



A review on effects of stalk moisture content, blade cutting speed and cutting position parameters on cutting behavior of agricultural crops stalk in impact and quasi static cutting processes

Mohammad Reza Kamandar¹ | Moslem Namjoo²

1. Corresponding Author, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran. E-mail: Mr_kamandar@ujiroft.ac.ir

2. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran. E-mail: M.namjoo@ujiroft.ac.ir

Article Info

Article type: Review

Article history:

Received: Sep. 25, 2025

Revised: Nov. 27, 2025

Accepted: Dec. 2, 2025

Published online: Winter 2026

Keywords:

*Cutting energy,
Harvesting,
Shear strength,
Shear force*

ABSTRACT

Knowledge of cutting behavior of agricultural crops stems combined with design of new harvesting machines or optimization of existing machines can lead to the reduction of losses and damages to the crops. Studies have shown that determining properties such as cutting force, cutting strength and cutting energy are among the most important factors in the design of cutting mechanism of harvesting machines, and these properties also change under the influence of cutting speed, stem moisture content and cutting position. Given the importance of the subject, the present article aims to review and summarize the scientific findings of researches conducted on the effect of cutting speed, stem moisture content and cutting position on the mechanical cutting properties of agricultural crops stems in two types of impact and quasi-static cutting processes. For this purpose, relevant articles and theses have been selected and examined from the SID, Irandoc, Scopus, and Science Direct databases. Studies have shown that stem cutting speed, as an important and influential factor in the design of the cutting blade mechanism of harvesting machines, has a greater impact on the cutting behavior of agricultural crops. According to the reported results, increasing the stem cutting speed of a crop such as sesame from 1 to 2 m s⁻¹ reduces the cutting force by 45%, the cutting energy by 22%, and the shear strength by 33%.

Cite this article: Kamandar, M. R., Namjoo, M., (2025) A review on effects of moisture content, blade cutting speed and cutting position parameters on cutting behavior of agricultural crops stalk in impact and quasi static cutting processes, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56 (4), 125-153. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.403014.665617>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.403014.665617>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Mechanical properties are characteristics of agricultural crops that affect their behavior under conditions where they are affected by various loads and mechanical properties have a significant impact on how to perform harvesting and mechanical processing operations. The cutting behavior of agricultural crops mostly indicate the reaction of the stalk when cutting forces are applied by the cutting tools of harvesting machines. In cutting the stalk of agricultural crops, the speed of the cutting blade, the moisture content of the stalk, and the cutting position affect the cutting force, cutting energy, and stalk shear strength. The present study aims to review and summarize the scientific findings in the field of the effect of the parameters (moisture content, cutting speed and cutting position) on the mechanical properties of agricultural crops stalk (cutting force, specific cutting energy and shear strength) in quasi-static and impact cutting processes.

Method

Given the high importance of mechanical properties of agricultural crops stalk in design and fabrication of harvesting machines, the present article aims to review and summarize the scientific findings and research conducted in the field of quasi-static and impact cutting processes of agricultural crops stalk. To this end, all related articles and theses were reviewed from national and international journals. This article, therefore, reviews the literature on effects of stalk moisture content, blade cutting speed and stalk cutting position parameters on cutting behavior of agricultural crops stalk as cutting force, specific cutting energy and shear strength in the both cutting processes.

Results

The results of the conducted researches show that the mechanical properties of the stalk during cutting are closely related to the design parameters of the agricultural harvesters. Determining the mechanical properties of the stem such as shear force, shear strength, and shear energy is essential for blade design and is considered one of the most important factors in the design of agricultural harvesters. Many factors and parameters affect the amount of shear force, shear energy and shear strength of crops stalk. Conducted studies and researches show that in cutting most crops stalk, by increasing the cutting speed, cutting height, and also stalk moisture content the amount of cutting force, cutting strength and cutting energy decreases.

Conclusion

In developing a machine for cutting plant materials, the goal is to achieve and maintain the quality of the harvested material while minimizing the energy and force required to perform the work. In addition to design of new agricultural machines and optimization of existing machines, the knowledge of the cutting behavior of the crops stalk makes it possible to perform mechanized harvesting operations when the resistance of the product is sufficient and the amount of product damage and loss is reduced to the minimum value.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

Thank you to all those who have collaborated in this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مروری بر تاثیر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش بر رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی در فرآیندهای برش ضربه ای و شبه استاتیکی

محمد رضا کماندار^۱ | مسلم نامجو^۲^۱. عضو هیات علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران. رایانامه: Mr_kamandar@ujiroft.ac.ir^۲. عضو هیات علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران. رایانامه: M.namjoo@ujiroft.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله مروری	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۳۰	آگاهی از رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی توأم با طراحی ماشین‌های برداشت نوین و یا بهینه‌سازی ماشین‌های موجود می‌تواند منجر به کاهش زیان‌های وارده به محصول شود. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد خواصی مانند نیروی مصرفی برش، مقاومت برشی و انرژی مورد نیاز برش از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی مکانیزم برش ماشین‌های برداشت محسوب شده و این خواص نیز تحت تاثیر پارامترهای سرعت برش، رطوبت ساقه و موقعیت برش تغییر می‌نمایند. مقاله حاضر با هدف مرور و جمع‌بندی یافته‌های علمی پژوهش‌های انجام شده در زمینه تاثیر پارامترهای سرعت برش، رطوبت ساقه و موقعیت برش بر خواص مکانیکی برشی ساقه محصولات کشاورزی در دو نوع برش ضربه‌ای و شبه‌استاتیکی تدوین گردیده و بدین منظور مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوع از پایگاه‌های SID، MagIran، Google Scholar، Scopus و Science Direct انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی مطالعات نشان می‌دهد سرعت برش ساقه به‌عنوان یک عامل مهم در طراحی مکانیزم تیغه برش ماشین‌های برداشت، نسبت به دو پارامتر رطوبت ساقه و موقعیت برش بر رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی تاثیر بیشتری داشته و انتخاب سرعت‌های بالای برش می‌تواند باعث کاهش چشمگیر مقادیر نیروی مورد نیاز برش، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه گردد. بر اساس نتایج گزارش شده، افزایش سرعت برش ساقه یک محصول مانند کنجد از ۱ به ۲ متر بر ثانیه باعث می‌گردد تا نیروی مورد نیاز برش ساقه ۴۵ درصد، انرژی مصرفی برش ساقه ۲۲ درصد و مقاومت برشی ساقه ۳۳ درصد کاهش یابد.
واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی برش، برداشت، مقاومت برشی، نیروی برشی	
استناد: کماندار، محمد رضا، نامجو، مسلم، (۱۴۰۴) مروری بر تاثیر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش بر رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی در فرآیندهای برش ضربه ای و شبه استاتیکی، مجله مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران، ۵۶ (۴)، ۱۵۳-۱۲۵.	
https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.403014.665617	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.403014.665617	



مقدمه

در برخی موارد کاربرد وسیع ادوات و ماشینهای کشاورزی در انواع عملیاتهای کشاورزی، سبب ایجاد تلفات، آسیب و همچنین کاهش کیفیت و ارزش محصولات کشاورزی شده و طراحی ماشینهای کشاورزی نوین (یا بهینه‌سازی ماشینهای موجود) توأم با آگاهی و شناخت خواص مکانیکی محصولات کشاورزی می‌تواند به کاهش ضرر و زیانهای وارده منجر شود (Sitkei, 1986). محصولات کشاورزی جزو مواد لزج کشسان^۱ طبقه‌بندی شده و این مواد خواص مکانیکی بسیار پیچیده و متفاوتی را در برابر بارگذاریهای مختلف از خود نشان می‌دهند. خواص مکانیکی محصولات کشاورزی با توجه به نوع عملیات کشاورزی و ماهیت نیروی اعمالی (کششی، فشاری و برشی) به سه گروه خواص مکانیکی کششی، فشاری و برشی دسته‌بندی می‌گردد. خواص مکانیکی برشی یا اصطلاحاً رفتار برشی محصولات کشاورزی بیشتر بیانگر عکس‌العمل ساقه محصول در زمان اعمال نیروی برشی تیغه برش ماشینهای برداشت می‌باشد. ویژگیهای ساقه محصولات کشاورزی و همچنین ویژگیهای ابزار برش از عوامل اصلی تاثیرگذار بر خواص مکانیکی و رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی خصوصاً نیروی برشی و انرژی مصرفی برش ساقه بوده (McRandal & McNulty, 1980a; Persson, 1987; Ranganna et al., 1995) و تاثیر عواملی از قبیل سرعت تیغه، رطوبت ساقه و موقعیت برش بر میزان انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه محسوس‌تر گزارش شده است (Hoseinzadeh et al., 2009). یکی از مهمترین ویژگیهای مواد بیولوژیکی مانند ساقه محصولات کشاورزی، میزان رطوبت یا محتوای رطوبتی آنها بوده و این محتوای رطوبتی بعنوان یک پارامتر بسیار مهم بر خواص فیزیکی و مکانیکی آنها تاثیر می‌گذارد (Persson, 1987). همچنین علاوه بر محتوای رطوبتی، قطر ساقه نیز به‌عنوان یک پارامتر تاثیرگذار بر خواص مکانیکی، از بخش پایین به سمت بالای ساقه کاهش یافته و ساقه به دلیل داشتن سطح مقطع متغییر، خواص فیزیکی و مکانیکی متفاوتی را در بخش‌های مختلف از خود نشان می‌دهد. این نکته باعث می‌گردد تا موقعیت و ارتفاع برش ساقه از سطح زمین بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی تاثیرگذار باشد (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012; Soleimani et al., 2023). با توجه به این که اکثر محصولات کشاورزی جزو مواد ویسکوالاستیک می‌باشند، وابستگی رفتار مواد ویسکوالاستیک به سرعت اعمال نیروی برشی از ویژگیهای این دسته از مواد محسوب می‌گردد. برش ساقه محصولات کشاورزی بر اساس سرعت برش به سه گروه برش شبه‌استاتیکی^۲، برش با استفاده از ضدتیغه^۳ و برش ضربه‌ای^۴ تقسیم‌بندی می‌گردد (McRandal & McNulty, 1978b). برش شبه‌استاتیکی یک فرآیند اعمال نیروی برشی با سرعت پایین بوده ولی برش ضربه‌ای یک فرآیند دینامیکی و دارای سرعت اعمال نیروی برشی بسیار بالا می‌باشد و توسط ابزارها، تجهیزات و ماشینهای برداشت و برش ساقه در مزرعه از قبیل دروگرها، چارپها، چمن‌زن‌ها و سایر وسایل دیگر بر ساقه گیاهان اعمال می‌گردد (Persson, 1987). دلیل اهمیت بالای بررسی خواص مکانیکی برشی ساقه محصولات، تاثیرگذاری این خواص در مباحث طراحی مکانیزم‌ها و ابزارهای برش ساقه محصولات بوده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد رفتار برشی ساقه‌های محصولات کشاورزی ارتباط نزدیکی با پارامترهای موثر در طراحی ماشینهای برداشت داشته (Zhou et al., 2012) و شناخت رفتار مواد سلولی ساقه و همچنین آگاهی از تغییرات خواص مکانیکی ساقه‌های محصول در برابر تجهیزات برش طی مراحل مختلف عملیات برداشت مکانیکی، ضروری می‌باشد (Tado et al., 1998; Tunde-Akintunde & Akintunde, 2004) در بسیاری از تحقیقات گزارش شده تعیین خواص مکانیکی برشی ساقه مانند نیروی برشی، مقاومت برشی و انرژی مورد نیاز برش برای طراحی تیغه ضروری بوده و تعیین خواص مذکور یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی مکانیزم برش ماشینهای برداشت می‌باشد (Annoussamy et al., 2000; Kelenin et al., 1986; Yilmaz et al., 2009b). در طراحی و توسعه یک ماشین برداشت مواد گیاهی اهداف زیادی مد نظر بوده، اما حفظ کیفیت مواد برداشت شده و در عین حال به حداقل رساندن انرژی و نیروی مورد نیاز برای انجام کار حائز اهمیت زیادی می‌باشد (Dauda et al., 2014). در واقع عملکرد عناصر و اجزای برشی به کار رفته در طراحی ماشینهای برداشت را می‌توان با توجه به انرژی برشی مورد نیاز، نیروی برشی اعمالی و همچنین تنش اعمالی بر گیاهان، مورد مقایسه و قضاوت قرار داد (Chakraverty et al., 2003). با توجه به اهمیت خواص مکانیکی برشی ساقه محصولات کشاورزی و همچنین تاثیرگذاری عواملی از قبیل رطوبت ساقه، سرعت برش و موقعیت برش بر آنها، مقاله حاضر با هدف مرور و جمع‌بندی یافته‌های علمی و تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر پارامترهای سرعت برش، رطوبت ساقه و موقعیت برش بر خواص مکانیکی برشی

1. Viscoelastic

2. Quasi-static cutting

3. Counter-edge

4. Impact cutting

ساقه محصولات کشاورزی (انرژی برش و انرژی مخصوص برش، مقاومت برشی ساقه و نیروی مصرفی برش) در فرآیندهای برش شبه استاتیکی و ضربه‌ای تدوین گردیده است.

روش انجام تحقیق

مقاله حاضر با هدف مرور و جمع‌بندی یافته‌های علمی و نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص تاثیر پارامترهای سرعت برش، رطوبت ساقه و ارتفاع برش بر رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی در دو نوع برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای تدوین شده و به منظور دسترسی به مطالعات مرتبط با موضوع جستجو در مقالات و پایان‌نامه‌های منتشر شده تا پایان سال میلادی ۲۰۲۴ در پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پژوهشگاه اطلاعات و مدارک علمی ایران (Irandoct) و بانک اطلاعات نشریات کشور (MagIran) و پایگاه‌های خارجی Scopus، Science Direct و Google Scholar انجام شده است. جست‌وجو با استفاده از کلیدواژه‌های فارسی خواص مکانیکی، برش ساقه، سرعت برش ساقه، طراحی ماشین برداشت، رطوبت ساقه، موقعیت برش ساقه، انرژی برش ساقه، نیروی مصرفی برش، مقاومت برشی ساقه و کلیدواژه‌های انگلیسی Stalk، Cutting Energy، Shear Speed، Shear Strength، Mechanical Property، Impact، Cutting، Quasi-Static Cutting، Cutting Velocity، Moisture Content، Harvester Design و Cutting Force صورت گرفته است. ابتدا عنوان تمامی مقالات و پایان‌نامه‌ها بررسی و موارد ناسازگار با اهداف این مطالعه حذف شده است. در مرحله بعد، چکیده و متن کامل مقالات مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت مقالات و پایان‌نامه‌هایی که معیارهای ورود به مطالعه را نداشتند حذف شده است. معیارهای انتخاب و حذف مقالات و پایان‌نامه‌های جمع‌آوری شده از پایگاه‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. در ابتدا جست‌وجوی مطالعات مورد نظر انجام شده و در نهایت پس از حذف مقالات تکراری، عناوین و چکیده مطالعات بررسی شده تا مطالعاتی که معیارهای ورود به تحقیق را دارند، شناسایی و وارد مطالعه شود. در این مطالعه مروری از میان ۸۲ مقاله و پایان‌نامه مرتبط با موضوع تعداد ۷۷ مورد برای بررسی نهایی انتخاب و وارد پژوهش گردیده و در نهایت داده‌های مورد نظر از مطالعات حائز شرایط لازم، استخراج و جمع‌آوری شده است.

جدول ۱. معیارهای انتخاب و حذف پایان‌نامه‌ها و مقاله‌های جمع‌آوری شده

معیار حذف	معیار انتخاب	
کشش، خمش و سایر موارد بارگذاری بر ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی	برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی	گروه مطالعه
مطالعاتی که سایر موارد تاثیرگذار بر خواص مکانیکی برشی را بررسی می‌کنند	مطالعاتی که حداقل تاثیر یکی از پارامتر سرعت برش، رطوبت ساقه و موقعیت برش ساقه بر خواص مکانیکی را بررسی می‌کنند	روش مطالعه
سایر مطالعات	مطالعات تجربی	نوع مطالعه
نتایج مربوط به تاثیرگذاری سایر پارامترها بر نیروی برشی، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه	نتایج مربوط به تاثیرگذاری پارامترهای مورد نظر بر نیروی برشی، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه	نتایج
مطالعات منتشر شده به سایر زبان‌ها	مطالعات منتشر شده به زبان فارسی یا انگلیسی	زبان

مروری بر تاثیر رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش بر رفتار برشی ساقه محصولات کشاورزی

با توجه به اهمیت بالای پارامترهای انرژی مصرفی برش ساقه، مقاومت برشی ساقه و نیروی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی در زمان برداشت و همچنین تاثیرگذاری عوامل رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه بر این پارامترها، مرور و جمع‌بندی یافته‌های علمی تحقیقات انجام شده در سه بخش اصلی انرژی مصرفی برش ساقه، مقاومت برشی ساقه و نیروی مصرفی برش محصولات کشاورزی با تکیه بر تاثیر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه در دو نوع فرآیند برش شبه استاتیکی و ضربه‌ای تدوین گردیده است. در ادامه به تشریح سه بخش اصلی مقاله پرداخته شده است.

انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی

انرژی به صورت توانایی انجام کار، یا توانایی به حرکت در آوردن و یا توانایی ایجاد تغییر در یک ماده تعریف می‌شود. در بحث برش ساقه

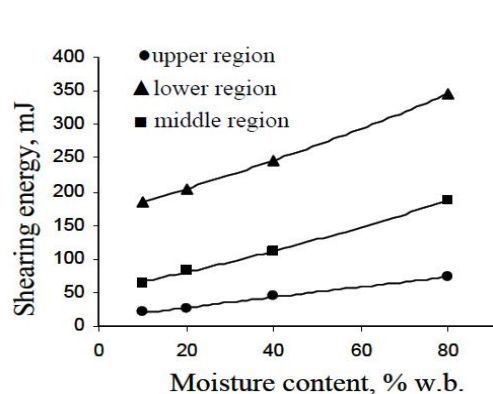
محصولات کشاورزی، انرژی برشی^۱ یا انرژی مصرفی برش به مقدار انرژی لازم برای بریدن ساقه یک گیاه گفته می‌شود و این انرژی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند سرعت برش تیغه، محتوای رطوبت ساقه، درجه رسیدگی گیاه و زاویه برش قرار می‌گیرد. در واقع به صورت خلاصه انرژی برش ساقه نشان می‌دهد که چه مقدار انرژی برای برش ساقه محصولات کشاورزی مورد نیاز است (Kushwaha et al., 1983). در برش محصولات کشاورزی، انرژی مصرفی برشی ساقه شامل دو بخش انرژی لهیدگی ساقه به وسیله تیغه در شروع برش و انرژی برش واقعی گیاه می‌باشد. بخش اول بیانگر یک برش جزئی توام با لهیدگی ساقه است تا اینکه جسم در اثر لبه تیز تیغه تسلیم شود. بخش دوم بیانگر حرکت لبه تیغه و برش ساقه گیاه است. انرژی مخصوص^۲ برش یا انرژی مخصوص لازم برای بریدن ساقه گیاه را می‌توان با تقسیم کل کار انجام شده برای برش (انرژی مصرفی برش) بر سطح مقطع ساقه گیاه به دست آورد (Sitkei, 1986). در ادامه مروری بر نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تأثیر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه بر تغییرات انرژی مصرفی و انرژی مخصوص برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی ارائه شده است.

