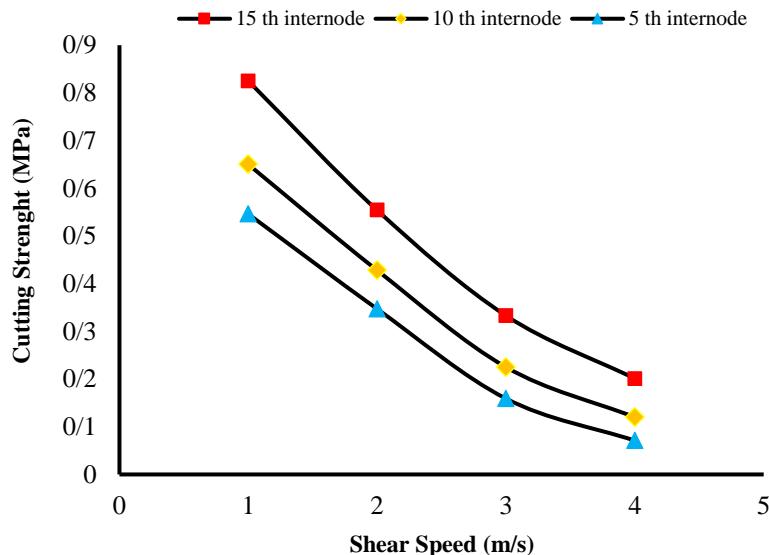
افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقاومت برشی کاهش یافته و مقادیر آن از ۰/۰۷ تا ۰/۵۴ مگاپاسکال در میان‌گره پنجم، از ۰/۱۷ تا ۰/۶۵ مگاپاسکال در میان‌گره دهم، و از ۰/۲۰ تا ۰/۸۲ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم ساقه متغییر می‌باشد.

این محققین میانگین اختلاف انرژی مصرفی بین گره دوم و سوم را ۳۵ درصد گزارش کردند (Alizade et al., 2011).

۲-۲- مقاومت برشی

شکل ۹، اثر متقابل سرعت و موقعیت برش بر مقاومت برشی

ساقه ترون را نشان می‌دهد. در تمام نواحی و موقعیت‌های برش، با



شکل ۹- تغییرات مقاومت برشی نسبت به سرعت و موقعیت برش

Fig 9. Variation in cutting strength versus cutting speed and cutting position

موقعیت برش میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه برگ‌نو کاهش یافته و بیشترین مقدار مقاومت برشی ساقه در میان‌گره پنجم و در سرعت ۲ متر بر ثانیه و کمترین آن در میان‌گره پانزدهم و در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه بدست آمده است (Kamandar et al., 2018). کماندار و مساح در برش ضربه‌ای ساقه شمشاد گزارش کردند، در تمامی موقعیت‌ها و میان‌گره‌های ساقه شمشاد، مقاومت برشی با افزایش سرعت بارگذاری کاهش یافته و حداکثر مقاومت برشی ساقه با مقدار ۱/۰۳ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم ساقه و سرعت ۲ متر بر ثانیه و کمترین مقدار آن ۰/۱۴ مگاپاسکال در میان‌گره پنجم و سرعت ۴ متر بر ثانیه به دست آمده است (Kamandar & Massah, 2017). چاتوپادیای و پاندی اثر رسیدگی سورگوم در دو مرحله علوفه‌ای و رسیدگی دانه، سرعت بارگذاری ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر بر ثانیه و زاویه لبه تیغه ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه را بر روی انرژی برشی بررسی کردند. نتایج نشان داد، در زاویه تیغه ۳۰ درجه با افزایش سرعت بارگذاری حداکثر مقاومت برشی ساقه کاهش می‌یابد (Chattopadhyay & Pandey, 1999). نتایج حاصل از برش استاتیکی و دینامیکی ساقه‌های چهار رقم برنج خزر، فجر، بی‌نام و هاشمی در سرعت‌های برش ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵ متر بر ثانیه نشان داد، حداکثر و حداقل مقاومت برشی برای حالت برش استاتیکی بیشتر

