

# بررسی تاثیر مشخصه‌های ساقه و تیغه بر مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص گیاه سویا

رضا طباطبائی کلور<sup>۱\*</sup> و علیرضا کلوری<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۳

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\* مسئول مکاتبه r.tabatabaei@sanru.ac.ir

## چکیده

در این تحقیق، مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص ساقه سویا برای مشخصه‌های ساقه و تیغه شامل دو زاویه استقرار ساقه (۹۰ و ۴۵ درجه)، چهار ارتفاع برش (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر از سطح زمین)، سه زاویه لبه تیغه (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) و سه سرعت برشی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه) در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی و تعیین شدند. نتایج نشان داد مقاومت برشی با افزایش ارتفاع برش کاهش و با افزایش زاویه لبه تیغه افزایش می‌یابد. به طوریکه کمترین مقدار آن برای ارتفاع برش ۳۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه ۲۰ درجه برابر با ۱/۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع و بیشترین مقدار آن در ارتفاع برش ۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه ۴۰ درجه برابر با ۳/۹۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع بدست آمد. با افزایش سرعت برشی در هر دو وضعیت استقرار ساقه، مقاومت برشی کاهش یافته، بطوریکه کمترین مقدار آن برای سرعت برشی ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و برای زاویه استقرار ۴۵ درجه برابر با ۱/۶۷ نیوتن بر میلی‌متر مربع بدست آمد. انرژی برشی مخصوص از ۳۳/۵ میلی ژول بر میلی‌متر مربع در زاویه لبه ۴۰ درجه و زاویه استقرار ۹۰ درجه به ۷/۵ میلی ژول بر میلی‌متر مربع در زاویه لبه ۲۰ درجه و زاویه استقرار ۴۵ درجه کاهش یافت. بیشترین مقدار انرژی برش مخصوص در سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه و زاویه استقرار ۹۰ درجه برابر با ۲۹/۷ میلی ژول بر میلی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در سرعت ۱۵ میلی‌متر در دقیقه و زاویه استقرار ۴۵ درجه برابر با ۱۳/۲۴ میلی ژول بر میلی‌متر مربع بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع برش، انرژی برشی مخصوص، زاویه لبه تیغه، سویا، مقاومت برشی.

غیره دارد (اینچ و همکاران، ۲۰۰۵). سینماتیک تیغه، از جمله زاویه لبه، شکل لبه، فاصله تیغه و ضدتیغه، سرعت تیغه و برخی عوامل دیگر نیز بر فرآیند برش مؤثر هستند (ووماک و همکاران، ۲۰۰۵؛ ایگاسیناسان و همکاران، ۲۰۱۰).

بررسی و تحلیل تأثیر عوامل مختلف تیغه و محصول بر روی خواص برشی محصولات کشاورزی توسط سینتیکی (۱۹۸۶) و پرسان (۱۹۸۷) انجام گرفته است. سامرز و همکاران (۲۰۰۲) خواص برشی کلش برنج را در نزدیکی گره‌های ساقه بررسی کردند. آنها دریافتند که محل برش و تعداد ساقه‌ها بر روی فرآیند برش تأثیرگذار است. اثر رطوبت ساقه و ارتفاع برش بر روی خواص مکانیکی ساقه یونجه توسط نظری گله‌دار و همکاران (۲۰۰۸) بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت و ارتفاع برش مقاومت برشی کاهش پیدا کرد. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) اثر رقم گندم، رطوبت ساقه، زاویه لبه تیغه و سرعت برشی را توسط یک آونگ پاندولی بر انرژی برشی کلش گندم بررسی کردند. نتایج یافته‌های آنها نشان داد که اثرات رقم،

## ۱- مقدمه

سویا یکی از دانه‌های روغنی مهم در ایران است که سالیانه حدود ۱۶۳ هزار تن از ۷۶ هزار هکتار سطح زیر کشت تولید می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۰). برای برداشت سویا معمولاً کمباین‌های غلات را با انجام تنظیم‌ها و تغییرهایی مورد استفاده قرار می‌دهند. از این رو، یکی از چالش‌های مهم در استفاده از این کمباین‌ها میزان مؤثر بودن مکانیزم برش ساقه‌ها است؛ چرا که ساقه‌های غلات و سویا از نظر آگروتکنیکی با هم تفاوت دارند.

برای طراحی مناسب و بهینه‌سازی سیستم‌های موجود برداشت به ویژه مکانیزم برش، داشتن اطلاعات کافی در مورد خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول اهمیت زیادی دارد. بعضی از عوامل مؤثر در فرآیند برش مربوط به خصوصیات فیزیکی ساقه بوده و برخی دیگر به سینماتیک تیغه بستگی دارد. خصوصیات فیزیکی ساقه بستگی به نوع ماده، مرحله رشد، درصد رطوبت، سطح مقطع عرضی، جرم واحد طول و محل برش ساقه و

ارتفاع برش از سطح زمین و نیز سرعت برشی و زاویه لبه تیغه بر مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص گیاه سویا می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- نمونه‌ها

نمونه‌های ساقه، از مزارع سویا واقع در دشت ناز مازندران در فصل برداشت (تابستان ۹۱) تهیه شدند. ساقه‌ها بطور تصادفی توسط یک قیچی از پائین‌ترین نقطه نسبت به سطح زمین برداشت و بلافاصله جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل شدند. قطر نمونه‌ها در محل برش اندازه‌گیری شده و سپس رطوبت نمونه‌ها (۳ نمونه ۱۵۰ گرمی) بر مبنای وزن تر با استفاده از روش خشک کردن در آن در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  به مدت ۷۲ ساعت تعیین شد (ASAE, ۲۰۰۰). دمای محیط آزمایشگاه  $27^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی آن ۶۷٪ بود. نمونه ساقه‌ها با جدا کردن برگ و ساقه‌های جانبی برای هر یک از تیمارها در سه تکرار آماده شد.