مروری بر تأثیر رطوبت ساقه بر انرژی مصرفی برش

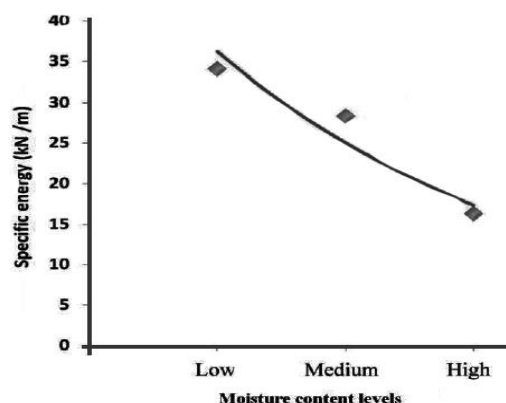
نتایج گزارش شده توسط محققین در خصوص تأثیر رطوبت ساقه بر انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی متفاوت بوده ولی در برش شبه‌استاتیکی ساقه اکثر محصولات از قبیل نیشکر، پنبه، گندم و برخی محصولات علوفه‌ای با کاهش رطوبت و خشک شدن ساقه، انرژی مورد نیاز برش و انرژی مخصوص برش ساقه یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. در واقع نتایج حاصله نشان می‌دهد برش ساقه خشک این محصولات نسبت به ساقه مرطوب آنها، انرژی برشی بیشتری لازم دارد. بعنوان نمونه مطالعه اثر رطوبت ساقه در برش شبه‌استاتیکی ساقه نیشکر در سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه (شکل ۱. الف) نشان داد با افزایش رطوبت ساقه از مقدار کم (۵/۴ درصد) به مقدار متوسط (۳۱/۶ درصد) و مقدار زیاد (۶۲/۲ درصد)، انرژی مخصوص برش ساقه نیشکر به ترتیب از ۳۴/۰۷ به ۲۸/۳۳ و ۱۶/۲۹ کیلو نیوتن بر مترمربع کاهش می‌یابد (Taghinezhad et al., 2013). همچنین در برش شبه‌استاتیکی ساقه گیاهان دیگری مانند نیشکر (Duda & Hart, 1972)، ساقه بید سیدبافی^۳ (Nowakowski, 2012) و ساقه سه نوع گیاه علوفه‌ای^۴ (Bright & Kleis, 1964) گزارش گردیده با افزایش رطوبت ساقه انرژی مصرفی برش ساقه کاهش می‌یابد. بررسی پژوهش‌های انجام شده همچنین نشان می‌دهد در برش ضربه‌ای ساقه برخی از محصولات کشاورزی همانند برش شبه‌استاتیکی با افزایش رطوبت ساقه، انرژی مورد نیاز برش و انرژی مخصوص برش ساقه یک روند کاهشی داشته و این موضوع در مورد برش ساقه محصولات از قبیل گندم (Hoseinzadeh et al., 2009)، ذرت (Prasad & Gupta, 1975)، لوبیای سودانی^۵ (Dange et al., 2011) و سورگوم (Blessy et al., 2019) گزارش شده است. نتایج یک پژوهش در برش ضربه‌ای ساقه کنجد در سه سطح رطوبتی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد نشان داد (شکل ۱. ج)، ماکزیمم انرژی مخصوص برش ساقه ۰/۵۶ ژول بر میلی‌متر مربع در رطوبت ۱۵ درصد و کمترین آن ۰/۲۴ ژول بر میلی‌متر مربع در رطوبت ۶۰ درصد بدست آمده و با افزایش رطوبت ساقه، انرژی مخصوص برش ساقه کنجد کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصله روند تغییرات مقدار انرژی مخصوص برش ساقه کنجد بنحوی است که مقدار آن در رطوبت ۳۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۵ درصد حدود ۲۰ درصد، رطوبت ۶۰ درصد نسبت به رطوبت ۳۰ درصد حدود ۴۷ درصد و رطوبت ۶۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۵ درصد حدود ۵۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد (Soleimani et al., 2023). بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد، در برش شبه‌استاتیکی ساقه برخی از محصولات کشاورزی مانند گلرنگ، آفتابگردان و نخود رفتار ساقه متفاوت بوده و با کاهش رطوبت ساقه انرژی مخصوص برش کاهش می‌یابد. در واقع نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد برش ساقه خشک این محصولات نسبت به ساقه مرطوب آنها انرژی برشی کمتری نیاز دارد. به عنوان نمونه در مطالعه برش ساقه نیشکر در رطوبت‌های ۴۶ تا ۷۸ درصد ساقه و سرعت‌های برش ۵ تا ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، گزارش گردید با کاهش رطوبت از ۷۸ درصد به ۴۶ درصد، انرژی مخصوص برش ساقه ۱۶/۷ درصد کاهش می‌یابد (Hematian et al., 2012). همچنین در یک پژوهش دیگر نتایج حاصل از برش شبه‌استاتیکی ساقه یونجه در سرعت برش ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه در سه بخش پایین، وسط و بالای ساقه و رطوبت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ درصد نشان داد (شکل ۱. ب)، میزان انرژی مورد نیاز برای برش ساقه یونجه با افزایش رطوبت آن افزایش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج این پژوهش مقادیر انرژی ۲۰/۲۰ و ۳۴۵/۸۰ میلی‌ژول به ترتیب برای حداقل و حداکثر رطوبت ساقه در برش بخش‌های بالا و پایین

1. Cutting energy
2. Specific cutting energy
3. Basket willow
4. Orchard grass, alfalfa, timothy and ladino clover
5. Pigeon pea

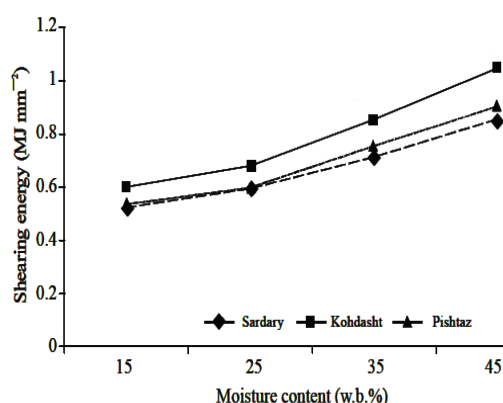
ساقه یونجه حاصل شده است (Nazari Galedar et al., 2008). در برش شبه‌استاتیکی ساقه سایر محصولات مانند گندم (Eshaghbeygi et al., 2009)، نخود (Amirian et al., 2017)، آفتابگردان (Ince et al., 2005) و گلرنگ (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012) نیز گزارش گردید با کاهش رطوبت ساقه، انرژی مصرفی برش کاهش می‌یابد. بررسی پژوهش‌های انجام گرفته توسط محققین نشان می‌دهد در برش ضربه‌ای ساقه برخی از محصولات کشاورزی مانند پنبه و کلزا رفتار برشی ساقه متفاوت بوده و با افزایش رطوبت ساقه، انرژی مخصوص برش ساقه افزایش می‌یابد. در برش ضربه‌ای ساقه پنبه در رطوبت‌های 10 ± 5 ، 20 ± 5 و 30 ± 5 درصد و محدوده سرعت برش $2/56$ تا $5/8$ متر بر ثانیه گزارش گردید با افزایش رطوبت ساقه، میزان انرژی مورد نیاز برش ساقه پنبه افزایش پیدا می‌کند (Sraavan Kumar et al., 2022). در برش ساقه کلزا در مزرعه در سرعت $2/6$ متر بر ثانیه نیز گزارش گردید با افزایش رطوبت ساقه از $11/6$ درصد به $25/5$ درصد، میزان انرژی مورد نیاز برش ساقه افزایش پیدا می‌کند (Azadbakht et al., 2015). در یک پژوهش دیگر اثر چهار سطح رطوبتی ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد بر پایه تر، سه زاویه لبه تیغه ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه و سه سطح سرعت برش $1/2$ ، $1/8$ و $2/4$ متر بر ثانیه و روی انرژی برشی ساقه سه واریته گندم سردری، پیشتاز و کوهدشت بررسی گردید (شکل ۱. د). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با افزایش رطوبت ساقه انرژی مورد نیاز برش ساقه سه واریته گندم افزایش پیدا می‌کند (Hoseinzadeh et al., 2009).



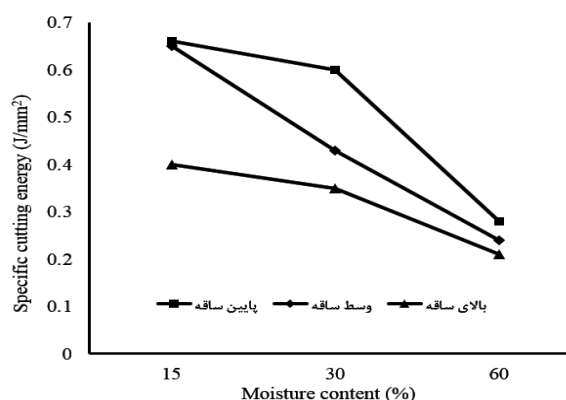
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه یونجه
(افزایش انرژی مصرفی برش با افزایش رطوبت ساقه)
(Nazari Galedar et al., 2008)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه نیشکر
(کاهش انرژی مخصوص برش با افزایش رطوبت ساقه)
(Taghinezhad et al., 2013)



د. برش ضربه‌ای ساقه گندم
(افزایش انرژی مصرفی برش با افزایش رطوبت ساقه)
(Hoseinzadeh et al., 2009)



ج. برش ضربه‌ای ساقه کنجد
(کاهش انرژی مخصوص برش با افزایش رطوبت ساقه)
(Soleimani et al., 2023)

شکل ۱. نمودارهای تغییرات انرژی مصرفی برش نسبت به تغییرات رطوبت ساقه در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

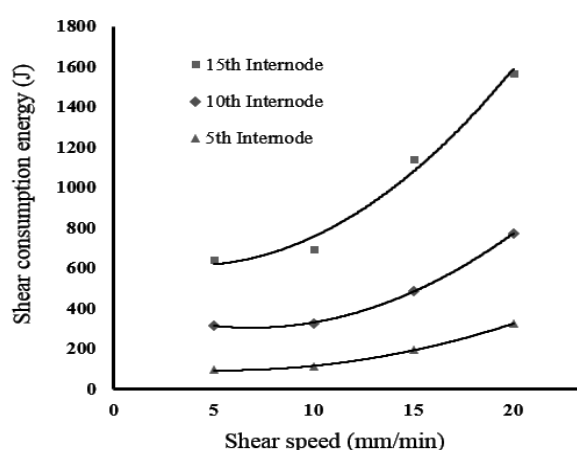
با توجه به رفتار ساقه محصولات کشاورزی در برابر برش با تغییرات درصد رطوبت، می‌توان به این نکته اشاره کرد که اکثر محصولات

کشاورزی دارای رفتار مشابهی در خصوص تغییرات رطوبت ساقه بوده و کاهش رطوبت ساقه منجر به افزایش انرژی مصرفی برش شده است (به استثنای یونجه، گندم، نخود، آفتابگردان، گلرنگ، پنبه و کلزا). بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد، سخت‌تر بودن ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب و همچنین تراکم بیشتر الیاف ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب از دلایل بیشتر بودن انرژی برشی ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب محصولات کشاورزی بیان شده است. همچنین بر اساس نتایج یک پژوهش دیگر، تراکم بیشتر الیاف ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب، باعث می‌گردد تا نیروی نگهدارنده بین الیاف ساقه بیشتر شده و انرژی مصرفی برش ساقه افزایش یابد (Wanyuan et al., 2021).

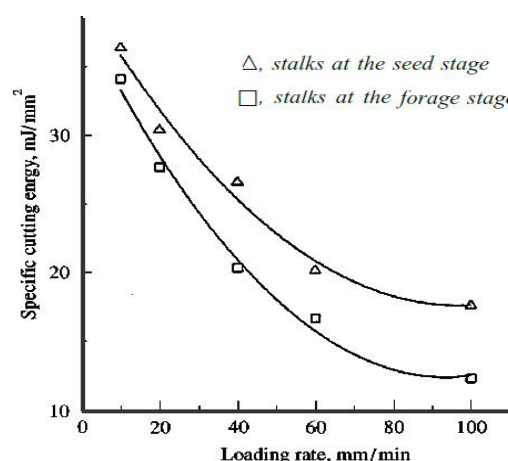
مروری بر تاثیر سرعت برش تیغه بر انرژی مصرفی برش

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد سرعت بارگذاری یا سرعت برش تیغه بر میزان انرژی برش ساقه محصولات کشاورزی تاثیر داشته و با تغییر سرعت برش ساقه، میزان انرژی مصرفی برش و همچنین انرژی مخصوص برش ساقه تغییر می‌یابد. رفتار برشی گزارش شده توسط محققین در خصوص تاثیر سرعت برش ساقه محصولات کشاورزی مورد برش متفاوت بوده ولی در برش اکثر محصولات با افزایش سرعت برش، انرژی مورد نیاز برش و انرژی مخصوص برش ساقه کاهش یافته است. نتایج حاصل از برش شبه‌استاتیکی ساقه کنجد در محدوده سرعتی ۱ تا ۴ میلی‌متر بر دقیقه نشان داد، انرژی مخصوص برش ساقه با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد. روند تغییرات انرژی مخصوص برش ساقه کنجد با توجه به سرعت برش بنحوی است که انرژی مخصوص برش در سرعت ۲ نسبت به سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۱۷ درصد، در سرعت ۳ نسبت به سرعت ۲ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۲۰ درصد و در سرعت ۴ نسبت به سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۱۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). در یک تحقیق اثرات رسیدگی سورگوم در دو مرحله علوفه‌ای و رسیدگی دانه، سرعت بارگذاری ۱۰ تا ۱۰۰ متر بر ثانیه و زاویای مختلف لبه تیغه روی انرژی برشی بررسی گردید (شکل ۲. الف). نتایج نشان داد با افزایش سرعت بارگذاری، انرژی مخصوص برش برای هر دو مرحله کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت بارگذاری شبه‌استاتیکی از ۱۰ به ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه در زاویه برش ۳۰ درجه، انرژی مخصوص برش در مرحله علوفه‌ای از ۳۴/۱ به ۱۲/۲ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع و در مرحله رسیدگی دانه از ۳۶/۵ به ۱۷/۶ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع کاهش می‌یابد (Chattopadhyay & Pandey, 1999). روند کاهش انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت در برش شبه‌استاتیکی ساقه زعفران (Vale Ghoshedi et al., 2010)، ساقه گل پیرتروم (Khazaei et al., 2002)، ساقه گل تانیا (Oyefeso et al., 2021)، ساقه برگ‌نو (Kamandar et al., 2018)، ساقه گل سوسن (Heidari et al., 2012)، ساقه سورگوم (Chattopadhyay & Pandey, 1999)، ساقه نیشکر (Taghi jarah et al., 2011) و ساقه گندم (Eshaghbeygi et al., 2009) گزارش شده است. بررسی پژوهش‌های انجام شده در برش ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی نشان می‌دهد، در اکثر موارد با افزایش سرعت برش ساقه، انرژی مخصوص برش کاهش یافته است. برش ضربه‌ای ساقه کنجد به عنوان یک مثال از تاثیر سرعت بر انرژی مخصوص برش نشان داد، با افزایش سرعت برش انرژی مخصوص برش ساقه کاهش می‌یابد. پیش‌بینی‌های نظری انجام شده با استفاده از مدل‌های رفتار ساقه نشان داد که نیاز انرژی برای ساقه‌های منفرد در سرعت‌های ۲۰ متر بر ثانیه و بالاتر به مقدار تقریباً ثابتی کاهش می‌یابد (Dobler, 1972). با این حال در یک پژوهش دیگر، کاهش خطی حدود ۲۵ درصد در انرژی مخصوص برش هنگام افزایش سرعت برش از ۲۰ به ۶۰ متر بر ثانیه گزارش گردیده است (McRandal & McNulty, 1978a). در تحقیقی دیگر در خصوص برش ضربه‌ای ساقه برگ‌نو (شکل ۲. ج) مشخص گردید، با افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقدار انرژی مصرفی برش ساقه کاهش یافته و حداقل میانگین انرژی مصرفی ۶/۸۴ ژول در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه و حداکثر آن ۱۸/۲۵ ژول در سرعت برش ۱ متر بر ثانیه بدست آمده است. تغییرات انرژی برشی نسبت به سرعت در محدوده سرعت ۱ به ۲ متر بر ثانیه ۶ درصد، در محدوده سرعت ۲ به ۳ متر بر ثانیه ۸ درصد و در محدوده سرعت ۳ به ۴ متر بر ثانیه، ۵۵ درصد کاهش انرژی مصرفی را نشان می‌دهد. (Kamandar et al., 2018). روند تغییرات انرژی مخصوص برش ساقه کنجد با توجه به سرعت برش بنحوی است که انرژی مخصوص برش در سرعت ۲۰۰۰ نسبت به سرعت ۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حدود ۳۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد (Soleimani et al., 2023). در برش ضربه‌ای ساقه ذرت در سرعت ۲/۶۵ متر بر ثانیه (Prasad & Gupta, 1975)، در برش ساقه شمشاد در محدوده سرعتی ۱ تا ۴ متر بر ثانیه (Kamandar & Massah, 2017)، در برش ساقه‌های چمن و جو دو سر در محدوده سرعت ۲۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه (McRandal & McNulty, 1978b)، در برش ساقه‌های سورگوم در محدوده سرعت ۲۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه (Chattopadhyay & Pandey, 2001)، در برش ساقه دو رقم برنج و یک رقم گندم در سرعت برش بین ۲/۵۳ تا ۴/۵ متر بر ثانیه (Majumdar & Dutta, 1982)، در برش ساقه ذرت در سرعت‌های برش ۴،

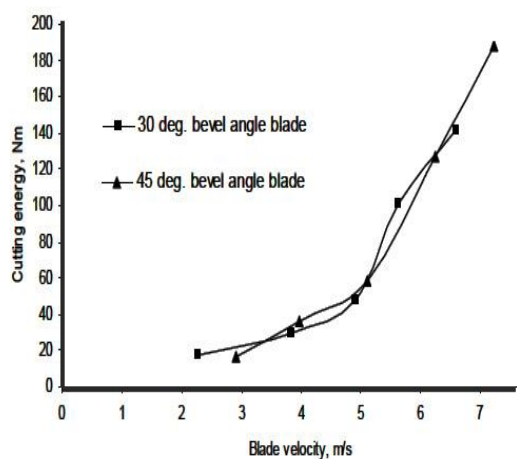
۸، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه (Zhao et al., 2017) و در برش ساقه ماش سیاه^۱ در سرعت‌های برش ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳/۱ متر بر ثانیه (Sushilendra et al., 2020) مشخص گردید با افزایش سرعت برش انرژی مصرفی برش ساقه تمامی این محصولات کاهش یافته است. در برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه برخی از محصولات کشاورزی نتایج متفاوتی گزارش شده است. در این تحقیقات با افزایش سرعت برش ساقه، انرژی مورد نیاز برش و انرژی مخصوص برش ساقه افزایش یافته است. به‌عنوان نمونه نتایج یک پژوهش در خصوص برش شبه‌استاتیکی ساقه نیشکر نشان داد با افزایش سرعت برش از ۵ به ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، انرژی مخصوص برش ساقه ۴/۶ درصد افزایش می‌یابد (Hemati et al., 2012). در برش شبه‌استاتیکی ساقه برگ‌نو بیان گردیده است با افزایش سرعت برش از ۵ به ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقادیر انرژی مصرفی برش افزایش می‌یابد (شکل ۲. ب).