بیشترین مقدار مقاومت برشی ساقه ۰/۸۲ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم ساقه با سرعت برش ۱ متر بر ثانیه و کمترین مقدار آن ۰/۰۷ مگاپاسکال و در میان‌گره پنجم با سرعت برش ۴ متر بر ثانیه به دست آمد. با توجه به این نمودار مشخص است که با افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقاومت برشی در هر سه موقعیت برش میان‌گره‌های پنجم، دهم و پانزدهم ساقه ترون کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار مقاومت برشی ساقه ترون در میان‌گره پنجم و در سرعت ۲ متر بر ثانیه و کمترین آن در میان‌گره پانزدهم و در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه ایجاد می‌گردد. تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به سرعت و موقعیت برش، در محدوده سرعت ۱ به ۲ متر بر ثانیه ۳۵ درصد، در محدوده سرعت ۲ به ۳ متر بر ثانیه ۵۵ درصد و در محدوده سرعت ۳ به ۴ متر بر ثانیه ۴۵ درصد کاهش مقاومت برشی را نشان می‌دهد. تغییر ضخامت ساقه و همچنین تغییر بافت ساقه نسبت به تغییر ارتفاع برش، باعث می‌گردد تا ارتفاع برش یکی از عوامل موثر بر تغییر مقاومت برشی ساقه باشد (Soleimani et al., 2023). تحقیقات انجام شده روی برش ضربه‌ای ساقه سایر گیاهان نتایج مشابهی را ارائه کرده است.

کماندار و همکاران در برش ساقه برگ‌نو گزارش کردند با افزایش

سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقاومت برشی ساقه در هر سه

نسبت انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم به پنجم ساقه به ترتیب حدود ۱/۲۵، ۱/۳۰، ۱/۴۴ و ۱/۵۵ در سرعت برش ۱ تا ۴ متر بر ثانیه است. نتایج حاصله نشان داد با تغییرات سرعت برش در محدوده ۱ تا ۴ متر بر ثانیه، انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم تقریباً ۴/۵-۵/۵ برابر بیشتر از میان‌گره پنجم است. همچنین با تغییر میان‌گره، انرژی مصرفی برش در سرعت تیغه ۱ متر بر ثانیه تقریباً ۱/۲۵ تا ۱/۵۵ برابر بیشتر از سرعت ۴ متر بر ثانیه است. نسبت مقاومت برشی در سرعت برش ۱ به ۴ متر بر ثانیه در میان‌گره‌های پانزدهم، دهم و پنجم ساقه به ترتیب حدود ۴/۰۰، ۵/۵۵ و ۷/۷۷ بوده است. همچنین نسبت مقاومت برشی در میان‌گره پانزدهم به پنجم ساقه به ترتیب حدود ۲/۸۳، ۲/۱۰ و ۱/۵۹ در سرعت برش ۱ تا ۴ متر بر ثانیه است. واضح است که با تغییرات سرعت در محدوده ۱ تا ۴ میلی‌متر در دقیقه، مقاومت برشی ساقه در میان‌گره پانزدهم تقریباً ۸-۴ برابر بیشتر از میان‌گره پنجم است. همچنین با تغییر موقعیت میان‌گره، مقاومت برشی در سرعت برش ۱ متر بر ثانیه تقریباً ۲/۹-۱/۵ برابر بیشتر از سرعت ۴ متر بر ثانیه است.

بررسی اثر متقابل پارامترهای سرعت و موقعیت برش روی صفات مورد ارزیابی انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه ترون نشان داد، مقادیر حداقل انرژی مصرفی و مقاومت برشی ساقه ترون در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای، به ترتیب در سرعت‌های برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه و ۴ متر بر ثانیه و در میان‌گره پنجم ساقه حاصل شده است. با توجه به این که برش و هرس ساقه از میان‌گره پنجم به جهت کاهش انرژی مصرفی و مقاومت برشی یک حالت ایده‌آل و بهینه برای هر دو نوع برش می‌باشد، حداقل سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه در برش شبه‌استاتیکی و حداکثر سرعت برش ۴ متر بر ثانیه در برش ضربه‌ای را می‌توان به‌عنوان تیمارهای بهینه برش ساقه ترون قلمداد کرد. در نهایت بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌گردد، افزایش سرعت برش خصوصاً سرعت‌های بالای ۲ متر بر ثانیه به‌عنوان یک پارامتر موثر جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و همچنین سهولت برش ساقه درختچه زینتی ترون و سایر درختچه‌های زینتی مشابه، مد نظر قرار گیرد.