### ۲-۲- برش ساقه

برای انجام عمل برش ساقه و ثبت نیروی برش از یک مکانیزم برشی مطابق شکل ۱ استفاده شد. این مکانیزم از یک تیغه برشی نصب شده بر روی تسمه تشکیل شده که در مقابل یک تیغه ثابت دیگر (ضد تیغه) حرکت می‌کند. ضد تیغه بر روی یک گیره ثابت نصب شد که همزمان برای نگهداری ساقه نیز بکار می‌رفت. فاصله آزاد بین تیغه و ضد تیغه به مقدار ۰/۵ میلی متر تنظیم شد. نیروی برش ساقه توسط یک لودسل یک کیلو نیوتنی ثبت می‌شد که به یک دستگاه آزمون کشش- فشار با قابلیت تنظیم سرعت کششی توسط اینورتور وصل بود. میزان جابجایی تیغه نیز توسط یک خط کش دیجیتالی با دقت یک صدم ثبت شد.

### ۲-۳- پارامترهای تیغه و ساقه

از جمله پارامترهای تیغه که معرف تیزی تیغه می‌باشد زاویه لبه آن است (شکل ۲-ب). در این تحقیق، از تیغه‌هایی با ضخامت ۲/۵ میلی متر و از جنس فولاد C60W با سختی لبه ۴۸ راکول استفاده شد (ولی‌نژاد، ۱۳۸۰) که در بازار موجود بود و توسط دستگاه زاویه زن زوایای لبه  $(\theta)$  ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه ایجاد شد.

زاویه لبه تیغه، رطوبت و سرعت برشی بر انرژی برشی معنی‌دار است. اسحاق‌بیگی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش برشی ساقه‌های گندم با کاهش رطوبت کاهش پیدا کرده و نیروی برشی ساقه‌ها با افزایش ارتفاع برش افزایش می‌یابد.

بسیاری از محققان گزارش نموده‌اند که زاویه لبه تیغه بر نیروی برش و در نتیجه مقاومت و انرژی برشی در گیاهان مختلف از جمله گندم (مینائی و جعفری، ۱۳۷۵؛ ادوگرتی و همکاران، ۱۹۹۵)، برنج (طباطبائی کلور و همکاران، ۱۳۸۴؛ لی و یان، ۱۹۸۴)، سورگم (چادوپادای و پانندی، ۱۹۹۹) و ذرت (ایگاسیناسان و همکاران، ۲۰۱۰) موثر است. در مورد گیاه سویا اثر زاویه لبه تیغه گزارش نشده است.

معمولاً با تغییر سرعت برش، فشردگی اولیه و در نتیجه اینرسی مواد و رفتار پلاستیک آنها تغییر می‌کند (سیتکی، ۱۹۸۶). اثر سرعت برشی بر مقاومت برشی گیاهان زراعی توسط برخی محققان گزارش شده است (طباطبائی کلور و برقی، ۲۰۰۵؛ ماجومدار و داتا، ۱۹۸۲؛ ویسواناسان و همکاران، ۱۹۹۶).

چن و همکاران (۲۰۰۴) حداکثر نیرو و انرژی برشی کل برای ساقه کنف را به ترتیب ۲۴۳ نیوتن و ۲/۱ ژول بدست آوردند. مک رندل و مک نالتی (۱۹۸۰) مقاومت برشی و انرژی برشی برای علوفه را به ترتیب ۱۶ مگاپاسکال و ۱۲ میلی ژول بر میلی متر مربع بدست آوردند. اینچ و همکاران (۲۰۰۵) مقاومت برشی و انرژی برشی را در پنج سطح رطوبتی برای ساقه آفتابگردان اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داده که تنش و انرژی برشی با افزایش رطوبت افزایش پیدا می‌کند. مقادیر حداکثر مقاومت برشی و انرژی برشی ساقه آفتابگردان به ترتیب ۱/۰۷ مگاپاسکال و ۱۰/۰۸ میلی ژول بر میلی متر مربع بدست آمد. هالیک و هالبات (۱۹۶۸) مقاومت برشی حداکثر ساقه یونجه را بین ۰/۴ الی ۱۸ مگاپاسکال گزارش کردند. ایگاسیناسان و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر زاویه قرارگیری ساقه ذرت را بر نیرو و انرژی برشی در فواصل بین گره‌ها بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد در صورتیکه ساقه با زاویه  $45^{\circ}$  نسبت به تیغه قرار گیرد نیرو و انرژی برش حدود ۵۰ درصد کمتر است.

برای تعیین پارامترهای کاری و بهینه‌سازی مکانیزم برش کمباین‌های برداشت غلات که برای برداشت سویا نیز بکار می‌روند داشتن اطلاعات لازم در خصوص تاثیر پارامترهای ساقه و تیغه و تاثیر آنها بر نیرو و انرژی برش گیاه سویا بسیار مهم است. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر تغییر زاویه استقرار ساقه و

قرار گرفته باشد ( $\alpha = 45^\circ$ ) نیرو بر سطح مقطع تصویر  $\frac{S}{\cos\alpha}$  تقسیم می‌شود (اینچ و همکاران، ۲۰۰۵).