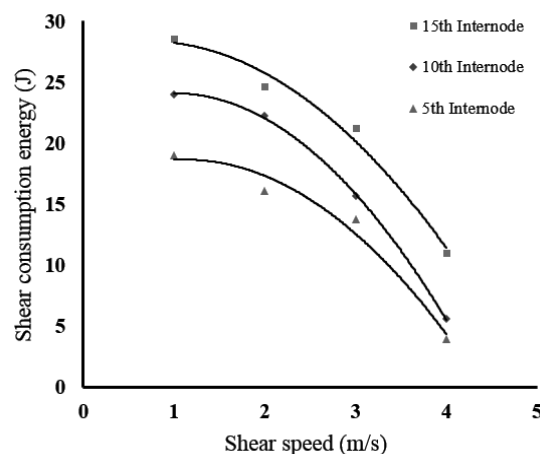
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه برگ‌نو
(افزایش انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت برش)
(Kamandar et al., 2018)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه سورگوم
(کاهش انرژی مخصوص برش با افزایش سرعت برش)
(Chattopadhyay & Pandey, 1999)



د. برش ضربه‌ای ساقه لوبیای سودانی
(افزایش انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت برش)
(Dange et al., 2011)



ج. برش ضربه‌ای ساقه برگ‌نو
(کاهش انرژی مصرفی برش با افزایش سرعت برش)
(Kamandar et al., 2018)

شکل ۲. نمودارهای تغییرات انرژی مصرفی برش نسبت به تغییرات سرعت برش تیغه در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

با توجه به نتایج، بیشترین مقدار میانگین انرژی مصرفی برش در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه ۸۸۱/۱ ژول و کمترین آن در سرعت برش ۵ میلی‌متر بر دقیقه با مقدار ۳۵۱/۰ ژول حاصل گردیده است (Kamandar et al., 2018). نتایج یک پژوهش در خصوص برش ضربه‌ای ساقه نیشکر نشان داد، با افزایش سرعت برش انرژی مخصوص برش نیز افزایش می‌یابد. بر این اساس کمترین انرژی

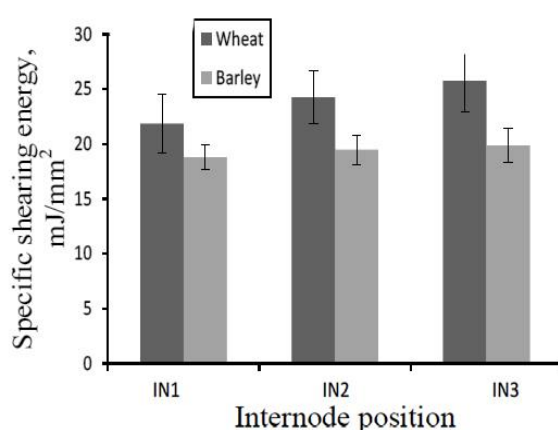
مخصوص برش در سرعت برشی ۷/۹ متر بر ثانیه و بیشترین آن در سرعت ۱۶/۴ متر بر ثانیه حاصل شد (Mathanker et al., 2015). همچنین در یک تحقیق دیگر در خصوص برش ضربه‌ای ساقه سورگوم گزارش گردیده است با افزایش سرعت برش تا ۳/۴۵ و ۲/۹۱ متر بر ثانیه به ترتیب برای قسمت‌های پایین و بالای ساقه، انرژی لازم برای برش ساقه کاهش یافته ولی بعد از این سرعت‌ها با افزایش سرعت برش، انرژی مصرفی برش افزایش می‌یابد (Yiljep & Mohammed, 2005). در مطالعه برش ضربه‌ای ساقه لوییای سودانی در رنج سرعتی ۲/۲۸ تا ۷/۲۳ متر بر ثانیه، محدوده قطر ساقه ۸ تا ۳۰ میلی‌متر و زاویای تیغه ۳۰ و ۴۵ درجه گزارش گردید با افزایش سرعت برش، انرژی مصرفی برش ساقه افزایش می‌یابد (شکل ۲. د). همچنین گزارش گردیده است با افزایش سرعت برش از ۳/۹۸ متر بر ثانیه تا ۷/۲۳ متر بر ثانیه، انرژی مصرفی برش ساقه به شدت افزایش می‌یابد (Dange et al., 2011). بر اساس نتایج حاصله با افزایش سرعت برش مقدار انرژی مصرفی برش در این پژوهش‌ها افزایش یافته است. دلیل افزایش آن را می‌توان ناشی از افزایش تغییر شکل دیواره بیرونی ساقه با افزایش سرعت برش ساقه قلمداد کرد (Mohsenin, 1963).

در خصوص تشریح چگونگی رفتار ساقه محصولات کشاورزی با تغییرات سرعت برش تیغه می‌توان به فرآیند برش ساقه توسط تیغه اشاره کرد. در این فرآیند، ابتدا تیغه برش ساقه سرپای محصول را برای برش فشار داده و با خم‌شدگی ساقه یک تغییر شکل الاستیک در آن ایجاد می‌گردد. سپس با ادامه حرکت تیغه، خم‌شدن ساقه تداوم یافته و ساقه دچار تغییر شکل پلاستیک می‌گردد. در این مرحله تنش محوری کششی ایجاد شده در الیاف ساقه افزایش یافته و الیاف مجاور لبه تیغه در اثر افزایش تنش گسیخته شده و در نهایت کل الیاف ساقه دچار گسیختگی شده و ساقه با تداوم حرکت تیغه بریده می‌شود (Shah et al., 2017). بر این اساس در برش ساقه محصولات کشاورزی با افزایش سرعت برش تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک و همچنین فشردگی ساقه در برابر تیغه کاهش می‌یابد. لذا با افزایش سرعت برش تیغه، دیواره الاستیک سلول‌های ساقه زمان کافی برای انتقال نیرو به مایع ویسکوز داخل سلول را نداشته و ساقه سریع‌تر و با صرف انرژی کمتری بریده می‌شود. در واقع می‌توان کاهش میزان تغییر شکل و فشردگی ساقه با افزایش سرعت برش را دلیل اصلی کاهش انرژی مصرفی برش بیان کرد.

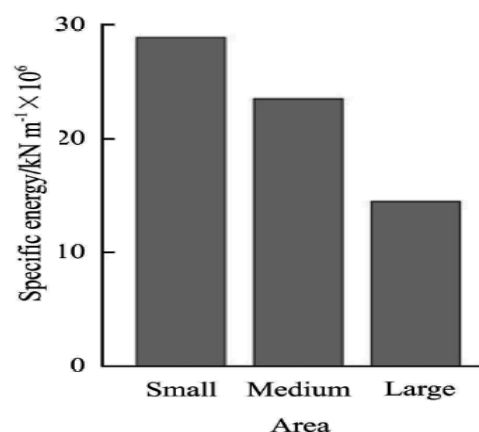
مروری بر تاثیر موقعیت برش ساقه بر انرژی مصرفی برش

مطالعه اثر موقعیت برش و مقطع ساقه در برش ساقه ذرت نشان داد مقطع عرضی ساقه اثر معنی‌داری روی انرژی مصرفی برش داشته و انرژی مصرفی برش دارای یک نسبت مستقیم با مقطع عرضی ساقه ذرت می‌باشد (Prasad & Gupta, 1975). مطالعه برش ساقه نیشکر نشان داد با افزایش قطر ساقه، انرژی برشی مخصوص ساقه نیشکر افزایش می‌یابد (شکل ۳. الف). همچنین در این مطالعه گزارش گردید پارامترهای برشی ساقه نیشکر بیش از رطوبت ساقه به مساحت مقطع برش حساستر بوده است (Taghinezhad et al., 2014). بنابراین با توجه به تغییر قطر و همچنین تغییر مساحت مقطع ساقه، موقعیت و محل برش ساقه از سطح زمین بر میزان انرژی مخصوص برش ساقه گیاهان تاثیر داشته و با تغییر موقعیت برش ساقه، میزان انرژی مصرفی برش و همچنین انرژی مخصوص برش ساقه تغییر می‌نماید. علاوه بر تغییر مساحت مقطع در بخش‌های مختلف ساقه، عوامل دیگری از قبیل تغییر میزان خشبیت ساقه و میزان رسیدگی الیاف ساقه با توجه به تغییر موقعیت برش نیز بر میزان انرژی مصرفی برش تاثیرگذار بوده و بر اساس نتایج تحقیقات مختلف انرژی مصرفی برش بخش پایین ساقه نسبت به برش بخش بالای آن بیشتر می‌باشد (Kamandar et al., 2018; Nazari Galedar et al., 2008). نتایج حاصل از یک پژوهش در خصوص برش ساقه کنجد نشان داد با تغییر موقعیت برش ساقه از پایین به بالا، انرژی مخصوص برش ساقه کنجد کاهش می‌یابد. روند تغییرات مقدار انرژی مخصوص برش ساقه کنجد بنحوی است که مقدار آن در بخش پایین ساقه نسبت به وسط ساقه حدود ۱۱ درصد و بخش وسط ساقه نسبت به بالای آن حدود ۲۵ درصد افزایش انرژی مخصوص برش را نشان می‌دهد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). این کاهش انرژی مصرفی و انرژی مخصوص برش ساقه در برش بخش بالایی نسبت به بخش پایین آن در برش شبه‌استاتیکی ساقه گیاهانی از قبیل برگ‌نو (Kamandar et al., 2018)، زیتون (Sessiz et al., 2013)، یونجه (Nazari Galedar et al., 2008)، آفتابگردان (Ince et al., 2005)، نیشکر (Taghinezhad et al., 2013)، گلرنگ (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012)، انگور زمستانه (Skubisz, 2001)، نیشکر (Hematian et al., 2012)، ارزن (Zhang et al., 2018) و گل سوسن (Heidari et al., 2012) توسط محققین گزارش شده است. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد، در برش ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی نیز همانند برش شبه‌استاتیکی با افزایش ارتفاع ساقه از سطح زمین انرژی مخصوص برش نیز کاهش یافته و برش ساقه در بخش‌های بالایی به انرژی برشی کمتری نیاز دارد. به عنوان نمونه در برش ضربه‌ای ساقه کنجد در سرعت‌های برش ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه مشخص گردید با تغییر موقعیت برش از بالای ساقه به سمت پایین آن، انرژی مخصوص برش ساقه افزایش می‌یابد. روند تغییرات انرژی مخصوص برش ساقه کنجد

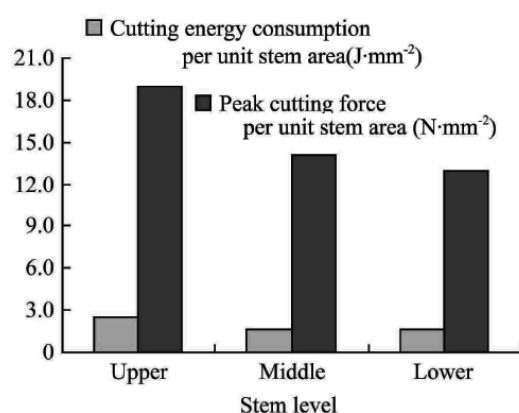
بنحویست که مقدار آن در وسط ساقه نسبت به بالای ساقه حدود ۱۵ درصد، پایین ساقه نسبت به وسط ساقه حدود ۲۴ درصد و پایین ساقه نسبت به بالای ساقه حدود ۳۵ درصد، افزایش انرژی مخصوص برش را نشان می‌دهد (Soleimani et al., 2023). در برش ضربه‌ای ساقه پنبه در هفت ارتفاع مختلف از ساقه با محیط‌های ساقه ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ میلی‌متر، رطوبت‌های 10 ± 5 ، 20 ± 5 و 30 ± 5 درصد و محدوده سرعت برش $2/56$ تا $5/8$ متر بر ثانیه گزارش گردید با کاهش ارتفاع برش ساقه، میزان انرژی مورد نیاز برش ساقه پنبه افزایش پیدا می‌کند (Sravan Kumar et al., 2022).



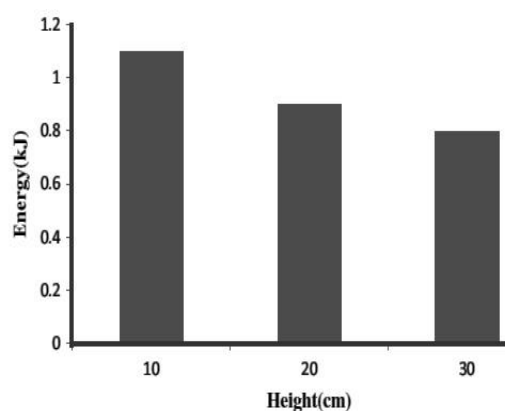
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های گندم و جو
(افزایش انرژی مخصوص برش با افزایش ارتفاع ساقه)
(Tavakoli et al., 2010)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه نیشکر
(کاهش انرژی مخصوص برش با افزایش قطر ساقه)
(Taghinezhad et al., 2014)



د. برش ضربه‌ای ساقه ذرت
(کاهش انرژی مخصوص برش با افزایش قطر ساقه)
(Zhang et al., 2019)



ج. برش ضربه‌ای ساقه کلزا
(افزایش انرژی مصرفی برش با افزایش ارتفاع ساقه)
(Azadbakht et al., 2015)

شکل ۳. نمودارهای تغییرات انرژی مصرفی برش نسبت به تغییرات موقعیت برش ساقه در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

در یک پژوهش در خصوص مقایسه رفتار برشی ساقه‌های گندم و جو گزارش گردید (شکل ۳. ب)، مقادیر انرژی برشی مخصوص برای ساقه گندم و جو به ترتیب از $21/85$ تا $25/74$ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع و $18/79$ تا $19/85$ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع متغیر بوده و انرژی برشی مخصوص ساقه گندم و جو به سمت موقعیت میان‌گره سوم ساقه افزایش می‌یابد (Tavakoli et al., 2010). با توجه به گزارش‌های یکسان تاثیر موقعیت برش بر انرژی مخصوص برش ساقه محصولات کشاورزی در برش شبه‌استاتیکی، در برش ضربه‌ای ساقه برخی از محصولات کشاورزی نتایج متفاوتی گزارش شده است. در اکثر تحقیقات انجام شده با افزایش قطر و سطح مقطع ساقه، انرژی مورد نیاز برش و انرژی مخصوص برش ساقه افزایش یافته است. برش ضربه‌ای ساقه کلزا در مزرعه در سه ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح زمین و رطوبت‌های ۶۳، ۷۴/۳ و ۸۳/۲۵ درصد نشان داد (شکل ۳. ج) با کاهش ارتفاع برش ساقه از سطح زمین، میزان

انرژی مورد نیاز برش ساقه افزایش پیدا می کند (Azadbakht et al., 2015). سایر محققین نیز در برش ضربه ای ساقه گیاهان و محصولاتی از قبیل ساقه برگ نو (Kamandar et al., 2018)، ساقه لوبیای سودانی (Dange et al., 2011)، ساقه واریته های مختلف برنج (Alizadeh et al., 2011)، ساقه کلزا (Azadbakht et al., 2015)، ساقه نیشکر (Mathanker et al., 2015)، ساقه ذرت (Azadbakht et al., 2014)، ساقه واریته های برنج هاشمی، علی کاظمی و طارم (Alizadeh & Habibi, 2016)، ساقه ماش سیاه (Sushilendra et al., 2020) و ساقه سورگوم (Blessy et al., 2019) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. در یک تحقیق در خصوص برش ضربه ای ساقه برنج گزارش نتایج متفاوتی گزارش گردیده است (شکل ۳.د). این مطالعه جهت بررسی تأثیر چهار زاویه برش تیغه (۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه)، سه سطح و ارتفاع ساقه (بالا، وسط و پایین ساقه)، سه سطح سرعت برش (۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی متر بر ثانیه) و دو نوع برش (با و بدون تیغه نگهدارنده) بر انرژی در واحد سطح ساقه انجام شده است. در این تحقیق حداکثر انرژی برش در واحد سطح ساقه، در برش سطح بالایی ساقه حاصل شده و در مقایسه با سطح بالایی ساقه، مقادیر حداکثر انرژی برش در واحد سطح ساقه به ترتیب ۱۲/۹۱ و ۱۴/۰۳ ژول بر میلی متر مربع برای برش سطوح پایینی و میانی ساقه برنج حاصل شده است (Zhang et al., 2019).