از حالت برش دینامیکی بوده و مقاومت برشی ساقه برنج با افزایش سرعت برش از ۰/۶ متر بر ثانیه به ۱/۵ متر بر ثانیه از ۲۳۴/۴ کیلوپاسکال به ۱۳۷/۴ کیلوپاسکال کاهش یافت (Tabatabaee & Borgheie, 2006). در برش ساقه کنگد در سه موقعیت برش بالا، وسط و پایین ساقه و محدوده سرعت برش ۰/۵ تا ۲ متر بر ثانیه گزارش گردید، با افزایش سرعت برش از ۰/۵ به ۲ متر بر ثانیه در موقعیت برش پایین ساقه، مقاومت برشی ساقه در حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است (Soleimani et al., 2023).

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت بررسی رفتار برشی ساقه درختچه زینتی ترون یک‌سری آزمایش برش ساقه با استفاده از دو دستگاه آزمون برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای انجام شد و در نهایت نتایج زیر حاصل گردید.

برش شبه‌استاتیکی ساقه: نسبت انرژی مصرفی برشی در سرعت برش ۲۰ به ۵ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۱/۵۶، ۱/۸۶ و ۲/۱۴ در میان‌گره‌های پانزدهم، دهم و پنجم ساقه بوده و همچنین نسبت انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم نسبت به میان‌گره پنجم به ترتیب حدود ۳/۱۵، ۳/۲۰، ۳/۱۹ و ۲/۱۴ در سرعت‌های برش ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که با تغییرات سرعت در محدوده ۲۰ تا ۵ میلی‌متر در دقیقه، انرژی مصرفی برش در میان‌گره پانزدهم تقریباً ۳-۲ برابر بیشتر از میان‌گره پنجم ساقه می‌باشد. همچنین با تغییر میان‌گره، انرژی مصرفی برش در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر در دقیقه تقریباً ۲-۱/۵ برابر بیشتر از سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه است. نسبت‌های مقاومت برشی در سرعت برش ۲۰ تا ۵ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۱/۳۵، ۱/۷۹ و ۲/۵۶ در میان‌گره‌های پانزدهم، دهم و پنجم ساقه می‌باشد. همچنین نسبت‌های مقاومت برشی در میان‌گره پانزدهم به پنجم به ترتیب حدود ۲/۹۰، ۳/۵۷، ۴/۲۳ و ۲/۵۲ در سرعت‌های برش ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر در دقیقه است. واضح است که مقاومت برشی ساقه در میان‌گره پانزدهم تقریباً ۲/۵-۱/۳ برابر بیشتر از میان‌گره پنجم است و مقدار آن در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر در دقیقه تقریباً ۵/۵-۳/۵ برابر بیشتر از سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه است.

برش ضربه‌ای ساقه: نسبت انرژی مصرفی برش در سرعت برش ۱ به ۴ متر بر ثانیه در میان‌گره‌های پانزدهم، دهم و پنجم ساقه به ترتیب حدود ۴/۴۶، ۵/۱۵ و ۵/۴۴ می‌باشد. همچنین