انرژی برش ساقه گیاه را می‌توان از رابطه بین نیروی برش و جابجایی تیغه بدست آورد. در فرایند برش ابتدا ماده فشرده شده تا به نقطه شروع گسیختگی برسد و سپس با نفوذ تیغه داخل ساقه عمل برش انجام می‌گیرد. این دو مرحله را می‌توان در نمودار برش استاتیکی (شکل ۳) مشاهده کرد که در آن ابتدا تیغه موجب فشرده شدن ساقه تا یک فاصله شده و پس از غلبه بر مقاومت برشی ساقه (سطح  $A_1$ )، برش موثر آغاز می‌شود (سطح  $A_2$ ). کار لازم برای برش عبارتست از سطح کل زیر منحنی نیرو - جابجایی و از رابطه زیر به دست می‌آید (چن و همکاران، ۲۰۰۴).

$$E = A_1 + A_2 \quad (1)$$

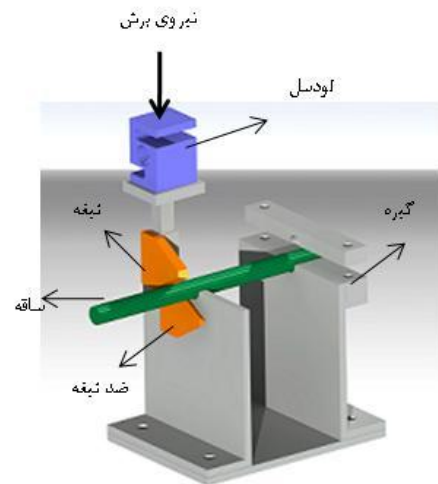
انرژی برشی مخصوص توسط رابطه زیر و با تقسیم کار کل (E) بر سطح مقطع عرضی برش (S) بدست می‌آید.

$$E_s = E/S \quad (2)$$

نمودارهایی که برای برآورد انرژی برش ساقه‌ها توسط ایگاسیناسان و همکاران (۲۰۱۰) برای ساقه ذرت، اینچ و همکاران (۲۰۰۵) برای ساقه آفتابگردان و چن و همکاران (۲۰۰۴) برای ساقه کنف بدست آمده است نتلفن دهنده روند تغییرات نسبتا مشابهی است. همه این محققان استدلال کردند که فرایند برش در سه مرحله فشار، فشار- برش و برش نهایی صورت می‌گیرد که در مرحله فشار تیغه نیروی زیادی برای نفوذ به داخل ساقه صرف می‌کند و سپس با نفوذ و برش نیرو به تدریج کاهش می‌یابد و با اتمام برش نیرو به صفر می‌رسد.

## ۲-۵- تحلیل داده‌ها

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای ساقه و تیغه بر مقاومت و انرژی برشی مخصوص ساقه از طرح کاملا تصادفی با آزمایش فاکتوریل و در سه تکرار استفاده شد. تیمارهای مربوط به ساقه شامل ارتفاع برش در چهار سطح (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر از سطح زمین)، زاویه استقرار ساقه در دو سطح ( $45^\circ$  و  $90^\circ$ )، و تیمارهای مربوط به تیغه شامل زاویه لبه در سه سطح (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) و سرعت برشی در سه سطح (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی متر بر دقیقه) در نظر گرفته شدند. اثرات اصلی و متقابل تیمارها با استفاده از تجزیه واریانس توسط نرم افزار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده برای پارامترهایی که دارای اثرات اصلی و متقابل معنی داری بودند بصورت جداول و نمودارهایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون



شکل ۱: مکانیزم برش ساقه

سرعت برشی تیغه نیز از دیگر عوامل موثر بر نیروی برش است. سرعت برشی توسط یک کنترل کننده دور الکتروموتور (اینورتور) تنظیم شد تا سرعت‌های خطی ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی متر در دقیقه تامین شود.



شکل ۲: نمایش (الف) زاویه استقرار ساقه و (ب) زاویه لبه تیغه نسبت به خط افقی

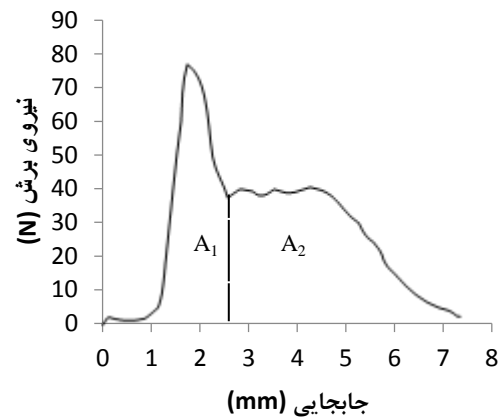
زاویه استقرار ساقه (شکل ۲- الف) در مزرعه ممکن است تحت تاثیر عوامل مختلف گیاهی و محیطی تغییر کند و به عبارتی محصول ورس داشته باشد. با فرض اینکه ممکن است ساقه لزوماً به صورت کاملاً عمودی قرار نگیرد لذا در هنگام برش سطح مقطعی که توسط تیغه بریده می‌شود تغییر خواهد کرد. این تغییر سطح مقطع می‌تواند بر مقاومت و انرژی برش موثر باشد. اثر زاویه استقرار ساقه ذرت بر خواص برشی توسط ایگاسیناسان و همکاران (۲۰۱۰) بررسی شده است. در این تحقیق زاویه استقرار ساقه ( $\alpha$ ) در دو سطح  $45^\circ$  و  $90^\circ$  در نظر گرفته شد. برای زوایای کمتر از  $45^\circ$  محصول خوابیده محسوب می‌شود و مناسب برداشت مکانیزه نمی‌باشد.