بررسی پژوهش های انجام شده در خصوص تأثیر موقعیت برش ساقه بر انرژی مصرفی برش نشان می دهد دلیل افزایش انرژی مصرفی برش و همچنین انرژی مخصوص برش در بخش پایین ساقه نسبت به بخش بالای آن را می توان افزایش قطر ساقه و سطح مقطع برش در بخش پایین ساقه گیاه (Azadbakht et al., 2015) و همچنین تجمع بیشتر فیبرهای رسیده و افزایش ضخامت دیواره ساقه در بخش پایینی ساقه بیان کرد (Alizadeh et al., 2011). عوامل موثر مطرح شده خصوصاً وجود الیاف بالغ در بخش پایین ساقه، باعث می گردد تا انرژی مصرفی برش افزایش یابد. در واقع سلول های گیاهی الیاف بالغ بخش پایینی ساقه دارای خشبیت و فشردگی بیشتری نسبت به سلول های سایر بخش های دیگر ساقه بوده و این موضوع باعث می گردد تا انرژی مصرفی برش بخش پایینی ساقه نسبت به سایر بخش بیشتر باشد (Dange et al., 2011).

بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی مختلف با توجه به نتایج گزارش شده توسط محققین در پژوهش های انجام شده در خصوص تغییرات انرژی مصرفی برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی با تغییر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه در زمان برداشت، در جدول ۲ خلاصه ای از نتایج حاصل از تأثیر افزایش مقادیر رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و ارتفاع برش ساقه از سطح زمین (افزایش موقعیت برش) بر تغییرات انرژی مصرفی برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی مختلف ارائه شده است.

جدول ۲. تأثیر روند افزایشی پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی

نوع برش	نوع گزارش	افزایش رطوبت	افزایش سرعت برش	افزایش موقعیت برش
شبه استاتیکی	افزایش انرژی مصرفی برش	یونجه/گندم/انجود آفتابگردان/گلرنگ	نیشکر/برگ نو	نیشکر
	کاهش انرژی مصرفی برش	گندم/نیشکر بید سبذبافی گیاهان علوفه ای ^۱	کنجد/سورگوم/ازعفران/گل پیرتروم گل تانیا/برگ نو/گل سوسن سورگوم/نیشکر/گندم	کنجد/برگ نو/زیتون/یونجه/آفتابگردان نیشکر/گلرنگ/انگور زمستانه/ارزن گل سوسن
ضربه ای	افزایش انرژی مصرفی برش	پنبه/کلزا/گندم	نیشکر/سورگوم لوبیای سودانی	
	کاهش انرژی مصرفی برش	گندم/ذرت/سورگوم لوبیای سودانی	کنجد/برگ نو/ذرت/شمشاد/چمن جو/سورگوم/برنج/گندم/ماش سیاه	کنجد/پنبه/گندم/جو/کلزا/برگ نو لوبیای سودانی/برنج/کلزا/نیشکر سورگوم/ذرت/برنج/ماش سیاه

مروری بر مقاومت برشی ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی

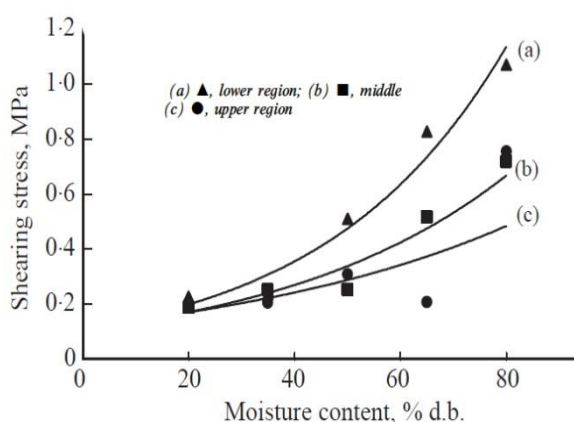
مقاومت یکی از خصوصیات ذاتی و مرتبط با جنس یک ماده بوده و بیانگر میزان تحمل آن در برابر تنش های وارده قبل از شکست آن ماده می باشد. در واقع مقاومت یک ماده به حداکثر تنشی اشاره دارد که آن ماده قبل از شکست تحمل می نماید. در برش فلزات و سایر

مواد جامد مشابه، مقاومت برشی برابر است با حاصل تقسیم ماکزیمم نیروی برشی مصرفی بر مساحت مقطع آن (Gere & Timoshenko, 2004). در برش ساقه محصولات کشاورزی برش واقعی در ضخامتی کمتر از ضخامت ساقه رخ داده و در واقع مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی، تحت تاثیر دو پارامتر عرض موثر تیغه و ضخامت واقعی لایه برش ساقه (مقدار ضخامت ماده موجود بین تیغه و ضد تیغه) قرار دارد (O' degherty et al., 1995; Pavilist, 2002). در برش ساقه محصولات کشاورزی، علاوه بر تاثیر سطح مقطع ساقه بر میزان مقاومت برشی آن، عوامل دیگری از قبیل رطوبت ساقه، موقعیت برش و سن گیاه نیز بر میزان مقاومت برشی ساقه تاثیرگذار هستند. یکی از مهمترین عوامل در طراحی انواع کمباین و دروگر غلات، مقاومت در برابر بریدگی محصولات کشاورزی در حین برداشت است (Annoussamy et al., 2000). در ادامه مروری بر نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش و موقعیت برش بر تغییرات مقاومت برشی ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی ارائه شده است.

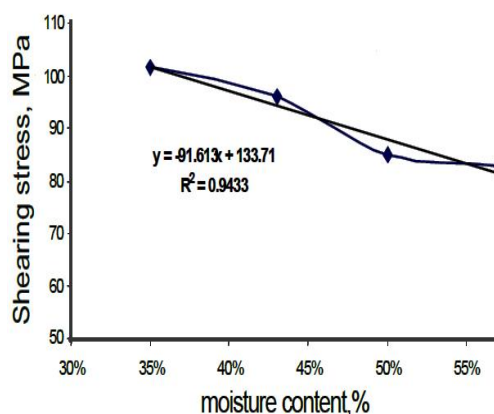
مروری بر تاثیر رطوبت ساقه بر مقاومت برشی

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد تاثیر رطوبت ساقه در زمان برش بر مقاومت ساقه محصولات تاثیرگذار بوده است. در یک پژوهش در خصوص برش علوفه گزارش گردید، خواص مکانیکی از قبیل کشش، فشار، خمش، برش و اصطکاک از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در برش مواد سلولی بوده و این پارامترها به رطوبت مواد بستگی دارد (Bright & Kleis, 1964). در یک پژوهش دیگر در خصوص بررسی تاثیر درصد رطوبت بر رفتار برشی ساقه کلزا گزارش گردید، اثر رطوبت روی مقاومت برشی ساقه معنی‌دار بوده است (Yilmaz et al., 2009b). در برش ساقه محصولات کشاورزی، علاوه بر تاثیر سطح مقطع ساقه بر میزان مقاومت برشی آنها، عامل رطوبت ساقه نیز بر میزان مقاومت برشی ساقه تاثیرگذار می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده تاثیر میزان رطوبت ساقه بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی متفاوت بوده ولی در برش اکثر محصولات با کاهش رطوبت و خشک شدن ساقه، میزان مقاومت برشی ساقه یک روند افزایشی داشته و برش ساقه خشک این محصولات نسبت به ساقه مرطوب آنها به نیروی برشی بیشتری نیاز دارد. برش شبه‌استاتیکی ساقه سه رقم کلزا در چهار رطوبت ۳۵، ۴۳، ۵۰ و ۵۷ درصد نشان داد (شکل ۴. الف) با کاهش رطوبت ساقه، مقاومت برشی ساقه افزایش یافته و مقاومت برشی ساقه کلزا در حداقل رطوبت، تقریباً ۳۵ درصد بیشتر از مقاومت ساقه کلزا در حداکثر رطوبت آن می‌باشد (Hoseinzadeh & Shirnesan, 2012). برش ساقه کنجد در سه سطح رطوبتی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد نشان داد حداکثر مقدار میانگین مقاومت برشی ساقه ۸/۸ مگاپاسکال در رطوبت ۱۵ درصد و کمترین مقدار آن ۵/۲ مگاپاسکال در رطوبت ۶۰ درصد ساقه حاصل شده است. روند این تغییرات به نحوی است که مقاومت برشی ساقه کنجد در رطوبت ۳۰ درصد نسبت به رطوبت ۶۰ درصد حدود ۲۱ درصد، رطوبت ۱۵ درصد نسبت به رطوبت ۳۰ درصد حدود ۲۵ درصد و در نهایت رطوبت ۱۵ درصد نسبت به رطوبت ۶۰ درصد حدود ۴۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). کاهش مقاومت برشی با افزایش رطوبت ساقه در برش شبه‌استاتیکی سایر محصولات کشاورزی مانند ساقه پنبه (El Hag et al., 1971)، ساقه نیشکر (Taghinezhad et al., 2013)، ساقه کاساوا (Kaewwinud et al., 2017)، ساقه ارزن (Zhang et al., 2018)، ساقه محصولات علوفه‌ای ذرت و سورگوم (Jekendra, 1999)، ساقه گیاهان علوفه‌ای (Bright & Kleis, 1964) و ساقه یونجه (Halyk & Hulbut, 1968) گزارش گردیده است. در برش ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی همانند برش شبه‌استاتیکی با افزایش رطوبت، مقاومت برشی ساقه کاهش می‌یابد. برش ضربه‌ای ساقه کنجد نشان داد (شکل ۴. ج)، اختلاف معنی‌داری بین تاثیر سه سطح رطوبتی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ درصد بر میزان مقاومت برشی ساقه در سطح احتمال یک درصد وجود داشته و با کاهش رطوبت ساقه از ۶۰ به ۱۵ درصد میزان مقاومت برشی ساقه در برابر برش افزایش می‌یابد. ماکزیمم مقاومت برشی ساقه کنجد ۰/۷۶ مگاپاسکال در رطوبت ۱۵ درصد و کمترین آن ۰/۱۷ مگاپاسکال در رطوبت ۶۰ درصد به دست آمده است (Soleimani et al., 2023). در یک مطالعه دیگر با برش دینامیکی ساقه برنج رقم خزر در سرعت تیغه ۰/۶ متر بر ثانیه و در دو زاویه برش ۲۵ و ۳۵ درجه گزارش گردید مقاومت برشی دینامیکی با افزایش رطوبت ساقه کاهش می‌یابد (شکل ۴. د). رطوبت ساقه برنج با نزدیک شدن به مرحله برداشت کاهش یافته و این موضوع باعث خشک شدن ساقه و افزایش مقاومت آن می‌شود (Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006). در برش شبه‌استاتیکی برخی از محصولات کشاورزی در خصوص تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به تغییرات رطوبت، نتایج متفاوتی گزارش شده است. در تحقیقی با بررسی اثر میزان رطوبت روی تنش برشی و انرژی مصرفی برش در واحد سطح ساقه آفتابگردان گزارش گردید (شکل ۴. ب)، با افزایش رطوبت ساقه مقاومت برشی آن افزایش می‌یابد (Ince et al., 2005). برش ساقه نیشکر در رطوبت‌های ۴۶ تا ۷۸ درصد ساقه و سرعت‌های برش ۵ تا ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه، نشان داد با کاهش رطوبت از ۷۸ درصد به ۴۶ درصد، مقاومت برشی ساقه ۱۶/۳ درصد کاهش می‌یابد (Hematian et al., 2012). همچنین برش شبه‌استاتیکی ساقه گلرنگ نشان داد، با افزایش رطوبت ساقه

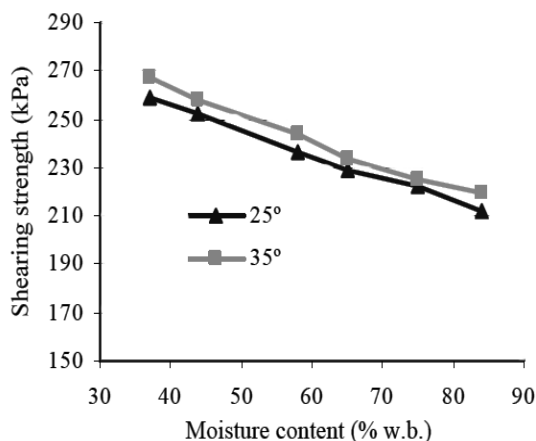
مقاومت برشی آن افزایش می‌یابد (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012).



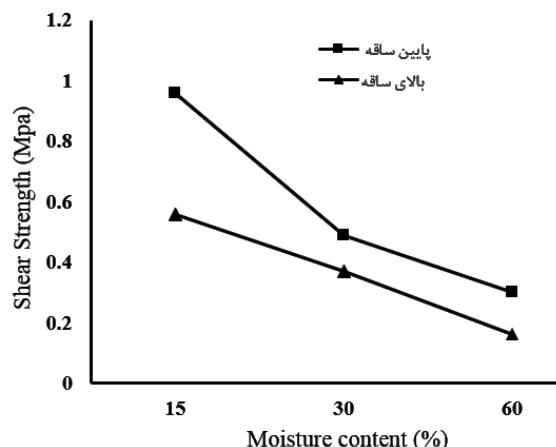
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه آفتابگردان
(افزایش مقاومت برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Ince et al., 2005)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه کلزا
(کاهش مقاومت برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Hoseinzadeh & Shirneshan, 2012)



د. برش ضربه‌ای ساقه برنج
(کاهش مقاومت برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006)



ج. برش ضربه‌ای ساقه کنجد
(کاهش مقاومت برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Soleimani et al., 2023)

شکل ۴. نمودارهای تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به تغییرات رطوبت ساقه در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

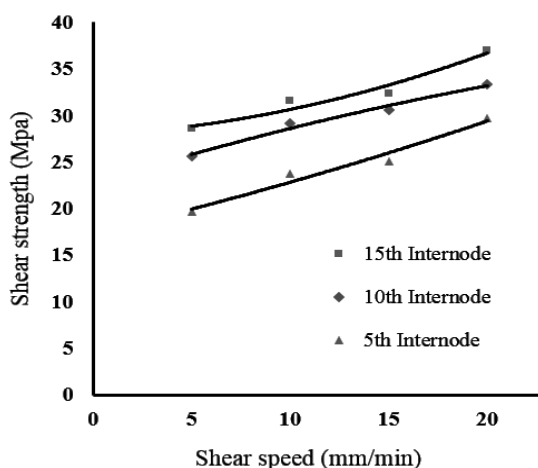
با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در خصوص تاثیر رطوبت ساقه بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی می‌توان بیان کرد، با کاهش رطوبت ساقه، بتدریج نیروی نگهدارنده بین الیاف ساقه کاهش می‌یابد. در نهایت حجم نمونه‌های میان‌گره ساقه به شدت کاهش یافته و بافت‌های ساقه کاملاً متراکم می‌شود. این تراکم بالای بافت ساقه به سبب کاهش رطوبت باعث می‌گردد مقاومت برشی میان‌گره‌های ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی افزایش یابد. در پژوهشی دیگر در خصوص دلیل کاهش مقاومت در رطوبت بالای ساقه ذکر گردیده است: در رطوبت بالای ساقه، نیروی نگهدارنده بین الیاف می‌تواند کاهش حجم ساقه را مهار کرده و سلول‌های بافت‌های ساقه هم‌چنان پراکنده بوده و متراکم نیستند. این موضوع باعث می‌گردد تا مقاومت برشی بحرانی ساقه کاهش یابد (Wanyuan et al., 2021).