۵- منابع

- Eshaghbeygi, A., Hoseinzadeh, B., khazae, M., and Masoumi, A. (2009). *Bending and shearing properties of wheat of alvand variety*. World Applied Sciences Journal, 6(8): 1028-1032.
- Feyzi, M., Jafari, A., and Ahmadi, H. (2014). *Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting*. Journal of Agricultural Machinery, 6(1): 90-101.
- Gere, J. M., and Timoshenko, S. P. (2004). *Mechanics of materials*. Thomson Learning Inc, Belmont CA, USA.
- Hematian, R., Najafi, G., Hoseinzadeh, B., Tavakoli, T., and Khoshtaghaza, M. H. (2012). *Experimental and theoretical investigation of the effects of moisture content and internodes position on shearing characteristics of sugar cane stems*. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 963-974.
- Hemmatian, R., Najafi, G., Hoseinzadeh, B., Tavakoli, T., and Khoshtaghaza, M. H. (2012). *Experimental and theoretical investigation of the effects of moisture content and internodes position on shearing characteristics of sugar cane stems*. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 963-974.
- Hoseinzadeh, B., and Shirneshan, S. (2012). *Bending and Shearing Characteristics of Canola Stem*. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 12(3): 275-281.
- Ince, A., Ugurluay, S., Guzel, E., and Ozcan, M. T. (2005). *Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue*. Biosystems Engineering., 92(2): 175-181. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.07.003>
- Kamandar, M. R., and Massah, J. (2017). *Sensor based definition of buxus stem shearing behavior in impact cutting process*. CIGR Ejournal (In Press).
- Kamandar, M. R., Massah, J., and Jamzad, M. (2022). *Design and evaluation of hedge trimmer robot*. Computers and Electronics in Agriculture, 199: 107065. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107065>
- Kamandar, M. R., Massah, J., and Khanali, M. (2018). *Quasi-static and impact cutting behavior definition of privet stem*. CIGR Ejournal, 20(1): 70-80.
- Li, C., Zhang, H., Wang, Q., and Chen, Z. (2022). *Influencing factors of cutting force for apple tree branch pruning*. mdpj, 12(312): 2-10.
- Li, Z., Li, P., and Liu, J. (2011,). *Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting*. J. Food Eng., 103: 170–178.
- Mathanker, S. K., Grift, T. E., and Hansen, A. C. (2015). *Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems*. Biosystems Engineering., 133: 64-70. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.03.003>
- Ahangarnezhad, N., Najafi, G., and Jahanbakhshi, A. (2019). *Determination of the physical and mechanical properties of a potato (the Agria variety) in order to mechanise the harvesting and post-harvesting operations*. Res. Agric. Eng., 65(33–39).
- Alizade, M. R., Ajdadi, F. R., and Dabbaghi, A. (2011). *Cutting energy of rice stem as influenced by internode position and dimensional characteristics of different varieties*. Australian Journal of Crop Science., 5(6): 681-687.
- ASAE, S. (2005b). *Moisture relationships of plant-based agricultural products*. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Azadbakht, M., Esmailzadeh, E., and Esmaili-Shayan, M. (2015). *Energy consumption during impact cutting of canola stalk as a function of moisture content and cutting height*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(2): 147-152. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.002>
- Azmi, Y., Khairunnisa, H., Tajudeen, A. I., and Hadi, S. (2013). *Physical and mechanical properties of Jatropha curcas l. Fruits from different planting densities*. J. Appl. Sci., 13: 1004–1012.
- Bako, T., and Garba, A. J. (2020). *Engineering properties of acha (Digitaria exilis) grains in relation to the design of grain processing machines*. Agric. Eng. Int. CIGR J., 22: 159–170.
- Beer, F. P., and Johnston, E. R. (2009). *Vector Mechanics for Engineers: Dynamics*. McGraw-Hill, 9th edition.
- Blamey, M., and Grey-Wilson, C. (1989). *The illustrated flora of Britain and northern Europe*.
- Boydas, M. G., Comakli, M., Sayinci, B., and Kara, M. (2019). *Effects of moisture content, internode region, and oblique angle on the mechanical properties of sainfoin stem*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 43: 254-263.
- Chattopadhyay, P. S., and Pandey, K. P. (1999). *Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation*. Journal of Agricultural Engineering Research, 73: 199-206.
- Chattopadhyay, P. S., and Pandey, K. P. (2001). *Impact cutting behavior of sorghum stalk using a flail - cutter-a mathematical model and its experimental verification*. Journal of Agricultural Engineering Research, 78(4): 369-376.
- Chen, Y., Gratton, J. L., and Liu, J. (2004). *Power requirement of hemp cutting and conditioning*. Biosystems Engineering, 87(4): 417-424.
- Dange, A. R., Thakare, S. T., and Bhasharrao, I. (2011). *Cutting energy and force as required for pigeon pea stems*. Journal of Agricultural Technology., 7(6): 1485-1493.
- Dange, A. R., Thakare, S. T., Bhasharrao, I., and Momin, U. (2012). *Design of tractor mounted pigeon pea stem cutter*. Journal of Agricultural Technology., 8(2): 417-433.