## ۲-۴- تعیین مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص

تنش برشی ساقه در حالتی که ساقه کاملاً قائم قرار گرفته باشد ( $\alpha = 90^\circ$ ) از تقسیم حداکثر نیروی برشی بر سطح مقطع برش ( $S = \pi d^2/4$ ) بدست می‌آید. چنانچه ساقه به صورت مایل

باشد الیاف فیبری آن ضخیم تر شده و در نتیجه نیروی لازم برای برش ساقه نیز بیشتر می شود. بر این اساس در ارتفاع برش پایین- تر (۵ سانتی متر) و بالاتر (۳۵ سانتی متر) داده های مربوط به قطر ساقه ها و در نتیجه ضخامت الیاف فیبری تغییرات قابل ملاحظه ای را نشان می دهد. از این رو، با افزایش ارتفاع برش از ۵ به ۳۵ سانتی متر مقاومت برشی از ۲/۹ به ۱/۳۴ نیوتن بر میلی- متر مربع کاهش یافت. مطابق شکل ۴ بین مقاومت برشی در ارتفاع برش ۱۵ و ۲۵ سانتی متر تفاوت معنی داری وجود ندارد. دلیل این امر می تواند تفاوت جزئی قطر و سطح مقطع ساقه ها در این دو ارتفاع و نزدیک بودن ساختار الیاف فیبری در این بخش از ساقه باشد. اینچ و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی برای نواحی پایین، وسط و بالای ساقه آفتابگردان بدست آوردند و دلیل این امر را فیبرهای محکم تر و کلفت تر ساقه در نواحی پایین تر ساقه گزارش نمودند.

چند دامنه ای دانکن انجام شده و سطح احتمال معنی دار بودن  $P < 0.05$  در نظر گرفته شد.



شکل ۳: نمونه ای از منحنی نیروی برش - جابجایی مربوط به ساقه سویا

### ۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی اثر پارامترهای ساقه و تیغه بر مقاومت برشی و انرژی برشی مخصوص ساقه سویا در جدول ۱ نشان داده شده اند.

#### ۳-۱- مقاومت برشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل ارتفاع برش ساقه و زاویه لبه تیغه و نیز اثر متقابل زاویه استقرار ساقه و سرعت برشی بر مقاومت برشی ساقه سویا معنی دار است (جدول ۱). در شکل ۴ میانگین اثر متقابل ارتفاع برش و زاویه لبه تیغه برای مقاومت برشی ساقه نشان داده شده است.

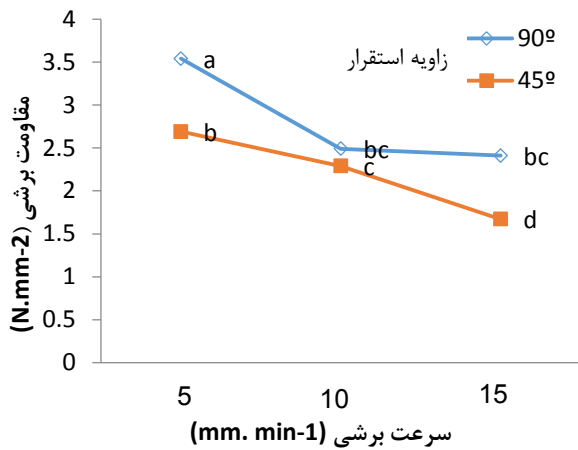
همان طور که در شکل ۴ مشخص است، مقاومت برشی با افزایش ارتفاع برش کاهش و با افزایش زاویه لبه تیغه افزایش یافته است. به طوریکه کمترین مقدار آن برای ارتفاع برش ۳۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه  $20^\circ$  برابر با ۱/۲ نیوتن بر میلی متر مربع و بیشترین مقدار آن در ارتفاع برش ۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه  $40^\circ$  برابر با ۳/۹۵ نیوتن بر میلی متر مربع بدست آمد. دلیل کاهش مقاومت برشی با افزایش ارتفاع برش این است که ساقه در نواحی بالاتر دارای بافت نازک تر و تردتر و در نواحی پائین تر نزدیک به زمین دارای بافت فیبری ضخیم تر و محکم تر است. پارسان (۱۹۸۷) ساختار ساقه را از لحاظ مقاومت در مقابل برش در یک مقطع عرضی به چهار بخش الیاف فیبری، پوست، سلولهای نرم و خلل و فرج تقسیم کرد که در این میان الیاف فیبری نقش مهمی در مقاومت برشی دارند. هر چه ساقه کلفت تر

#### جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس مربوط به مقاومت برشی و انرژی

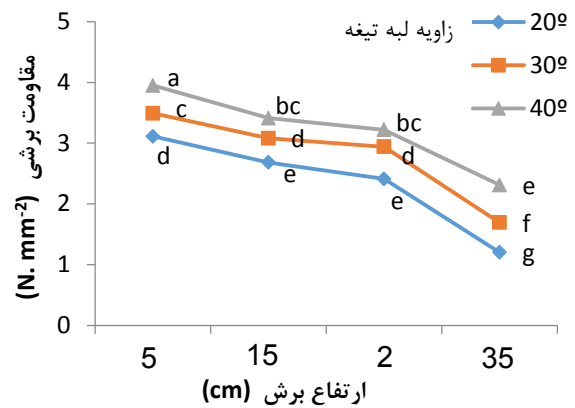
##### برشی مخصوص ساقه سویا

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
مقاومت برشی	انرژی برشی مخصوص		
۳۴/۵۱**	۸/۴۷**	۱	زاویه استقرار ساقه
۲۳/۲۱**	۴/۱۳*	۳	ارتفاع برش
۱/۱۴ <sup>ns</sup>	۱/۲۶ <sup>ns</sup>	۳	زاویه استقرار × ارتفاع برش
۱۵/۷۴**	۵/۸*	۲	زاویه لبه تیغه
۶/۲۳*	۲/۰۱ <sup>ns</sup>	۲	زاویه استقرار × زاویه لبه
۲/۰۸ <sup>ns</sup>	۴/۸۴*	۶	ارتفاع برش × زاویه لبه
۰/۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>ns</sup>	۶	زاویه استقرار × ارتفاع برش × زاویه لبه
۲۳/۷**	۱۰/۰۴**	۲	سرعت برشی
۵/۰۲*	۹/۲۶**	۲	زاویه استقرار × سرعت برشی
۱/۰۹ <sup>ns</sup>	۲/۱۳ <sup>ns</sup>	۶	ارتفاع برش × سرعت برشی
۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۵۲ <sup>ns</sup>	۶	زاویه استقرار × ارتفاع برش × سرعت
۱/۱۳ <sup>ns</sup>	۱/۵۱ <sup>ns</sup>	۴	زاویه لبه × سرعت برشی
۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۶۲ <sup>ns</sup>	۴	زاویه استقرار × زاویه لبه × سرعت برشی
۰/۱۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۵ <sup>ns</sup>	۱۲	ارتفاع برش × زاویه لبه × سرعت برشی
۰/۱۸۴ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۸ <sup>ns</sup>	۱۲	زاویه استقرار × ارتفاع × زاویه لبه × سرعت
		۱۴۲	خطا
		۲۱۲	کل

\*\* و \* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ / ns: غیر معنی دار



شکل ۵: اثر متقابل سرعت برشی و زاویه استقرار ساقه بر مقاومت برشی ساقه سویا



شکل ۴: اثر متقابل ارتفاع برش و زاویه لبه تیغه بر مقاومت برشی ساقه سویا

این نتیجه نشان می‌دهد که ترکیب سرعت بالا و برخورد زاویه‌دار تیغه و ساقه شرایط برش را بهبود می‌بخشد. معمولاً در فرایند برش برای اینکه نیروی برشی کمتری اعمال شود و برش آسانتر انجام گیرد بهتر است یا تیغه بصورت زاویه دار بر جسم ضربه وارد کند و یا با سرعت بیشتری به جسم برخورد کند.

بطور کلی در برش محصولات کشاورزی معمولاً سرپا بودن یا خوابیدگی محصول را شرایط مزرعه‌ای تعیین می‌کند بنابراین می‌توان تغییرات مربوط به سرعت برش و زاویه برخورد تیغه با ساقه را در مکانیزم‌های برشی در نظر گرفت. همچنین، علیرغم اینکه مقاومت ساقه‌ها در قسمت‌های بالاتر ساقه کمتر می‌باشد اما با توجه به اینکه گیاه سویا ممکن است دارای ساقه‌های فرعی در نواحی پائین باشد لذا مشاهده‌ها نشان می‌دهد که بهتر است برداشت این محصول تا حد ممکن نزدیک به سطح زمین انجام شود و طراحی مکانیزم‌های برشی بایستی بر اساس مقاومت برشی این نواحی که خشبی‌تر هستند صورت پذیرد.

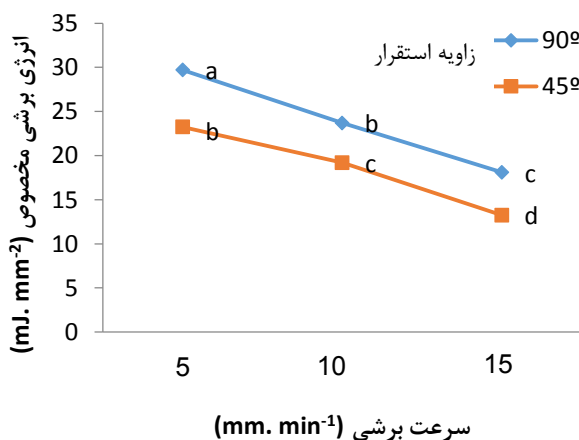
### ۳-۲- انرژی برش مخصوص

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل زاویه لبه تیغه و زاویه استقرار ساقه بر انرژی برش مخصوص ساقه سویا در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است (جدول ۱). در شکل ۶ میانگین اثر متقابل زاویه لبه تیغه و زاویه استقرار ساقه بر انرژی برش مخصوص ساقه نشان داده شده است.