مروری بر تاثیر سرعت برش تیغه بر مقاومت برشی

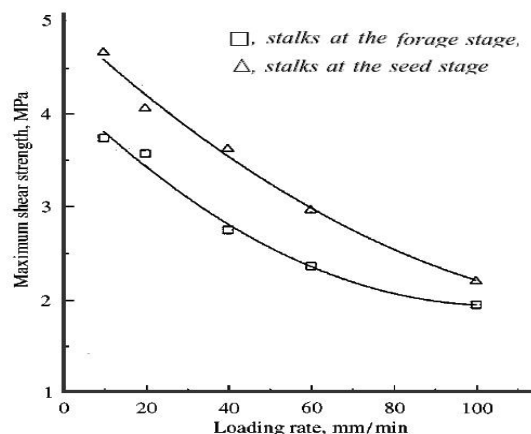
بررسی نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد افزایش سرعت برش باعث می‌گردد تا مقاومت برشی ساقه بسیاری از محصولات کشاورزی کاهش یابد. نتایج یک مطالعه در خصوص برش ساقه ذرت خوشه‌ای نشان داد (شکل ۵. الف) با افزایش سرعت برش از ۱۰ به

۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقاومت برشی ساقه ذرت خوشه‌ای از ۳/۷۴ به ۱/۹۴ مگاپاسکال کاهش می‌یابد (Chattopadhyay & Pandey, 1999). نتایج برش شبه‌استاتیکی ساقه کنگد در سطوح سرعت برش ۱ تا ۴ میلی‌متر بر دقیقه نشان داد، ماکزیمم مقاومت برشی ساقه ۸/۲۱ مگاپاسکال در سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه و کمترین آن ۵/۵۸ مگاپاسکال در سرعت ۴ میلی‌متر بر دقیقه به دست آمده و با افزایش سرعت برش، مقاومت برشی ساقه کنگد کاهش می‌یابد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). نتایج مشابهی در برش ساقه سایر محصولات کشاورزی از قبیل برش ساقه ذرت در محدوده سرعت برش ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر بر دقیقه (Prasad & Gupta, 1975)، برش ساقه گل داوودی در سرعت برش ۲۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه (Khazaei et al., 2002)، برش ساقه زعفران در سرعت برش از ۲۰ به ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه (Vale Ghazehi et al., 2010)، برش ساقه گل پیرتروم در سرعت برش ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه (Khazaei et al., 2002)، برش ساقه گل رز در سرعت‌های برش ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه (Heidari et al., 2012) و برش ساقه جو در سرعت برش ۵ به ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه (Tavakoli et al., 2009) گزارش شده است. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر سرعت بر مقاومت برشی ساقه گیاهان متفاوت بوده و در برش شبه‌استاتیکی برخی از گیاهان با افزایش سرعت برش، مقاومت برشی ساقه افزایش یافته است. مطالعه تاثیر متقابل سرعت برش روی مقاومت برشی ساقه برگ نو نشان داد با افزایش سرعت برش از ۵ به ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه، مقاومت برشی ساقه برگ نو در میان گره پنجم از ۱۹/۶ به ۲۹/۷ مگاپاسکال، در میان گره دهم از ۲۵/۶ به ۳۳/۳ و در میان گره پانزدهم از ۲۸/۵ به ۳۷/۰ مگاپاسکال افزایش می‌یابد (شکل ۵. ب). حداقل مقدار مقاومت برش ساقه در میان گره پنجم و سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه با مقدار ۱۹/۶ مگاپاسکال و حداکثر آن در سرعت برش ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و میان گره پانزدهم با مقدار ۳۷/۰ مگاپاسکال حاصل گردید (Kamandar et al., 2018). در برش ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی نیز گزارش شده با افزایش سرعت برش، مقاومت ساقه در برابر برش کاهش می‌یابد. در برش ضربه‌ای ساقه برگ‌نو مشخص گردید، با افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقاومت برشی در هر سه موقعیت برش میان گره پنجم، دهم و پانزدهم ساقه برگ نو کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار مقاومت برشی ساقه برگ نو در میان گره پنجم و در سرعت ۲ متر بر ثانیه و کمترین آن در میان گره پانزدهم و در سرعت برش ۴ متر بر ثانیه حاصل شده است (شکل ۵. ج). تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به سرعت، در محدوده سرعت ۱ به ۲ متر بر ثانیه ۴۵ درصد، در محدوده سرعت ۲ به ۳ متر بر ثانیه ۴ درصد و در محدوده سرعت ۳ به ۴ متر بر ثانیه ۸۰ درصد کاهش مقاومت برشی را نشان می‌دهد (Kamandar et al., 2018). نتایج حاصل از برش دینامیکی ساقه‌های چهار رقم برنج در سرعت‌های برش ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵ متر بر ثانیه نشان داد (شکل ۵. د)، حداکثر و حداقل مقاومت برشی برای حالت برش استاتیکی بیشتر از برش دینامیکی بوده و مقاومت برشی با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد (Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006). نتایج برش ساقه کنگد نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین چهار سطح سرعتی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه بر میزان مقاومت برشی ساقه در سطح احتمال یک درصد وجود داشته و ماکزیمم مقاومت برشی ساقه ۰/۷۳ مگاپاسکال در سرعت ۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه و کمترین آن ۰/۲۵ مگاپاسکال در سرعت ۲۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه به دست آمده است. با افزایش سرعت برش، مقاومت برشی ساقه کنگد کاهش یافته و روند کاهش مقاومت برشی ساقه کنگد با توجه به سرعت برش بنحوی است که در سرعت ۱۰۰۰ نسبت به سرعت ۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حدود ۳۸ درصد، در سرعت ۱۵۰۰ نسبت به سرعت ۱۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حدود ۱۷ درصد و در سرعت ۲۰۰۰ نسبت به سرعت ۱۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حدود ۱۶ درصد کاهش مقاومت را نشان می‌دهد. در نهایت افزایش سرعت از ۵۰۰ به ۲۰۰۰ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۳۲ درصد مقاومت برشی ساقه کنگد را کاهش می‌دهد (Soleimani et al., 2023). در برش ساقه شمشاد در سرعت بارگذاری ۱ تا ۴ میلی‌متر بر دقیقه (Kamandar & Massah, 2017) و برش ساقه سورگوم در دو مرحله علوفه‌ای و رسیدگی دانه در سرعت‌های بارگذاری ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر بر ثانیه (Chattopadhyay & Pandey, 1999) نشان داد با افزایش سرعت برش مقاومت برشی ساقه کاهش می‌یابد.

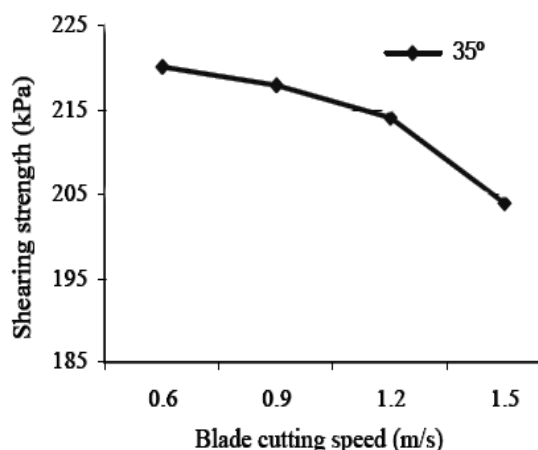
با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص چگونگی تاثیر سرعت برش بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی، علت کاهش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش را می‌توان نفوذ راحت‌تر و سریع‌تر تیغه بیان کرد. همچنین در برش ساقه گیاهان باید این نکته را در نظر بگیریم که ساقه گیاهان جزو مواد ویسکوالاستیک بوده و مقاومت برشی مواد ویسکوالاستیک با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد. از طرفی در سرعت‌های پایین برش محصولات کشاورزی، ابتدا ساقه در مقابل تیغه فشرده می‌شود. با افزایش سرعت برش، دیواره الاستیک سلول زمان کافی برای انتقال نیرو به مایع ویسکوز داخل سلول را نداشته و لذا ساقه سریع‌تر و با نیروی کمتری بریده می‌شود. در نهایت این موضوع باعث می‌گردد تا در سرعت‌های بالاتر مقاومت برشی ساقه کاهش یابد (Chattopadhyay & Pandey, 1999).



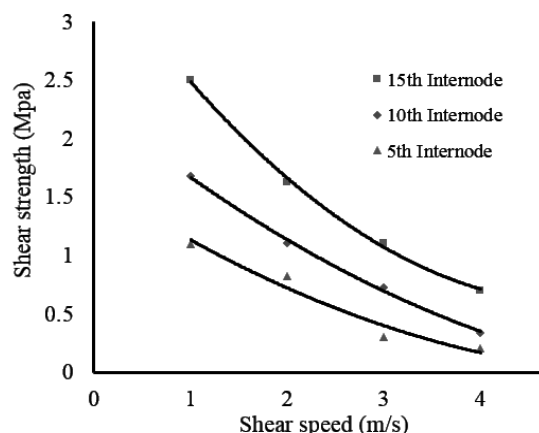
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه برگ نو
(افزایش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Kamandar et al., 2018)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه سورگوم
(کاهش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Chattopadhyay & Pandey, 1999)



د. برش ضربه‌ای ساقه برنج
(کاهش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Tabatabaee Kolor & Borgheie, 2006)



ج. برش ضربه‌ای ساقه برگ نو
(کاهش مقاومت برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Kamandar et al., 2018)

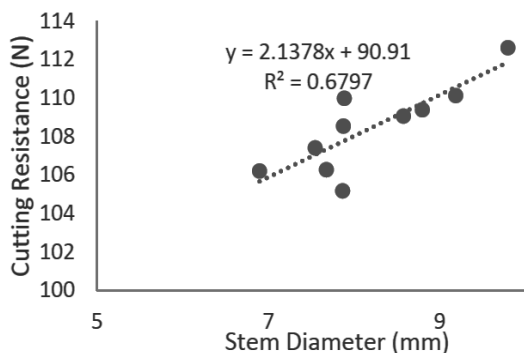
شکل ۵. نمودارهای تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به تغییرات سرعت برش در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

مروری بر تاثیر موقعیت برش ساقه بر مقاومت برشی

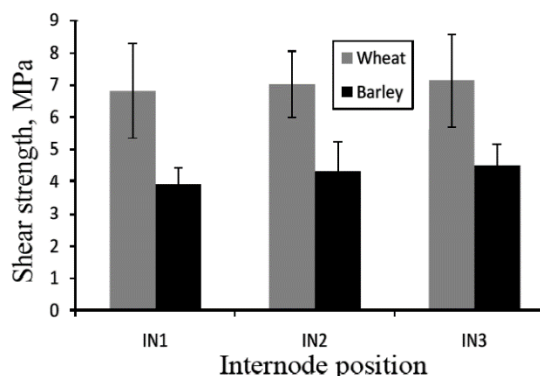
نتایج حاصل از برش ساقه محصولات کشاورزی نشان می‌دهد مقاومت برشی در بخش پایین ساقه آنها نسبت به بخش بالایی بیشتر بوده است (Amer Eissa et al., 2008; Chattopadhyay & Pandey, 1999). در یک پژوهش در خصوص مقایسه رفتار برشی ساقه‌های گندم و جو مشخص گردید مقادیر میانگین مقاومت برشی ساقه گندم و جو در موقعیت‌های مختلف میان‌گره ساقه به ترتیب از ۶/۸۱ تا ۷/۱۲ مگاپاسکال و ۳/۹۰ تا ۴/۴۹ مگاپاسکال برای ساقه‌های گندم و جو متغیر بوده و مقاومت برشی برای هر دو ساقه گندم و جو به سمت میان‌گره سوم افزایش می‌یابد (شکل ۶ الف). همچنین در این تحقیق گزارش گردید مقادیر بیشتر مقاومت برشی ساقه گندم در مقایسه با ساقه جو نشان می‌دهد که ساقه گندم مقاومت برشی بیشتری نسبت به ساقه جو دارد (Tavakoli et al., 2008). تغییر مقاومت برشی ساقه متناسب با تغییر قطر و موقعیت برش ساقه در برش شبه‌استاتیکی ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی مانند برگ‌نو (Kamandar et al., 2018)، ساقه گندم (Eshaghbeygi et al., 2009; O' degherty et al., 1995)، ساقه یونجه (Nazari Galedar, 2018; Halyk & Hulbut, 1968)، ساقه آفتابگردان (Ince et al., 2005)، ساقه نیشکر (Taghinezhad et al., 2013; Hematian et al., 2012) و ساقه گلرنگ (Shahbazi & Nazari Galedar, 2012)، ساقه ارزن (Zhang et al., 2018)، ساقه کنجد (Yilmaz et al., 2009b)، ساقه کاساوا (Kaewwinud et al., 2017) و ساقه گل سوسن (Heidari et al., 2012) گزارش شده است. تغییرات مقاومت برشی ساقه محصولات

کشاورزی در برش ضربه‌ای نیز مشابه و یکسان با برش شبه‌استاتیکی بوده و با حرکت از بالای ساقه به سمت پایین آن مقدار مقاومت برشی ساقه در برابر برش افزایش می‌یابد. برش ساقه کنگد نشان داد حداکثر مقدار میانگین مقاومت برشی ساقه $0/49$ مگاپاسکال در بخش پایین ساقه و حداقل مقدار آن $0/34$ مگاپاسکال، در بخش بالای ساقه به دست آمده است (شکل ۶ ج). روند تغییرات به نحوی است که مقاومت برشی ساقه کنگد در بخش پایین ساقه نسبت به بخش وسط آن حدود ۲۰ درصد، بخش وسط نسبت به بخش بالا حدود ۱۳ درصد و در نهایت بخش پایین نسبت به بخش بالا حدود ۳۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). در برش ساقه برگ‌نو گزارش گردید، با حرکت به سمت پایین ساقه از میان‌گره پنجم تا پانزدهم مقاومت برشی ساقه در برابر برش افزایش می‌یابد. بر این اساس حداکثر میانگین مقاومت برشی $0/51$ مگاپاسکال در میان‌گره پانزدهم و حداقل میانگین مقاومت برشی $0/25$ مگاپاسکال، در میان‌گره پنجم ساقه برگ‌نو حاصل شده است (Kamandar et al., 2018). در پژوهشی دیگر و با برش ضربه‌ای ساقه کنگد گزارش گردید (شکل ۶ د)، 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 بوده و مقاومت برشی ساقه کنگد در بخش پایین دارای مقادیر بیشتری نسبت به دو بخش دیگر آن می‌باشد (یونس‌زاده، ۱۴۰۳). در برش ساقه شمشاد گزارش گردید، تغییر ارتفاع برش به سمت بالای ساقه باعث می‌گردد تا مقاومت برشی ساقه کاهش یابد (Kamandar & Massah, 2017). با توجه به نتایج حاصل از برش ساقه گیاهان مشخص شد حداکثر مقاومت برشی در قسمت پایینی ساقه بوده و دلیل آن رطوبت کمتر، الیاف بیشتر و دیواره ساقه ضخیم‌تر بخش پایین ساقه نسبت به بخش بالایی آن است. از طرفی این رفتار ساقه را می‌توان بر اساس این واقعیت توضیح داد که ساقه گیاهان دارای رفتار مواد ویسکوالاستیک می‌باشد. در مواد ویسکوالاستیک استحکام لایه بیرونی و دیواره ساقه با کاهش میزان رطوبت و همچنین افزایش سن محصول به دلیل تجمع تدریجی لیگنین در دیواره ساقه افزایش یافته و این موضوع به نوبه خود سفتی دیواره ساقه را افزایش می‌دهد (Amer Eissa et al., 2008; Chattopadhyay & Pandey, 1999). نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر موقعیت برش بر مقاومت برشی ساقه گیاهان در برخی از پژوهش‌ها متفاوت بوده و در برش شبه‌استاتیکی برخی از گیاهان با افزایش قطر ساقه، مقاومت برشی ساقه افزایش یافته است. نتایج یک مطالعه در خصوص برش شبه‌استاتیکی ساقه نعنای هندی (شکل ۶ ب) نشان داد با افزایش قطر ساقه، مقاومت برشی ساقه افزایش می‌یابد (Lubis et al., 2020).

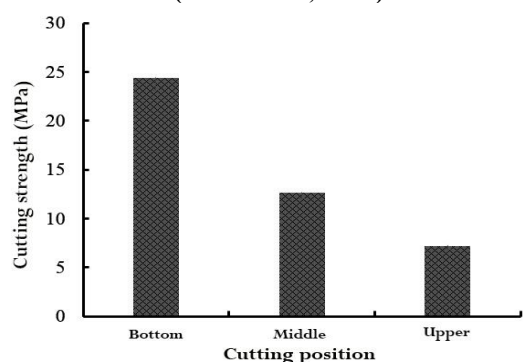
بررسی نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر موقعیت برش بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی نشان می‌دهد، این تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به ارتفاع برش می‌تواند ناشی از ساختار سلولی متفاوت در قسمت‌های مختلف ساقه آنها باشد. در واقع هر چه ساقه محصولات کشاورزی کلفت‌تر باشد، الیاف فیبری آنها ضخیم‌تر شده و مقاومت آنها در برابر برش بیشتر می‌گردد. ساختار ساقه از لحاظ مقاومت در برابر برش در مقطع عرضی آن به چهار بخش الیاف فیبری، پوست، سلول‌های نرم و خلل و فرج تقسیم شده و الیاف فیبری نقش مهمی در مقاومت برشی ساقه دارند. از طرفی سختی و مقاومت ساقه گیاه با الیاف فیبری آن فراهم شده و ساقه در بخش‌های پایینی دارای الیاف فیبری ضخیم‌تری می‌باشد، لذا در بخش پایین ساقه مقاومت برشی بیشتری ایجاد می‌گردد (Persson, 1987). از طرفی بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده این رفتار ساقه محصولات کشاورزی را می‌توان بر اساس این واقعیت توضیح داد که ساقه گیاهان دارای رفتار مواد ویسکوالاستیک می‌باشد. در مواد ویسکوالاستیک استحکام لایه بیرونی و دیواره ساقه با کاهش میزان رطوبت و همچنین افزایش سن محصول به دلیل تجمع تدریجی لیگنین در دیواره ساقه افزایش یافته و این موضوع به نوبه خود سفتی دیواره ساقه را افزایش داده و این موضوع باعث می‌گردد تا ساقه در بخش پایین دارای مقاومت برشی بیشتری باشد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲).



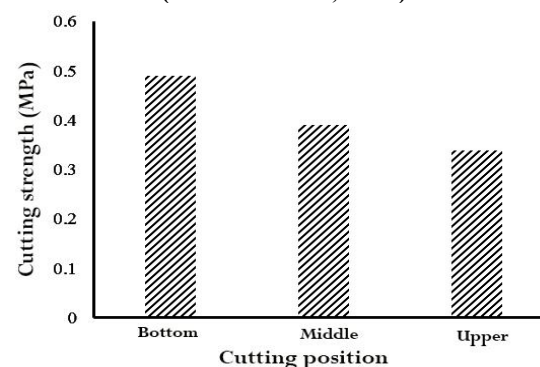
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه نعنای هندی
(افزایش مقاومت برشی با افزایش قطر ساقه)
(Lubis et al., 2020)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های گندم و جو
(افزایش مقاومت برشی با افزایش قطر ساقه)
(Tavakoli et al., 2008)



د. برش شبه‌استاتیکی ساقه کنجد
(کاهش مقاومت برشی با کاهش قطر ساقه)
(یونس‌زاده، ۱۴۰۳)



ج. برش ضربه‌ای ساقه کنجد
(کاهش مقاومت برشی با کاهش قطر ساقه)
(سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲)

شکل ۶. نمودارهای تغییرات مقاومت برشی ساقه نسبت به تغییرات موقعیت برش در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی مختلف با توجه به نتایج گزارش شده توسط محققین در پژوهش‌های انجام شده در خصوص تغییرات مقاومت برشی ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی با تغییر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه در زمان برداشت، در جدول ۳ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از تاثیر افزایش مقادیر رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و ارتفاع برش ساقه از سطح زمین (افزایش موقعیت برش) بر تغییرات مقاومت برشی ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی مختلف ارائه شده است.