- Tavakoli, H., Mohtasebi, S. S., and Jafari, A. (2009). *Effect of moisture content and loading rate on the shearing characteristics of barley straw by internode position*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1176, XI.
- Yiljep, Y. D., and Mohammed, U. S. (2005). *Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of sorghum stalk*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 05 004., VII.
- Yilmaz, D., Kabas, O., Akinci, I., Ozmerzi, A., and Cagirgan, M. I. (2009). *Effect of moisture content and stalk section on some engineering parameters of closed capsule sesame stalks (Sesamum indicum L.)*. Journal of Food, Agriculture & Environment, 7(3&4): 306-311.
- Zhou, D., Jing, C., She, J., She, J. K., Tong, J., and Chen, Y. X. (2012). *Temporal dynamics of shearing force of rice stem*. Biomass Bioenergy., 47: 109-114.
- McRandal, D. M., and McNulty, P. B. (1978). *Impact cutting behavior of forage crops: field tests*. Journal of Agricultural Engineering Research, 23: 329-338.
- Mohammadi Baneh, N., Navid, H., Alizadeh, M. R., and Ghasemzadeh, H. R. (2012). *Design and Development of a Cutting Head for Portable Reaper Used in Rice Harvesting Operations*. Journal of Applied Biological Sciences, 6(3): 69-75.
- Mohsenin, N. N. (1963). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Nazari Galedar, M., Tabatabaeifar, A., Jafari, A., Sharifi, A., and Rafiee, S. (2008). *Bending and shearing characteristics of alfalfa stems*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript FP 08 001., X.
- O' degherty, M. J., Hubert, J. A., Dyson, J., and Marshall, C. J. (1995). *A study of the physical and mechanical properties of wheat straw*. Journal of Agricultural Engineering Research, 62: 133-142.
- Prasad, J., and Gupta, C. P. (1975). *Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting*. Journal of Agricultural Engineering Research, 20: 79-87.
- Salehi, A. (2020). *Urban Green Space (Green Book 1400)*. Publications of the Center for Urban and Rural Planning Studies, 9. (In Persian).
- Sessiz, A., Elicin, A. K., Esgici, R., Ozdemir, G., and Nozdrovicky, L. (2013). *Cutting properties of olive sucker*. Acta technologica agriculturæ, 3: 82-86.
- Shahbazi, F., and Nazari Galedar, M. (2012). *Bending and shearing properties of safflower stalk*. J. Agr. Sci, 14: 743-754.
- Sitkei, G. (1986). *Mechanics of agricultural materials*. Elsevier Science Publishers: 445-450.
- Soleimani, N., Kamandar, M. R., Khoshnam, F., and Soleimani, A. (2023). *Defining and modelling sesame stalk shear behaviour in harvesting by reciprocating cutting blade*. Biosystems engineering, 229: 44-56.
- Tabatabaee, R., and Hadie pour, R. (2016). *Shearing, compression and bending properties of sugarcane at different portions*. Journal of Agricultural Engineering, 39(1): 67-80.
- Taghi jarah, H., Ahmadi, H., Ghahderijani, M., and Tavakoli, M. (2011). *Shearing characteristics of sugar cane stalks as a function of the rate of the force*. Australian Journal of Crop Science., 5(6): 630-634.
- Taghi jarah, H., Alimardani, R., and Jafari, A. (2013). *Effect of moisture content and dimensional size on the shearing characteristics of sugar cane stalks*. Journal of Agricultural Technology, 9(2): 281-294.
- Taghinezhad, J., Alimardani, R., and Jafari, A. (2013). *Effect of moisture content and dimensional size on the shearing characteristics of sugarcane stalks*. Journal of Agricultural Technology., 9(2): 281-294.