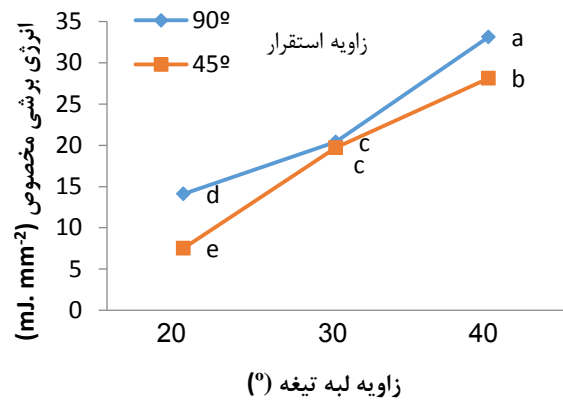
مطابق شکل ۵ با افزایش سرعت برشی در هر دو وضعیت استقرار ساقه مقاومت برشی کاهش یافته است بطوریکه کمترین مقدار آن برای سرعت برشی ۱۵ میلی متر بر دقیقه و برای زاویه استقرار ۴۵° برابر با ۱/۶۷ نیوتن بر میلی متر مربع بدست آمد. دلیل این کاهش این است که در سرعت‌های بالاتر، نفوذ تیغه به داخل ساقه در مقایسه با سرعت‌های کمتر آسانتر بوده و شکافت فیبرهای سطح ساقه در اثر برخورد سریع آنی بوده و برش با مقاومت کمتری انجام می‌گیرد. بعلاوه، وقتی ساقه بصورت زاویه دار استقرار می‌یابد مثل این است که تیغه با زاویه برش (یا زاویه تمایل) به ساقه برخورد کند که در این حالت در مقایسه با برخورد مستقیم و عمود بر هم نیاز به نیروی برش کمتری دارد و در نتیجه مقاومت برشی کاهش می‌یابد. مک رندل و مک نالتی (۱۹۸۰) دلیل کمتر بودن مقاومت برشی ساقه‌های گیاهی در سرعت‌های بالا را کم شدن ضریب اصطکاک بین لبه تیغه و ساقه بیان کردند. همچنین، آنها نتیجه‌گیری کردند که وقتی تیغه بصورت مستقیم به ساقه برخورد می‌کند موجب فشرده شدن الیاف فیبری شده که این امر موجب افزایش نیروی برش در لحظه برخورد می‌شود. لی و یان (۱۹۸۴) و طباطبائی کلور و برقی (۲۰۰۵) گزارش کردند که با افزایش سرعت برشی مقاومت برشی و توان مورد نیاز برای برش ساقه‌های برنج کاهش می‌یابد.

لحظه شروع برش بسیار مهم است چرا که ایاف فیبری ساقه‌های گیاهی معمولاً بصورت دسته‌هایی در راستای محور ساقه قرار می‌گیرند. برای برش این دسته ایاف چنانچه این ایاف در مقابل تیغه بصورت زاویه دار قرار گیرند، فرایند برش تسهیل می‌شود؛ به عبارت دیگر به انرژی برش کمتری نیاز می‌باشد. چنسلور (۱۹۸۷) نشان داد که قرارگیری ساقه در وضعیت  $45^\circ$  نسبت به حالت مستقیم موجب کاهش ۳۰ درصدی انرژی برش علوفه می‌شود. کاهش ۶۱ درصدی انرژی برشی مخصوص با تغییر زاویه از حالت عمود به حالت  $45^\circ$  درجه در تحقیق ایگاسیناسان و همکاران (۲۰۱۰) برای ساقه ذرت گزارش شده است.

در شکل ۷ اثر متقابل سرعت برشی و زاویه استقرار بر انرژی برشی مخصوص ساقه نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت برشی از ۵ به ۱۵ میلی متر بر دقیقه و تغییر زاویه استقرار ساقه از حالت قائم به  $45^\circ$  انرژی برشی مخصوص کاهش یافت. بیشترین مقدار انرژی برش مخصوص در سرعت ۵ میلی متر بر دقیقه و زاویه استقرار  $90^\circ$  برابر با ۲۹/۷ میلی ژول بر میلی متر مربع و کمترین مقدار آن در سرعت ۱۵ میلی متر بر دقیقه و زاویه استقرار  $45^\circ$  برابر با ۱۳/۲۴ میلی ژول بر میلی متر مربع بدست آمد. دلیل این کاهش این است که در سرعت‌های بالاتر، نفوذ تیغه به داخل ساقه در مقایسه با سرعت‌های کمتر آسانتر بوده و شکافت فیبرهای سطح ساقه در اثر برخورد سریع آنی بوده و برش با مقاومت کمتری انجام می‌گیرد. بعلاوه، این فرایند در اثر قرار گرفتن ساقه بصورت مایل تشدید شده و با توجه به استدلال‌های بیان شده در بخش‌های قبل موجب تسهیل عمل برش و کاهش نیرو و انرژی برش می‌شود. از آنجا که زمان برخورد بسیار کوتاه تر می‌شود لذا انرژی برشی نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد.



شکل ۷: اثر متقابل سرعت برشی و زاویه استقرار ساقه بر انرژی برشی مخصوص ساقه سویا



شکل ۶: اثر متقابل زاویه لبه تیغه و زاویه استقرار ساقه بر انرژی برشی مخصوص ساقه سویا