جدول ۳. تاثیر روند افزایشی پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی				
نوع برش	نوع گزارش	افزایش رطوبت	افزایش سرعت برش	افزایش موقعیت برش
شبه‌استاتیکی	افزایش مقاومت برشی	آفتابگردان نیشکر گلرنگ	برگ نو	نعناع هندی
کاهش مقاومت برشی	کاهش مقاومت برشی	کلزا/کنجد/پنبه/نیشکر/ کاساوا/ارزن/ذرت/سورگوم یونجه/گیاهان علوفه‌ای	ذرت خوشه‌ای/کنجد/ذرت گل داوودی/زعفران/گل پیرتروم گل رز/جو	جو/برگ‌نو/گندم/یونجه/آفتابگردان/نیشکر گلرنگ/ارزن/کنجد/کاساوا/گل سوسن
ضربه‌ای				
افزایش مقاومت برشی	کاهش مقاومت برشی	کنجد	برگ نو/برنج/کنجد	کنجد/برگ‌نو
کاهش مقاومت برشی	کاهش مقاومت برشی	برنج	شمشاد/سورگوم	شمشاد

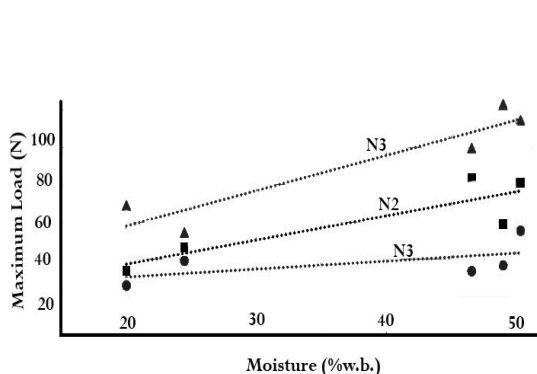
مروری بر نیروی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد رطوبت ساقه در زمان برش بر میزان نیروی مورد نیاز برش ساقه محصولات کشاورزی تاثیرگذار بوده است. بر این اساس تاثیر میزان رطوبت ساقه بر نیروی مصرفی برش ساقه محصولات متفاوت بوده ولی در برش اکثر محصولات با کاهش رطوبت و خشک شدن ساقه، میزان مقاومت برشی ساقه یک روند افزایشی داشته و برش ساقه خشک این محصولات نسبت به ساقه مرطوب آنها به نیروی برشی بیشتری نیاز دارد. بریدن و یا برش محصولات کشاورزی از طریق وارد کردن نیروی برشی^۱ و یا نیروی ضربه‌ای^۲ بر ساقه‌های سرپای محصولات کشاورزی و جدا کردن آنها از بوته صورت می‌گیرد. در زمان بریدن، ابزار برش‌دهنده وارد محصول شده و با اعمال نیروی برشی و غلبه بر مقاومت برشی ساقه محصول، آن را قطع می‌کند (Sitkei, 1986). در ماشین‌های برداشت و دروگرهای محصولات کشاورزی با توجه به نحوه وارد کردن نیرو، دو سیستم برش وجود دارد. الف. سیستم برش با تیغه دارای حرکت رفت و برگشتی یا حرکت خطی که این سیستم که به روش قیچی معروف است. دو تیغه لبه تیز (تیغه و ضد تیغه) بر روی یکدیگر و در جهت مخالف هم حرکت کرده و بر اثر اعمال نیروی برش، محصول در طول لبه‌های تیز تیغه به هنگام رسیدن آنها به یکدیگر بریده می‌شود در این حالت تیغه و ضدتیغه تماماً در برش ساقه محصول مشارکت داشته و حرکت مخالف یکدیگر تیغه و ضدتیغه عمل برش را آسان‌تر می‌سازد در روش برش قیچی، نیرو از لحظه شروع تماس تیغه با ساقه گیاه از صفر به یک مقدار ماکزیمم افزایش یافته و هنگامی که برش کامل شد و تیغه قطر ساقه را طی کرد، این نیرو مجدداً صفر می‌گردد. در این سیستم برش موقعی که لبه تیغه برنده از لبه تیغه ثابت بگذرد، برش ساقه گیاه کامل می‌گردد. ب. سیستم برش با تیغه دارای حرکت دورانی که در این سیستم حرکت تیغه به صورت دورانی بوده و در صورت وجود تیغه ثابت، برش مانند حالت قبل است. این سیستم برش در ماشین‌های برداشت، مانند دروگرها، چارپاها، ماشین‌های چمن‌زنی و از این قبیل استفاده می‌گردد. در این روش تیغه ثابت یا نگه‌دارنده، برای برش گیاه وجود نداشته و عکس‌العمل نیروها به وسیله اینرسی گیاه و استقرار آن تأمین می‌گردد (Persson, 1987). عوامل اصلی که در مقدار نیروی برشی مورد نیاز ساقه محصولات کشاورزی مؤثرند را می‌توان به دو دسته اصلی عوامل مربوط به محصول (ساختمان مقطع عرضی گیاه، نوع و جنس الیاف تشکیل دهنده ساقه، ضخامت حقیقی لایه ساقه، میزان رسیده بودن ساقه، چگالی ساقه، مرحله رشد گیاه، فاصله برش ساقه از ریشه، قطر ساقه، اصطکاک و چسبندگی بین ساقه و تیغه، جرم خشک در واحد حجم محصول و میزان رطوبت ساقه) و عوامل مربوط به ویژگی‌های ابزار برش (سرعت پیشروی دستگاه، طول برش، نحوه برش، ارتفاع برش، ابعاد تیغه، زاویه تیزی تیغه، زاویه برش تیغه، زاویه تمایل تیغه، زاویه بین تیغه و ضدتیغه، زاویه خلاصی تیغه، فاصله خلاصی تیغه، شعاع لبه برنده تیغه، نوع لبه، تیزی تیغه، سرعت تیغه، مشخصات تیغه ثابت و اثر متقابل عوامل فوق روی یکدیگر) تقسیم بندی کرد (McRandal & McNulty, 1980b; Ranganna et al., 1995).

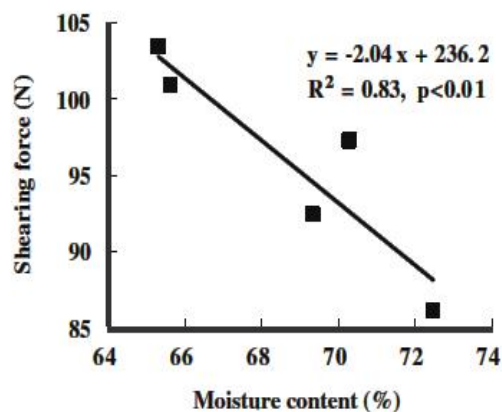
مروری بر تاثیر رطوبت ساقه بر نیروی مصرفی برش

بررسی مطالعات انجام شده طی سالیان اخیر نشان می‌دهد رطوبت ساقه در زمان برش بر میزان نیروی مورد نیاز برای برش ساقه محصولات کشاورزی تاثیرگذار بوده است. بر این اساس تاثیر میزان رطوبت ساقه بر نیروی مصرفی برش ساقه محصولات متفاوت بوده ولی در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای اکثر محصولات کشاورزی با افزایش رطوبت ساقه، نیروی برشی ساقه کاهش یافته و برش ساقه خشک نسبت به ساقه مرطوب به نیروی برشی بیشتری نیاز دارد. نتایج حاصل از برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های برنج در سرعت برش ۵ میلی‌متر بر ثانیه در رطوبت‌های مختلف ساقه نشان داد (شکل ۷.۱ الف)، با افزایش رطوبت ساقه نیروی برشی مورد نیاز ساقه به شدت کاهش می‌یابد (Zhou et al., 2012). در برش ضربه‌ای ساقه ارزن (شکل ۷.۱ ج)، در رطوبت‌های ساقه ۶۳-۶۲، ۷۱-۷۰ و ۸۰-۷۷ درصد و سه قطر ساقه ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌متر گزارش گردید با افزایش رطوبت ساقه از ۶۳ به ۸۰ درصد نیروی مورد نیاز برش ساقه ۱۶/۲ درصد کاهش می‌یابد (Nisha & Saravanakumar, 2019). در برش ضربه‌ای ساقه لوبیای سودانی در محدوده رطوبت ساقه ۴۵-۴۲ درصد گزارش گردید (شکل ۷.۱ د)، با افزایش رطوبت ساقه تا ۴۵ درصد، میزان نیروی مورد نیاز برش ساقه کاهش می‌یابد (Dange et al., 2011). نتایج حاصل از برش ضربه‌ای ساقه کنجد نشان داد، با افزایش رطوبت ساقه، نیروی مورد نیاز برش به شدت کاهش یافته و ماکزیمم نیروی برشی ساقه ۲۷/۶۸ نیوتن در رطوبت ۱۵ درصد و کمترین مقدار آن ۶/۴۰ نیوتن در رطوبت ۶۰ درصد حاصل شده است. روند تغییرات نیروی برشی ساقه کنجد نسبت به تغییرات رطوبت ساقه بنحوی است که نیروی برشی در رطوبت ۶۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۵ درصد حدود ۷۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد (Soleimani et al., 2023). در برش ضربه‌ای ساقه بادام زمینی در محدوده رطوبت ساقه ۴۰ تا ۶۰ درصد گزارش

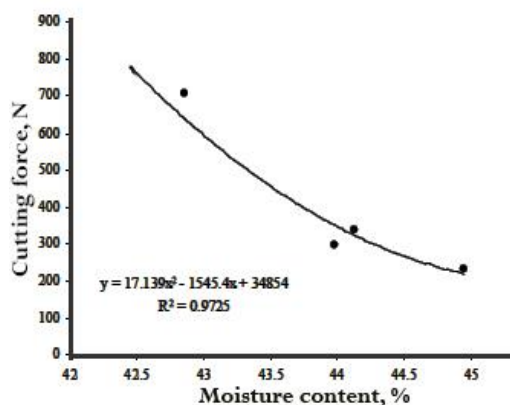
گردید با افزایش رطوبت ساقه نیروی مورد نیاز برش ساقه بادم زمینی کاهش می‌یابد (Preethi et al., 2021). در برش ضربه‌ای ساقه ارزن در رطوبت‌های ساقه ۶۳-۶۲، ۷۱-۷۰ و ۸۰-۷۷ درصد گزارش گردید با افزایش رطوبت ساقه از ۶۳ به ۸۰ درصد، نیروی مورد نیاز برش ساقه ۱۶/۲ درصد کاهش می‌یابد (Nisha & Saravanakumar, 2019). برخلاف نتایج گزارش شده در خصوص کاهش نیروی مورد نیاز برش ساقه با افزایش رطوبت آن، در یک مطالعه در خصوص برش شبه‌استاتیکی ساقه برنج^۱ در رطوبت‌های ۵۰/۳، ۴۹/۰، ۴۶/۶، ۴۴/۵ و ۲۰ درصد از سه بخش پایین، وسط و بالای ساقه گزارش گردیده است (شکل ۷. ب)، با افزایش رطوبت، نیروی مورد نیاز برش ساقه افزایش می‌یابد (Khaeso & Laloon, 2019).



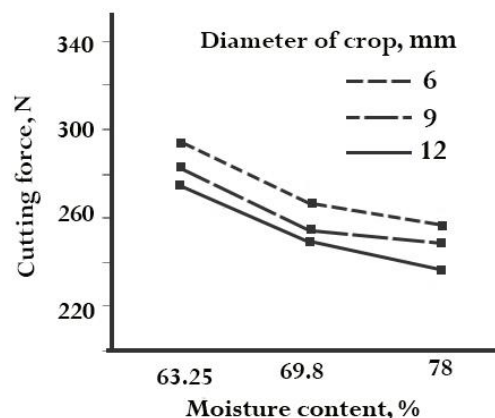
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه برنج (Khao Dok Mali 105)
(افزایش نیروی برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Khaeso & Laloon, 2019)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه برنج
(کاهش نیروی برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Zhou et al., 2012)



د. برش ضربه‌ای ساقه لوبیا
(کاهش نیروی برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Dange et al., 2011)



ج. برش ضربه‌ای ساقه ارزن
(کاهش نیروی برشی با افزایش رطوبت ساقه)
(Nisha & Saravanakumar, 2019)

شکل ۷. نمودارهای تغییرات نیروی برشی ساقه نسبت به تغییرات رطوبت ساقه در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

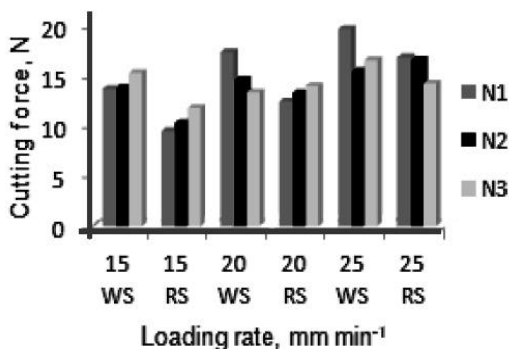
با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر رطوبت ساقه محصولات کشاورزی بر میزان نیروی مورد نیاز برش، دلیل افزایش نیروی برش ساقه در اثر کاهش رطوبت را ناشی از دهیدراته شدن ساقه و در نتیجه سفت شدن آن با کاهش رطوبت بیان کرد (طباطبایی کلور و همکاران، ۱۳۸۴). بر این اساس در برخی از پژوهش‌های انجام شده سفت‌تر بودن ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب (خشبیتر بیشتر ساقه‌های خشک) و وجود نسبت مواد بیشتر در واحد سطح ساقه‌های خشک نسبت به ساقه‌های مرطوب

دلیل افزایش نیروی مورد نیاز برش گزارش گردیده است (Taghinezhad et al., 2013).

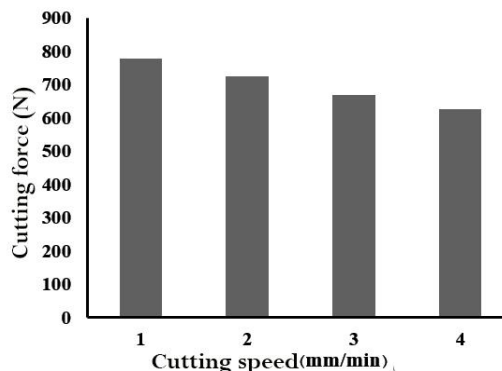
مروری بر تاثیر سرعت برش تیغه بر نیروی مصرفی برش

سرعت برش ساقه بر میزان نیروی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی تاثیر داشته و رفتار برشی گزارش شده توسط محققین در خصوص تاثیر سرعت برش بر نیروی برشی محصولات کشاورزی متفاوت بوده است. نتایج مقایسه میانگین سرعت برش ساقه کنجد در برش شبه‌استاتیکی نشان داد، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین مقادیر نیروی برشی مورد نیاز برش ساقه کنجد در چهار سطح سرعتی ۱، ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر بر دقیقه وجود داشته و با افزایش سرعت برش، نیروی برشی ساقه کنجد کاهش می‌یابد (شکل ۸ الف). نتایج نشان داد نیروی برشی در سرعت ۲ نسبت به سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۶ درصد، در سرعت ۳ نسبت به سرعت ۲ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۸ درصد و در سرعت ۴ نسبت به سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه حدود ۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. همچنین در برش ضربه‌ای ساقه کنجد در رطوبت ۶۰ درصد، چهار سطح سرعتی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه گزارش گردید ماکزیمم نیروی برشی ساقه ۱۹/۹۵ نیوتن در حداقل سرعت ۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه و می‌نیمم مقدار آن ۱۰/۱۴ نیوتن در سرعت ۲۰۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حاصل شده است (شکل ۸ ج). با افزایش سرعت برش ضربه‌ای ساقه کنجد میزان نیروی مورد نیاز برای برش ساقه به شدت کاهش یافته و سرعت ۲۰۰۰ نسبت به سرعت ۵۰۰ میلی‌متر بر ثانیه حدود ۴۹ درصد کاهش نیروی مصرفی برش را نشان می‌دهد (Soleimani et al., 2023). نتایج حاصل از برش ضربه‌ای دو رقم برنج و یک رقم گندم در سرعت برش بین ۲/۵۳ تا ۴/۵ متر بر ثانیه نشان داد با افزایش سرعت برش، نیروی مورد نیاز برش ساقه ارقام برنج و گندم کاهش می‌یابد (Majumdar & Dutta, 1982). در برش ضربه‌ای ساقه برگ‌نو مشخص گردید، با افزایش سرعت برش از ۱ به ۴ متر بر ثانیه، مقدار نیروی برشی مورد نیاز ساقه کاهش می‌یابد (Kamandar et al., 2018). در مطالعه برش ساقه ذرت در سرعت‌های برش ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه گزارش گردید با افزایش سرعت برش، ماکزیمم نیروی برش ساقه کاهش می‌یابد (Zhao et al., 2017). در یک پژوهش در خصوص برش ضربه‌ای ساقه بادام زمینی در محدوده سرعت‌های برش ساقه ۰/۸ تا ۰/۹، ۰/۹ تا ۱/۰ و ۱/۰ تا ۱/۱ متر بر ثانیه گزارش شده با افزایش سرعت برش ساقه، نیروی مورد نیاز برش ساقه بادام زمینی کاهش می‌یابد (Preethi et al., 2021). برش ساقه تیموتی نشان داد نیروی مصرفی برش در سرعت برش ۱/۷۵ متر بر ثانیه، ۱۰ درصد بیشتر از نیرو در سرعت ۳/۳ تا ۵/۲ متر بر ثانیه بوده و در سرعت‌های خیلی پایین مقدار نیروی مورد نیاز برش ساقه، ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر می‌باشد (Persson, 1987). در برش ضربه‌ای ساقه نخود بنگالی گزارش گردید، یک رابطه معکوس بین سرعت برش و نیروی مورد نیاز برش وجود داشته و با افزایش سرعت برش ساقه، نیروی مصرفی برش کاهش می‌یابد (Ramachandran & Asokan, 2020). برش ضربه‌ای ساقه ماش سیاه^۲ در سرعت‌های برش ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳/۱ متر بر ثانیه نشان داد با افزایش سرعت برش، نیروی برشی مورد نیاز کاهش می‌یابد (Sushilendra et al., 2020). برخلاف نتایج گزارش شده در خصوص کاهش نیروی مورد نیاز برش ساقه با افزایش سرعت برش، در یک مطالعه در خصوص برش ضربه‌ای ساقه نخود در سه قطر ساقه ۵-۶، ۸-۷ و ۱۰-۹ میلی‌متر، رطوبت‌های ۱۷/۴۴، ۱۵/۳۳ و ۱۳/۱۳ درصد و سرعت‌های برش ۴/۵۷، ۳/۷۱، ۲/۷۴ و ۱/۶۶ متر بر ثانیه (شکل ۸ د)، افزایش نیروی برش در همه قطرهای ساقه با افزایش سرعت برش گزارش شده است (Telangi et al., 2023). یک مطالعه در خصوص برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های گندم (WS) و برنج (RS) در سه سرعت بارگذاری ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و سه موقعیت میان‌گره ۷۰ (N1)، ۱۳۰ (N2) و ۱۹۰ (N3) میلی‌متر پایین‌تر از خوشه انجام شد (شکل ۸ ب). نتایج نشان داد با افزایش سرعت بارگذاری، مقادیر نیروهای برشی ساقه برنج به طور معنی‌داری بیشتر از ساقه گندم بوده و با توجه به یافته‌های این تحقیق، با کاهش سرعت بارگذاری تیغه برش از ۱۵ به ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه، مقادیر نیروی برشی ساقه‌های گندم و جو افزایش می‌یابد (Chandio et al., 2013).