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که با کمتر شدن زاویه لبه تیغه برای هر دو زاویه استقرار انرژی برشی مخصوص کاهش یافته است. انرژی برشی مخصوص از حداکثر مقدار خود یعنی ۳۳/۵ میلی ژول بر میلی متر مربع در زاویه لبه  $40^\circ$  به ۷/۵ میلی ژول بر میلی متر مربع در زاویه لبه  $20^\circ$  کاهش یافت. این کاهش حدود ۷۳٪ برای زاویه استقرار  $40^\circ$  و ۵۷٪ برای زاویه استقرار  $90^\circ$  (قائم) بدست آمد. دلیل این کاهش با توجه به شکل ۲-ب قابل توجیه است به طوری که با کاهش زاویه لبه تیغه ( $\theta$ ) نفوذ تیغه به داخل ساقه بویژه در لحظه برخورد آسانتر انجام شده و پس از نفوذ تیغه نیز ساقه مقاومت کمتری در مقابل سطح لبه تیغه از خود نشان می‌دهد چراکه نیروی عمود بر سطح لبه تیغه کمتر شده و موجب کاهش اصطکاک بین لبه و سطح مقطع ساقه می‌شود و در نتیجه انرژی کمتری برای برش صرف می‌شود. حال اگر ساقه را نیز بصورت زاویه دار قرار دهیم این عمل فرایند برش را تسهیل کرده و نیروی برش و در نتیجه انرژی برش را کاهش می‌دهد. بنابراین انتخاب زوایای کوچکتر در عمل بهتر است. اما از سوی دیگر، زوایای کمتر از  $20^\circ$  درجه نیز ممکن است بدلیل نازک شدن زیاد لبه موجب صدمه دیدن و سایش سریعتر تیغه شود که این موضوع توسط پرسان (۱۹۸۷) نیز برای مواد گیاهی بیان شده است. طباطبائی کلور و همکاران (۱۳۸۴) مقدار بهینه انرژی برش را در زاویه لبه  $25^\circ$  درجه برای ساقه‌های برنج، تاک (۱۹۷۸) در زاویه لبه  $25^\circ$  درجه برای ساقه یونجه و پراساد و گوپتا (۱۹۷۵) در زاویه لبه  $23^\circ$  درجه برای محصولات علوفه‌ای گزارش کردند.

بنابراین وقتی ساقه بصورت مایل قرار می‌گیرد، برای بریده شدن به انرژی کمتری نیاز دارد. چنانچه از تیغه تیزتر (با زاویه لبه کمتر) استفاده شود، شدت عمل را بیشتر می‌کند و بطور قابل ملاحظه‌ای عمل برش را تسهیل و انرژی برش را کاهش می‌دهد.

#### ۴- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که پارامترهای مربوط به ساقه و تیغه از جمله زاویه استقرار ساقه، ارتفاع برش، زاویه لبه تیغه، سرعت برشی و برخی از اثرات متقابل آنها بر مقاومت و انرژی برشی مخصوص ساقه سوپا تاثیر معنی‌داری دارند. بطور کلی نتایج ذیل بدست آمدند:

الف- کمترین مقدار مقاومت برشی برای ارتفاع برش ۳۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه ۲۰° برابر با ۱/۲ نیوتن بر میلی متر مربع و بیشترین مقدار آن در ارتفاع برش ۵ سانتی متر و زاویه لبه تیغه ۴۰° برابر با ۳/۹۵ نیوتن بر میلی متر مربع بدست آمد.

ب- کمترین مقدار مقاومت برشی برای سرعت برشی ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و برای زاویه استقرار ۴۵° برابر با ۱/۶۷ نیوتن بر میلی‌متر مربع بدست آمد.

ج- با کمتر شدن زاویه لبه تیغه برای هر دو زاویه استقرار انرژی برشی مخصوص کاهش یافته است. انرژی برشی مخصوص از حداکثر مقدار خود یعنی ۳۳/۵ میلی ژول بر میلی متر مربع در

زاویه لبه ۴۰° به ۷/۵ میلی ژول بر میلی متر مربع در زاویه لبه ۲۰° درجه کاهش یافت. این کاهش حدود ۷۳٪ برای زاویه استقرار ۴۵° و ۵۷٪ برای زاویه استقرار ۹۰° (قائم) بدست آمد.

د- افزایش سرعت برشی موجب کاهش انرژی برش مخصوص شد. بیشترین مقدار انرژی برش مخصوص در سرعت ۵ میلی متر در دقیقه و زاویه استقرار ۹۰° برابر با ۲۹/۷ میلی ژول بر میلی متر مربع و کمترین مقدار آن در سرعت ۱۵ میلی متر در دقیقه و زاویه استقرار ۴۵° برابر با ۱۳/۲۴ میلی ژول بر میلی متر مربع بدست آمد.

#### سپاس‌گزاری

در این تحقیق از همکاری مدیریت محترم کشت و صنعت دشت ناز ساری و نیز کمک‌های آقایان رمضان هادی‌پور جهت ساخت مکانیزم برش و روزبه عبدی برای انجام آزمایش‌ها قدردانی می‌شود.

#### منابع مورد استفاده

- بی‌نام-۱۳۹۰. آمارنامه کشاورزی: محصولات زراعی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸، دفتر آمار و فناوری اطلاعات، ویراسته علی رادمهر، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
- طباطبائی کلور، ر. ع. برقی، ر. علیمردانی، ح. مبلی، و ع. رجی پور- ۱۳۸۴. بررسی عوامل موثر بر نیرو و مقاومت برشی ساقه برنج، مجله علوم کشاورزی، سال ۱۱، شماره ۲، ۱۳۸۴.
- مینائی، س. و ک. جعفری نمین- ۱۳۷۵. اندازه‌گیری نیروی برش و طراحی سیستم برش ماشین برداشت آتریپلکس، اولین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، کرج، ۲۶-۲۸ مرداد ۱۳۷۵.
- ASAE. 2000. S358.3, *Moisture measurement-Forages*, ASAE STANDARS, St Joseph, MI, USA.
- Chadtapadhayay, P.K and K.P. Pandey. 1999. *Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation*. Journal of Agricultural Engineering Research. 73: 199-206.
- Chancellor, W.J. 1987. *Energy requirements for cutting forage*. Agricultural Engineering. 39(10): 633-640.
- Chen, Y., J. Luis and J. Liu. 2004. *Power requirements of hemp cutting and conditioning*. Biosystems Engineering. 87(4): 417-424.
- Eshaghbeigi, A., B. Hoseinzadeh, M. Khazaei and A. Masoomi. 2009. *Bending and shearing properties of alvand variety of wheat stem*. World Applied Sciences Journal. 6(8): 1028-1032.
- Halyk, R.M. and L.W. Hulbut. 1968. *Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems*. Transactions of the ASAE. 11(2): 256-261.
- Hoseinzadeh, B., A. Eshaghbeigi and N. Raghmi. 2009. *Effects of moisture content, bevel angle and cutting speed on shearing energy of three wheat varieties*. World Applied Sciences Journal. 7(9): 1120-1123.
- Igathinathan, C., R. Womac and S. Sokhansanj. 2010. *Corn stalk orientation effect on mechanical cutting*. Biosystems Engineering. 107: 97-106.

- Ince, A., S. Ugurluay, E. Guzel and M.T. Ozcan. 2005. *Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue*. Biosystems Engineering. 92(2): 175-181.
- Lee, S.W and H. Yan. 1984. *Threshing and cutting forces for Korean rice*. Transactions of the ASAE. 17(5): 1654-1658.
- Majumdar, M and R.K. Datta. 1982. *Impact cutting energy of paddy and wheat by a pendulum type dynamic test*. Journal of Agricultural Engineering. 19(4): 45-49.
- McRandal, D.M and P.B. McNulty. 1980. *Mechanical and physical properties of grasses*, Transactions of the ASAE. 23(4): 816-821.
- Nazari Galedar, M., A. Jafari, S.S. Mohtasebi, A. Tabatabaefar, A. Sharifi, M.J. O'Dogherti, S. Rafiee and G. Richard. 2008. *Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems*. Biosystems Engineering. 101(2): 199-208.
- O'Dogerty, M.J., J.A. Huber, J. Dyson and C.J. Marshal. 1995. *A study of physical and mechanical properties of wheat straw*. Journal of Agricultural Engineering Research. 62:133-142.
- Persson, S. 1987. *Mechanics of cutting plant material*, ASAE Monograph, No. 7, St. Joseph, Michigan. USA.
- Prasad, J and C.P. Gupta. 1975. *Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting*. Journal of Agricultural Engineering Research. 20(1): 79-87.
- Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier Sciences, New York. USA.
- Summers, M. D., B.M. Jenkins and M.W. Yore. 2002. *Cutting properties of rice straw*, Paper No. 026154, An ASAE meeting presentation.
- Tabatabaekoloor, R and A. Borghei. 2005. *Measuring the static and dynamic cutting force for Iranian rice varieties*. Journal of Agricultural Sciences and Technology. 8: 193-198.
- Tuck, C.R. 1978. *The effect of various design and operation parameters of mowers on cutting performance*. NIAE Departmental Note no DN/FC/906/03001.
- Visvanathan, R., V. V. Srrnnnarayan and K.R. Swaninathan. 1996. *Effects of knife angle and velocity on the energy required to cut cassava tuber*. Journal of Agricultural Engineering Research. 64: 99-102.
- Womac, A.R., M. Yu, C. Igathinathane, P. Hayes, D. Narayan, S. Sokhansanj and L. Wright. 2005. *Shearing characteristics of biomass for maize reduction*. ASAE Paper No. 056058, St. Joseph, USA.



# Investigating the Effect of Stem and Blade Parameters on the Shear Strength and Specific Cutting Energy of Soybean Plant

R. Tabatabaekolour<sup>1\*</sup> and A. R. Kolouri<sup>1</sup>

Received: 30 Apr 2013 Accepted: 24 May 2014

<sup>1</sup>Dept. of Agricultural Machinery, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

\*Corresponding author: r.tabatabaei@sanru.ac.ir

## Abstract

In this research, shear strength and specific cutting energy were determined for the factors including two stem orientations (45° and 90°), four cutting heights (5, 15, 25 and 35 cm above ground level), three bevel angles (20, 30 and 40°) and three shearing velocities (5, 10 and 15 mm min<sup>-1</sup>). A factorial experiment was used based on randomized complete design at three replications. The results showed that shear strength decreases by increasing cutting height and increases by increasing blade bevel angle. The minimum and maximum amount of shear strength were 1.2 and 3.95 N. mm<sup>-2</sup> at the cutting height of 35 and 5 cm and the bevel angle of 20° and 40°, respectively. Shear strength reduced by increasing shearing velocity at the both stem orientations. The minimum amount of shear strength was 1.67 N. mm<sup>-2</sup> for the shearing velocity of 15 mm. min<sup>-1</sup> and the stem orientation of 45°. The specific cutting energy reduced from 33.5 mJ. mm<sup>-2</sup> at the bevel angle of 40° and the orientation angle of 90° to 7.5 mJ. mm<sup>-2</sup> at the bevel angle of 20° and the orientation angle of 45°. The maximum specific cutting energy was 29.7 mJ. mm<sup>-2</sup> at the stem orientation of 90° and the shearing velocity of 5 mm min<sup>-1</sup>. Its minimum amount was 13.24 mJ. mm<sup>-2</sup> at the stem orientation of 45° and the shearing velocity of 15 mm.min<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Bevel angle, Cutting height, Shear strength, Specific cutting energy, Soybean