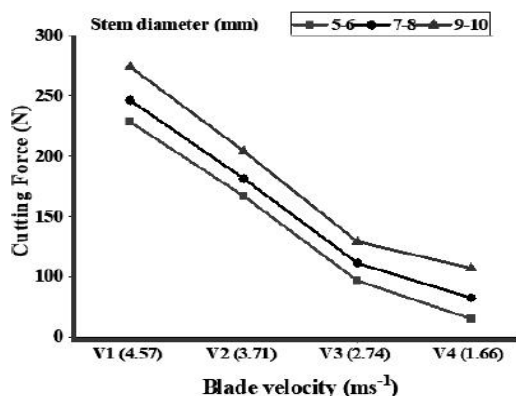
بررسی نتایج حاصل از برش ساقه محصولات کشاورزی در دو نوع برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای نشان می‌دهد، توانایی نفوذ بیشتر تیغه برش به دیواره بیرونی ساقه در سرعت‌های بالاتر را می‌توان دلیل کاهش نیروی مورد نیاز برش قلمداد کرد. در واقع با افزایش سرعت برش خصوصاً سرعت‌های بسیار بالای برش ضربه‌ای، تیغه ضربه بیشتری به دیواره بیرونی ساقه وارد کرده و باعث می‌گردد تا مقاومت ساقه در برابر برش به شدت کاهش یافته و در نهایت با کاهش مقاومت برشی ساقه، نیروی برشی مورد نیاز ساقه کاهش می‌یابد (Oyefeso et al., 2021).



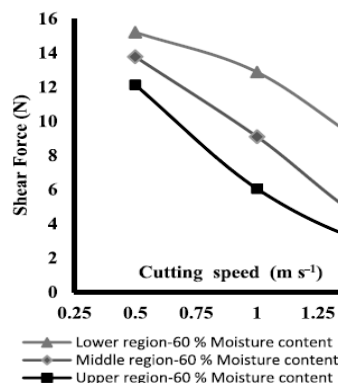
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های گندم و برنج
(افزایش نیروی برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Chandio et al., 2013)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه کنجد
(کاهش نیروی برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲)



د. برش ضربه‌ای ساقه نخود
(افزایش نیروی برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Telangi et al., 2023)



ج. برش ضربه‌ای ساقه کنجد
(کاهش نیروی برشی با افزایش سرعت برش ساقه)
(Soleimani et al., 2023)

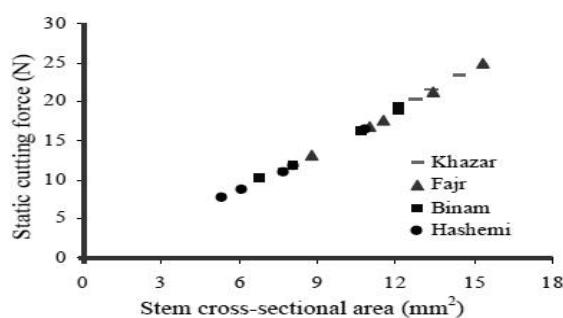
شکل ۸. نمودارهای تغییرات نیروی برشی ساقه نسبت به تغییرات سرعت برش در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

مروری بر تاثیر موقعیت برش ساقه بر نیروی مصرفی برش

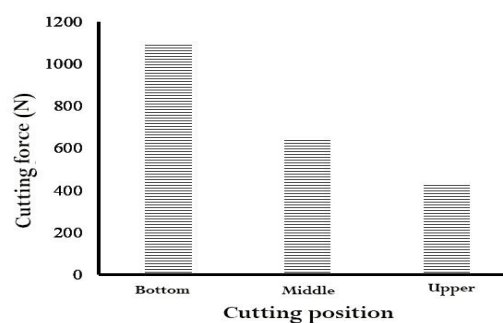
با توجه به تغییر قطر ساقه، موقعیت و محل برش ساقه از سطح زمین بر نیروی مورد نیاز برش ساقه گیاهان تاثیر داشته است. در برش ساقه کنجد مشخص گردید با تغییر موقعیت برش از بالای ساقه به سمت پایین آن، مقدار نیروی برشی مورد نیاز افزایش می‌یابد. در واقع حداکثر مقدار میانگین نیروی برشی ۱۸/۳۹ نیوتن در بخش پایینی ساقه و حداقل مقدار میانگین نیروی برشی ۹/۹۲ نیوتن، در بخش بالایی ساقه حاصل شده است (شکل ۹. الف). همچنین اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بین مقادیر نیروی برشی ساقه در سه بخش پایینی، میانی و بالایی ساقه وجود دارد. روند تغییرات نیروی مصرفی مورد نیاز برای برش ساقه کنجد با توجه به موقعیت برش بنحوی است که نیروی برشی در وسط ساقه نسبت به پایین ساقه حدود ۱۱ درصد، در بالای ساقه نسبت به وسط ساقه حدود ۴۰ درصد و در بالای ساقه نسبت به پایین ساقه حدود ۴۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲). نتایج حاصل از برش شبه‌استاتیکی ساقه‌های چهار رقم برنج خزر، فجر، بی‌نام و هاشمی در سه رطوبت ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درصد ساقه و چهار سطح مقطع ۷/۳۴، ۱۰/۶۱، ۱۳/۲۵ و ۱۶/۴۲ میلی‌متر مربع نشان داد (شکل ۹. ب)، با افزایش سطح مقطع ساقه از ۷/۳۴ به ۱۶/۴۲ میلی‌متر مربع نیروی برشی مورد نیاز ساقه ۳۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از برش ضربه‌ای ارقام مذکور نشان داد (شکل ۹. ج)، با افزایش سطح مقطع ساقه، نیروی مورد نیاز برش افزایش می‌یابد (Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006). در برش ضربه‌ای ساقه لوبیای سودانی در محدوده قطر ساقه ۸ تا ۳۰ میلی‌متر گزارش گردید (شکل ۹. د) با افزایش قطر ساقه میزان نیروی برش ساقه افزایش می‌یابد (Dange et al., 2011). در برش ضربه‌ای ساقه بادام زمینی در محدوده سرعت‌های برش ساقه ۰/۸ تا ۰/۹، ۰/۹ تا ۱/۰ و ۱/۰ تا ۱/۱ متر بر ثانیه در محدوده قطر ساقه ۱۵ تا ۱۷، ۱۷ تا ۱۹ و ۱۹ تا ۲۱ میلی‌متر و محدوده رطوبت ساقه ۴۰ تا ۴۷، ۴۷ تا ۵۳ و ۵۳ تا ۶۰ درصد گزارش شد برای برش ساقه با قطر بزرگ

نسبت به ساقه با قطر کوچک $۱۹/۸۳$ درصد نیروی برشی بیشتری نیاز می‌باشد (Preethi et al., 2021). در برش ضربه‌ای ساقه ارزن در سرعت‌های برش $۱/۵$ ، $۰/۵$ و ۲ متر بر ثانیه، محدوده قطرهای ساقه ۶ ، ۹ و ۱۲ میلی‌متر و رطوبت‌های ساقه $۶۳-۶۲$ ، $۷۱-۷۰$ و $۸۰-۷۷$ درصد گزارش گردید با افزایش قطر ساقه از ۶ به ۱۲ میلی‌متر، نیروی مورد نیاز برش ساقه $۷/۳$ درصد افزایش می‌یابد (Nisha & Saravanakumar, 2019). در برش ضربه‌ای ساقه نخود بنگالی در محدوده قطرهای ساقه ۳ تا $۴/۵$ میلی‌متر، $۴/۵۱$ تا ۶ میلی‌متر و بالای ۶ میلی‌متر گزارش شد یک رابطه مستقیم بین قطر ساقه و نیروی مورد نیاز برش وجود داشته و با افزایش قطر ساقه، نیروی مصرفی برش افزایش می‌یابد (Ramachandran & Asokan, 2020). در برش ضربه‌ای ساقه ماش سیاه با قطرهای ساقه ۱۲ ، ۱۶ ، ۲۰ و ۲۴ میلی‌متر گزارش گردید با افزایش قطر ساقه، نیروی برشی مورد نیاز افزایش می‌یابد (Sushilendra et al., 2020). در برش سه بخش ریشه، وسط و سر ساقه خیار نیروی مورد نیاز برش ساقه با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد (Yunfeng et al., 2016).

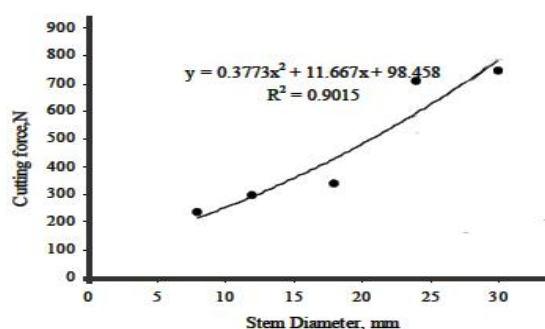
با توجه به نتایج گزارش شده توسط محققین در خصوص تاثیرگذاری موقعیت و ارتفاع برش ساقه بر نیروی مورد نیاز برش ساقه محصولات کشاورزی می‌توان افزایش قطر و به تبع آن افزایش سطح مقطع ساقه، رطوبت پایین‌تر و همچنین خشبیت بیشتر بخش پایین ساقه را بعنوان دلایل اصلی افزایش نیروی مصرفی برش در بخش پایین ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی قلمداد کرد. علاوه بر درصد رطوبت پایین‌تر بخش پایین ساقه و خشک و شکننده بودن بخش پایین ساقه به دلیل رطوبت پایین آن، اختلاف ساختار مولکولی ساقه در بخش پایین نسبت به بخش بالایی آن را می‌توان در افزایش نیروی مصرفی برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی دخیل دانست (سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲).



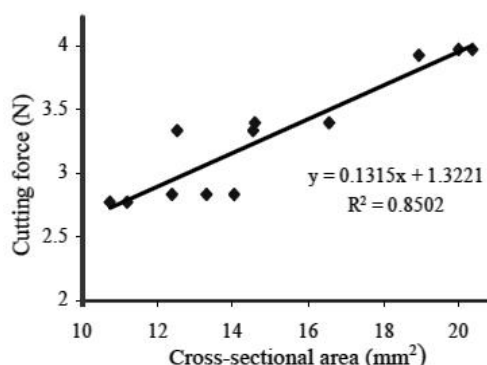
ب. برش شبه‌استاتیکی ساقه برنج
(افزایش نیروی برشی با افزایش قطر ساقه)
(Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006)



الف. برش شبه‌استاتیکی ساقه کنجد
(افزایش نیروی برشی با افزایش قطر ساقه)
(سلیمانی خاردان، ۱۴۰۲)



د. برش ضربه‌ای ساقه لوبیا
(افزایش نیروی برشی با افزایش قطر ساقه)
(Dange et al., 2011)



ج. برش ضربه‌ای ساقه برنج
(افزایش نیروی برشی با افزایش قطر ساقه)
(Tabatabaee Koloor & Borgheie, 2006)

شکل ۹. نمودارهای تغییرات نیروی برشی ساقه نسبت به تغییرات موقعیت برش در در برش‌های شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ساقه محصولات کشاورزی

بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر نیروی برشی ساقه محصولات کشاورزی مختلف با توجه به نتایج گزارش شده توسط محققین در پژوهش‌های انجام شده در خصوص تغییرات نیروی مورد نیاز برش ساقه گیاهان و محصولات کشاورزی با تغییر پارامترهای رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و موقعیت برش ساقه در زمان برداشت، در جدول ۴ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از تاثیر افزایش مقادیر رطوبت ساقه، سرعت برش تیغه و ارتفاع برش ساقه از سطح زمین (افزایش موقعیت برش) بر تغییرات نیروی مورد نیاز برش ساقه محصولات کشاورزی مختلف ارایه شده است.

جدول ۴. تاثیر روند افزایشی پارامترهای رطوبت، سرعت و موقعیت برش بر نیروی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی

نوع برش	نوع گزارش	افزایش رطوبت	افزایش سرعت برش	افزایش موقعیت برش
شبه‌استاتیکی	افزایش نیروی	برنج ^۱	گندم	
	مصرفی برشی		برنج	
	کاهش نیروی	برنج/ارزن	کنجد	کنجد
	مصرفی برشی	لوبیای سودانی		برنج
ضربه‌ای	افزایش نیروی		نخود	
	مصرفی برشی			
	کاهش نیروی	کنجد	کنجد/برنج/گندم/برگ‌نو	کنجد/برنج/لوبیای سودانی
	مصرفی برشی	بادام‌زمینی	بادام زمینی/ تیموتی/ذرت	بادام زمینی/ ارزن
		ارزن	نخود بنگالی/ماش سیاه ^۲	نخود بنگالی/ ماش سیاه

مروری بر کاربرد نیروی برشی در طراحی تیغه ماشین‌های برداشت

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد خواص مکانیکی برشی ساقه ارتباط نزدیکی با پارامترهای طراحی دستگاه برداشت محصولات کشاورزی داشته و خواصی از قبیل نیروی برشی، مقاومت برشی و انرژی برش از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی ماشین‌های برداشت محصولات کشاورزی محسوب می‌گردد. با توجه به این که توان با حاصلضرب نیرو در سرعت اعمال نیرو متناسب می‌باشد، توان مورد نیاز ماشین برداشت‌کننده برای حرکت تیغه برش را می‌توان از حاصلضرب سرعت برش ساقه در نیروی مقاوم وارد بر تیغه برش به‌دست آورد (Kelenin et al., 1986).

$$P = \frac{F_t \cdot V}{1000} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه P (کیلووات)، توان مورد نیاز تیغه ماشین برداشت برای غلبه بر نیروهای مقاوم در برابر حرکت و برش تیغه برش، V (متر بر ثانیه) سرعت تیغه برش و F_t (نیوتن) کل نیروی مقاوم وارد بر تیغه در زمان برش می‌باشد. کل نیروی مقاوم در برابر تیغه برش خود نیز ترکیبی از سه نیروی میانگین برش ساقه، نیروی اینرسی تیغه و نیروی اصطکاک تیغه برش بوده و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$F_t = F_a + F_i + F_f \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن F_a میانگین نیروی برش ساقه (نیوتن)، F_i نیروی اینرسی تیغه برش ماشین برداشت (نیوتن) و F_f نیروی اصطکاک اجزای تیغه برش (نیوتن) است. میانگین به تعداد گیاهانی که توسط تیغه دروگر بریده می‌شوند بستگی دارد. مقدار میانگین به تعداد ساقه‌هایی که در هر حرکت تیغه بریده می‌شوند بستگی دارد و از معادله زیر بدست می‌آید:

$$F_a = n \cdot F \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن n تعداد ساقه‌های محصول در امتداد تیغه برش و F حداکثر نیروی برش ساقه (N) است. نیروی اینرسی تیغه برش F_i تابعی از جرم تیغه برش و شتاب حرکتی تیغه برش بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_i = m_b \cdot j_b \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن m_b جرم تیغه برش (کیلوگرم) و j_b شتاب تیغه برش در زمان کار (متر بر مجذور ثانیه) است. F_f نیروی اصطکاک تیغه

برش بوده و این نیرو تابعی از وزن تیغه (نیوتن) و ضریب اصطکاک بین تیغه با انگشتی می‌باشد. نیروی اصطکاک از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_f = G_k \cdot f_f \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در آن G_k وزن تیغه (نیوتن) و f_f ضریب اصطکاک تیغه برش با انگشتی می‌باشد. با توجه به معادله‌های ۱ تا ۵ مشخص می‌گردد در بحث طراحی مکانیزم برش ماشین برداشت، نیروی مصرفی برش ساقه (F) یک پارامتر اصلی و مهم بوده و توان مورد نیاز ماشین برداشت‌کننده برای حرکت تیغه برش (P) را تعیین می‌کند. بنابراین محاسبه و تعیین نیروی مورد نیاز برش یک ساقه از محصولات کشاورزی در مبحث طراحی تیغه ماشین‌های برداشت لازم و ضروری می‌باشد (Kelenin et al., 1986; Soleimani et al., 2023). در واقع می‌توان به رابطه نهایی زیر که بیانگر ارتباط مستقیم بین نیروی برشی ساقه با توان مورد نیاز مکانیزم برش ماشین برداشت می‌باشد، دست یافت.

$$P = \frac{1}{1000} (n \cdot F + m_b \cdot j_b + G_k \cdot f_f) \cdot V \quad \text{(رابطه ۶)}$$

نتیجه‌گیری

تحلیل نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص تاثیر پارامترهای سرعت برش تیغه، رطوبت و ارتفاع برش بر خواص مکانیکی برشی ساقه محصولات کشاورزی نشان می‌دهد میزان تاثیر هر یک از پارامترهای مذکور بر تغییرات خواص مکانیکی برشی یک محصول خاص یکسان نبوده و یک تفاوت مشخص و واضح بین تاثیر هر یک از آنها بر خواص مکانیکی ساقه محصولات کشاورزی وجود دارد. بر اساس نتایج، دو پارامتر سرعت برش و رطوبت ساقه نسبت به پارامتر موقعیت برش بر مقادیر نیروی برشی، مقاومت برشی و انرژی مصرفی برش ساقه محصولات کشاورزی تاثیر بیشتری داشته و انتخاب سرعت‌های بالاتر برش و همچنین برداشت در رطوبت‌های بالاتر می‌تواند باعث کاهش چشمگیر مقادیر نیروی مورد نیاز برش، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه محصولات کشاورزی در زمان برداشت گردد. جهت تصدیق این نکته و به‌عنوان نمونه می‌توان به نتایج حاصل از برش استاتیکی و دینامیکی ساقه‌های چهار رقم برنج در سه سرعت برش ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵ متر بر ثانیه اشاره کرد. مقادیر به‌دست آمده مقاومت برشی ساقه در برش استاتیکی ۷ تا ۸ برابر بزرگتر از مقادیر به‌دست آمده در برش دینامیکی می‌باشند (طباطبایی کلور و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین نتایج حاصل از برش ساقه کنگد نشان داد در یک رطوبت و موقعیت برش مشخص، افزایش سرعت برش از ۱ متر بر ثانیه به ۲ متر بر ثانیه باعث کاهش ۲۲، ۴۵ و ۳۳ درصدی مقادیر نیروی مصرفی برش، انرژی مخصوص برش و مقاومت برشی ساقه کنگد در زمان برداشت شده و این افزایش سرعت برش باعث گردید تا ریزش دانه کنگد در زمان برداشت حدود ۲۱ درصد کاهش یابد. همچنین بر اساس نتایج حاصله در برش ساقه کنگد در یک سرعت و موقعیت برش مشخص، افزایش رطوبت ساقه از ۳۰ درصد به ۶۰ درصد به ترتیب کاهش ۵۰، ۲۰ و ۶۰ درصدی مقادیر نیروی مصرفی برش، انرژی مخصوص برش و مقاومت برشی ساقه را نشان داده و این افزایش درصد رطوبت ساقه باعث گردید تا ریزش کنگد در زمان برداشت حدود ۳۷ درصد کاهش یابد (Soleimani et al., 2023).

با توجه به این نکته که جهت افزایش عملکرد و همچنین کاهش تلفات در برداشت محصولات کشاورزی، عملیات برداشت بسیاری از محصولات در یک رطوبت خاص و مشخص ساقه انجام می‌گیرد، می‌توان تاثیرگذاری سرعت تیغه یا سرعت برش را از رطوبت ساقه متمایز کرد و سرعت برش را به‌عنوان مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر خواص مکانیکی محصولات کشاورزی قلمداد کرد. در یک جمع‌بندی از تحلیل نتایج می‌توان به این نکته اشاره کرد سرعت برش تیغه به‌عنوان یک عامل بسیار مهم در طراحی مکانیزم تیغه برش ماشین‌های برداشت، نسبت به دو پارامتر رطوبت ساقه و موقعیت برش ساقه دارای تاثیرگذاری بیشتری بر میزان نیروی مورد نیاز برش، انرژی مصرفی برش و مقاومت برشی ساقه بوده و می‌بایست طراحی مکانیزم‌های تیغه برش دارای سرعت بالاتر نسبت به مکانیزم‌های تیغه برش موجود، مد نظر طراحان ماشین‌های برداشت محصولات کشاورزی قرار گیرد (البته لازم است در ابتدا سرعت بهینه برش برای هر محصول محاسبه و سپس طراحی مکانیزم تیغه برش متناسب با سرعت محاسبه شده مد نظر قرار گردد). لحاظ کردن این نکته در مباحث طراحی می‌تواند باعث کاهش چشمگیر توان مصرفی و همچنین کاهش ریزش و تلفات در زمان برداشت محصولات کشاورزی گردد.

منابع

طباطبایی کلور، رضا؛ برقی، علیمحمد؛ مردانی، علی؛ رجایی پور، علی؛ میلی، حسین؛ و علامه، علیرضا. (۱۳۸۴). بررسی تاثیر سرعت و زاویه لبه تیغه بر مقاومت برشی ساقه ارقام مختلف برنج. *تحقیقات مهندسی کشاورزی*، جلد ۶(۲۳)، ۹۹-۱۱۲.



سلیمانی خاردان، نرگس. (۱۴۰۲). بررسی و تحلیل خواص مکانیکی برشی ساقه کنگد در دو نوع برش شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به‌راهنمایی محمدرضا کماندار. جیرفت: دانشگاه جیرفت، دانشکده کشاورزی.

یونس‌زاده، یوسف. (۱۴۰۳). بررسی تاثیر نیروی برشی تیغه رفت و برگشتی بر میزان ریزش دانه و خواص مکانیکی ساقه کنگد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به‌راهنمایی محمدرضا کماندار. جیرفت: دانشگاه جیرفت، دانشکده کشاورزی.

REFERENCES

- Alizade, M. R., Ajdadi, F. R., & 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.
- Alizadeh, M. R., & Habibi, F. A. (2016). Comparative study on the quality of the main and ratoon rice crops. *Journal of Food Quality*, 39(6), 669-674.
- Amer Eissa, A. H., Gomaa, A. H., Baiomy, M. H., & Ibrahim, A. A. (2008). Physical and mechanical characteristics for some agricultural residus. *Misir J. Ag. Eng.*, 25(1), 121-146.
- Amirian, F., Shahbazi, F., & Taheri Garavand, A. (2017). Effects of moisture content and level in the crop on the shearing properties of chickpea stem. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4):, 19(4), 187-192.
- Annoussamy, M., Richard, G., Recous, S., & Guerif, J. (2000). Change in mechanical properties of wheat straw due to decomposition and moisture. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(6), 657-664.
- Azadbakht, M., Esmaeilzadeh, E., & Esmaeili-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.
- Azadbakht, M., Rezaei Asl, A., & Tamaskani Zahedi, K. (2014). Energy requirement for cutting corn stalks (Single Cross 704 Var.). *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 8(5), 470-482.
- Blessy, D. R., Spandana, A., Gopaladas, V., Ravindrabharathi, P., & Sravan Kumar, E. C. (2019). Development and evaluation of pendulum type impact shear test apparatus. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(6), 1436-1441.
- Bright, R. w., & Kleis, R. W. (1964). Mass shear strength of haylage. *Transaction of the ASAE*, 7(2), 100-101.
- Chakraverty, A., Singh, P. R., Raghavan, G. S. V., & Ramaswamy, H. S. (2003). *Handbook of postharvest technology* (1st ed.). Marcel dekker inc.
- Chandio, F. A., Changying, J., Tagar, A. A., Mari, I. A., Guangzhao, T., & Minh Cuong, D. M. (2013). Comparison of mechanical properties of wheat and rice straw influenced by loading rates. *African Journal of Biotechnology*, 12(10), 1068-1077.
- Chattopadhyay, P. S., & Pandey, K. P. (1999). Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation. *Jornal of Agricultural Engineering Research*, 73, 199-206, Article 3333333333.
- Chattopadhyay, P. S., & Pandey, K. P. (2001). Impact cutting behavior of sorghum stalk using a flail -cutter-a mathematical model and its experimental verification. *Jornal of Agricultural Engineering Research*, 78(4), 369-376.
- Dange, A. R., Thakare, S. T., & Bhasharrao, I. (2011). Cutting energy and force as required for pigeon pea stems. *Journal of Agricultural Technology.*, 7(6), 1485-1493.
- Dauda, S. M., Ahmad, D., Khalina, A., & Jamarei, O. (2014). Physical and mechanical properties of kenaf stems at varying moisture contents. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 4.
- Dobler, K. (1972). Der freie schnitt beim miihen von halmgut [Impact cutting in mowing forage crops]. *Hohenheimer Arbeiten, Heft 62, Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.*
- Duda, R., & Hart, P. (1972). Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15, 11-15.
- El Hag, H. E., Kunze, O. R., & Wilkes, L. H. (1971). Influence of moisture, dry matter density and rate of loading on ultimate sterngh of cotton stalks. *Trans of the ASAE*, 4(2), 713-716.
- Eshaghbeygi, A., Hoseinzadeh, B., khazae, M., & Masoumi, A. (2009). Bending and shearing properties of wheat of alvand variety. *world Applied sciences journal*, 6(8), 1028-1032.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (2004). Mechanics of materials. *Thomson Learning Inc, Belmont CA, USA.*
- Halyk, R. M., & Hulbut, I. W. (1968). Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems. *Trans. ASAE*, 11(2).
- Heidari, A., Chegini, G., & Kianmehr, M. H. (2012). Influence of knife bevel angle, rate of Loading and stalk section on some engineering parameters of lilium stalk. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(4),

334-341.

- Hematian, R., Najafi, G., Hoseinzadeh, B., Tavakoli, T., & 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., Esehaghbeygi, A., & Raghmi, N. (2009). Effect of moisture content, bevel angle and cutting speed on shearing energy of three wheat varieties. *world Applied sciences journal*, 7(9), 1120-1123.
- Hoseinzadeh, B., & Shirneshan, S. (2012). Bending and shearing characteristics of canola stem. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 12(3), 275-281.
- Ince, A., Ugurluay, S., Guzel, E., & Ozcan, M. T. (2005). Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering*, 92(2), 175-181. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.07.003>
- Jekendra, Y. (1999). Physical and rheological properties of forage crops with reference to cutting. *Arch. Zootec.*, 48, 75-78.
- Kaewwinud, N., Khokhajaikiat, P., & Boonma, A. (2017). Effect of moisture and region of cut on cassava stalk properties in biomass applications. *Res. Agr. Eng.*, 63, 23-28.
- Kamandar, M. R., & Massah, J. (2017). Sensor based definition of buxus stem shearing behavior in impact cutting process. *CIGR Ejournal*.
- Kamandar, M. R., Massah, J., & Khanali, M. (2018). Quasi-static and impact cutting behavior definition of privet stem. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1), 70-80.
- Kelenin, N. I., Popov, I. F., & Sakun, V. A. (1986). Agricultural machines (Theory of operation, computation of controlling parameters and the conditions of operation) (Vol. 2).
- Khaeso, K., & Laloon, K. (2019). *Effect of moisture to shear strength trend of Khao Dok Mali 105 stems* The 12th TSAE International Conference.
- Khazaei, J., Rabani, H., Ebadi, A., & Golbabaie, F. (2002). Determining the shear strength and picking force of pyrethrum flower. *Iranian J. Agric. Sci.*, 33(3), 433-444.
- Kushwaha, R. L., Vaishnav, S. A., & Zoreb, G. C. (1983). Shear strength of wheat straw. *Canadian Agricultural Engineering*, 25(2), 163-166.
- Lubis, A., Tineke Mandang, T., Hermawan, W., & Sutrisno. (2020). Study of the physical and mechanical characteristics of patchouli plants. *AIMS Agriculture and Food*, 6(2), 525-537.
- Majumdar, M., & Dutta, R. K. (1982). Impact cutting energy of paddy and wheat by a pendulum type dynamic test. *j. Agr. Engng Res.*, 19(4), 258-264.
- Mathanker, S. K., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2015). Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. *Biosystems Engineering*, 133, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.03.003>
- McRandal, D. M., & McNulty, P. B. (1978a). Impact cutting behavior of forage crops-mathematical models and laboratory tests. *j. Agr. Engng Res.*, 23, 313-328.
- McRandal, D. M., & McNulty, P. B. (1978b). Impact cutting behavior of forage crops: field tests. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23, 329-338.
- McRandal, D. M., & McNulty, P. B. (1980a). Mechanical and Physical properties of grasses. *Trans. am.Soc.Agric.Engrs*, 23(4), 5.
- McRandal, D. M., & McNulty, P. B. (1980b). Mechanical and physical properties of grasses. *ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 23(4), 816-821.
- Mohsenin, N. N. (1963). Physical properties of plant and animal materials. *Gordon and Breach Science Publishers, New York*.
- Nazari Galedar, M., Tabatabaefar, A., Jafari, A., sharifi, a., & Rafiee, S. (2008). Bending and shearing characteristics of alfalfa stems. *Agicultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript FP 08 001*, X.
- Nisha, N., & Saravanakumar, M. (2019). An investigation on the effect of moisture content, crop diameter and cutting speed on cutting force of finger millet stem. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, 9(3), 187-192.
- Nowakowski, T. (2012). Specific energy for cutting stems of the basket willow (*Salix viminalis* L.). *Ann. Warsaw Univ. Life Sci.*, 60, 25-33.
- O' degherty, M. J., Hubert, J. A., Dyson, J., & Marshall, C. J. (1995). A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62, 133-142.
- Oyefeso, B. O., Akintola, A., Afolabi, M. G., Ogunlade, C. A., Fadele, O. K., & Odeniyi, O. M. (2021). Influence of the moisture content and speed on the cutting force and energy of tannia cormels. *Research*



- in *Agricultural Engineering*, 67, 2021 (3):, 67, 123–130.
- Pavilist, A. D. (2002). Skin set elevaiton by skin shear measurements. *American Jornal of Potatos Research*, 35(2), 115-129.
- Persson, s. (1987). Mechanics of cutting plant material. *ASAE Monograph No.7. St Joseoh, MI*
- Prasad, J., & Gupta, C. P. (1975). Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20(1), 79-87. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(75\)90098-0](https://doi.org/10.1016/0021-8634(75)90098-0)
- Preethi, R., Saravanakumar, M., Kamaraj, P., & Vallal Kannan, S. (2021). Effect of stem diameter, moisture content and cutting speed on cutting force for groundnut harvesting. *Madras Agricultural Journal*, 108(7-9), 365-369.
- Ramachandran, S., & Asokan, D. (2020). Investigation on effect of stroke length, cutter bar speed, moisture content of crop and stem diameter on cutting force for development of bengal gram harvester. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(2), 33-37.
- Ranganna, B., Karunanithi, G., & Norris, E. R. (1995). Mechanical properties of paddy stem. *Agricultural Engineering Journal*, 11(6), 29-40.
- Sessiz, A., Elicin, A. K., Esgici, R., Ozdemir, G., & Nozdrovicky, L. (2013). Cutting properties of olive sucker. *Acta technologica agriculturae*, 3, 82-86.
- Shah, D. U., Reynolds, T. P. S., & Ramage, M. H. (2017). The strength of plants: Theory and experimental methods to measure the mechanical properties of stems. *J. Exp. Bot.*, 68, 4497–4516.
- Shahbazi, F., & Nazari Galedar, M. (2012). Bending and shearing properties of safflower stalk. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4), 743-754.
- Sitkei, G. (1986). Mechanics of agricultural materials. *Elsevier Science Publishers*, 445-450.
- Skubisz, G. (2001). Development of studies on the mechanical properties of winter rape stems. *Internatinal Agrophysics*, 15, 197-200.
- Soleimani Khardan, N. (2024). Shear properties investigation of sesame stem by considering to quasi-static and impact cutting processes. M.Sc Theses, University of Jiroft, Jiroft (in Persian).
- Soleimani, N., Kamandar, M. R., Khoshnam, F., & Soleimani, A. (2023). Defining and modelling sesame stalk shear behaviour in harvesting by reciprocating cutting blade. *Biosystems Engineering*, 229, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.008>
- Sravan Kumar, c., Prakash, K. V., Reddy, S., Sushilendra, S., Vijaykumar, P., Krishnamurty, K., & Nemichandrappa, M. (2022). Bending and cutting characteristics of the cotton stalk. *Ecology Environment and Conservation*, 28(November Suppl.), S51-S57.
- Sushilendra, S., Veerangouda, M., Bhavya, B., & Manjunatha, K. (2020). Effect of blade type, cutting velocity and stalk cross sectional area of black gram stalks on cutting energy and cutting force. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(6), 650-659.
- Tabatabaee Koloor, R., Borgheie, A. M., Alimardani, R., Rajabipoor, A., Mobli, H., & Allameh, A. R. (2005). Investigating the effects of velocity and blade bevel angle on stem shear strength of different rice varieties. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(23), 99-112 (in Persian).
- Tabatabaee Koloor, R., & Borgheie, A. M. (2006). Measuring the static and dynamic cutting force of stems for Iranian rice varieties. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8(3), 193-198.
- Tado, C. J. M., Wacker, P., Kutzbach, H. D., & Suministrado, D. C. (1998). Development of stripper harvesters: A review. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 71, 103-112.
- Taghi jarah, H., Ahmadi, H., Ghahderijani, M., & 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.
- Taghinezhad, J., Alimardani, R., & 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.
- Taghinezhad, J., Alimardani, R., & Jafari, A. (2014). Models of mechanical cutting parameters in terms of moisture content and cross section area of sugarcane stalks. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 16(1), 280—288.
- Tavakoli, H., Mohtasebi, S. S., & Jafari, A. (2008). Comparison of mechanical properties of wheat and barley straw. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 10, 1-9.
- Tavakoli, H., Mohtasebi, S. S., & Jafari, A. (2009). Effect of moisture content and loading rate on the shearing characteristics of barley straw by internode position. *Agicultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1176, XI*.
- Tavakoli, M., Tavakoli, H., Azizi, M. H., & Haghayegh, G. H. (2010). Comparison of mechanical properties between two varieties of rice straw. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 50-54.
- Telangi, N. K., Din, M., Agarwal, K. N., Kumar, M., Kumar, M., & Singh, D. (2023). Effects of moisture

- content and stem diameter on mechanical properties of chickpea plants for harvester development. *Legume Research- An International Journal*. <https://doi.org/10.18805/LR-5092>
- Tunde-Akintunde, T. Y., & Akintunde, B. O. (2004). Some physical properties of sesame seed. *Biosystems Engineering*, 88(1), 127-129.
- Vale Ghoghedi, H., Hassan Beygi Bidgoli, S. R., Saeidirad, M. H., & Kianmehr, M. H. (2010). Shear strength of stem and picking force for saffron flowers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1(3), 41-54.
- Wanyuan, H., Shuo, Q., Dezhi, R., Yuanjuan, G., Xuwei, B., & Wei, W. (2021). Optimization of shearing parameters of corn stalks based on desirability function approach. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 64(2).
- Yiljep, Y. D., & 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., & Cagiran, M. I. (2009b). 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.
- Younesade, Y. (2024). Investigating of reciprocating cutting blade shear force on seed fall and mechanical properties of sesame stalk. M.Sc Theses, University of Jiroft, Jiroft (in Persian).
- Yunfeng, X., Xiliang, Z., Xiaojia, S., Jizhang, W., Jizhan, L., Zhiguo, L.,...Pingping, L. (2016). Tensile mechanical properties of greenhouse cucumber cane. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(51), 1-5.
- Zhang, C., Chen, L., Xia, J., & Zhang, J. (2019). Effects of blade sliding cutting angle and stem level on cutting energy of rice stems. *Int J Agric & Biol Eng*, 12(6), 75-81.
- Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Sun, D., & Hou, H. (2018). Effects of stem region, moisture content and blade oblique angle on mechanical cutting of millet stems. *Inmateh-Agricultural Engineering*, 55(2).
- Zhao, J., Huang, D., Jia, H., Zhuang, J., & Guo, M. (2017). Analysis and experiment on cutting performances of high-stubble maize stalks. *Int J Agric & Biol Eng*, 10(1), 40-52.
- Zhou, D., Jing, C., J., S., She, J. K., Tong, J., & Chen, X. Y. (2012). Temporal dynamics of shearing force of rice stem. *Biomass Bioenergy*, 47, 109-114.