

بررسی تأثیر سرعت و نوع تیغه بر نیروی مورد نیاز برش ساقه

دو رقم نیشکر جنوب خوزستان

محمد جعفری، علی رجبی پور* و حسین مبلی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۰۲۶۱)۲۲۴۱۱۵، پیام‌نگار:

arajabi@ut.ac.ir

** به ترتیب مدرس مجتمع آموزش علمی کاربردی جهاد کشاورزی لرستان؛ دانشیار؛ و استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی

دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱۲

چکیده

محصولات و مواد کشاورزی در دوران رشد خود در معرض بارگذاری‌های طبیعی قرار دارند و به هنگام برداشت و پس از آن نیروهای مکانیکی مختلف به آنها وارد می‌شود. یکی از این محصولات نیشکر است که برای برداشت آن نیروی برشی زیادی مورد نیاز است. بهینه‌سازی و ساخت ابزار برش در ماشین‌های برداشت نیشکر نیاز به مطالعات اساسی پارامترهای مکانیکی و فیزیکی محصول و ماشین دارد. در این خصوص شناخت خصوصیات فیزیکی محصول از قبیل قطر، رطوبت، جرم مخصوص، جرم واحد طول، و خصوصیات مکانیکی برش محصول از قبیل حداکثر نیروی برش، مقاومت برش، انرژی مورد نیاز برای برش و انرژی ویژه برش اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق ساقه دو رقم نیشکر (Cp57 و Cp69) از مزارع تحقیقاتی کشت و صنعت امیرکبیر واقع در جنوب غربی خوزستان تهیه شد و پس از حمل با شرایط حفظ رطوبت، با دو نوع تیغه صاف و مضرس در سه سرعت ۰/۲، ۰/۵، و ۱/۳۵ متر بر دقیقه تحت برش شبه استاتیکی قرار گرفت. داده‌ها به کمک نرم افزار آماری SPSS تحلیل شد. نتایج نشان داد که تأثیر رقم بر حداکثر نیروی برش ساقه طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌داری اما بر مقاومت برشی در سطح احتمال ۱ درصد، دارای اختلاف معنی‌دار است؛ همچنین اثر تغییرات سرعت بر حداکثر نیروی برش در سطح احتمال ۱ درصد و بر مقاومت برشی در سطح احتمال ۵ درصد و تأثیر نوع تیغه (صاف و مضرس) در نیروی برش و مقاومت برشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. نتایج نشان داد که افزایش سرعت از ۰/۲ تا ۱/۳۵ متر بر دقیقه خصوصاً در تیغه صاف بر بهبود عملکرد برش مؤثر است، اما تغییر سرعت از ۰/۵ به ۱/۳۵ متر بر دقیقه برای تیغه مضرس نه تنها به کاهش مقاومت برشی نمی‌انجامد بلکه آن را نیز افزایش می‌دهد. تیغه مضرس در سرعت‌های پایین به دلیل نفوذ اولیه بهتر در پوسته ساقه و کاهش مرحله فشردگی ساقه مقدار نیروی برشی کمتری نیاز دارد و متعاقب آن مصرف انرژی و مقاومت برشی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، ساقه نیشکر، مقاومت برشی، نیروی برش

مقدمه

در سطح وسیعی از کشورهای مختلف دنیا کشت می‌شود (Rahdar, 2004). در شرایط خوزستان قد نیشکر به طور متوسط در حدود ۲۷۰ سانتی‌متر و قطر آن ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر در انتهای دوره رشد است. وزن هر ساقه در

نیشکر (sugarcane) با نام علمی (*Saccharum officinarum* L.) گیاهی است چند ساله، و از خانواده غلات با ساقه‌هایی به ارتفاع سه تا چهار متر که



فیبری فراهم می‌شود. این سلول‌ها که با رشته‌های مارپیچی مرتب شده، میکروفیبریل نامیده می‌شود (Srivastava *et al.*, 1993). ساقه نیشکر نیز به طور واضح به دو قسمت گره و میان گره متمایز است. ساقه توپر و غیر منشعب این گیاه تقریباً استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای شکل یا بیضی است و بندهای مشخصی (هر یک شامل یک گره و یک میان گره) دارد که در آنها قند ذخیره می‌گردد.

ساختار مکانیکی ساقه اساساً لوله‌ای شکل است و پوشش موم روی آن مانع از اتلاف رطوبت بر اثر تعرق می‌شود. پوست لیفی به ساقه و سلول‌های داخلی نی استحکام می‌بخشد (Rahdar, 2004). به علت تفاوت در ساختار سلولی در ساقه نیشکر خواص مکانیکی متفاوتی می‌تواند بروز کند. یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر این تفاوت جهت و محل قرارگیری اجزای درون ساقه است. برخی از سلول‌های ساقه، مقاومتی در حد مقاومت فولاد دارند، اما از آنجا که حجم حفره‌ها بیشتر از سایر نواحی بافتی است، مقاومت به حد زیادی کاهش پیدا می‌کند (Sitkei, 1978). علت اصلی دشواری تعیین مقاومت و خصوصیات مکانیکی بافت‌ها هم وجود حفره‌های بین سلولی با درصد حجمی بیش از سلول‌های تشکیل دهنده ساقه است (Blevines *et al.*, 1956). لذا همبستگی بین خواص مقاومتی گیاه و نیروی مورد نیاز برای برش می‌تواند بررسی و محاسبه شود.

برش را نباید فرایندی واحد در نظر گرفت، زیرا برش عملیاتی با ترکیب عمل برش در ابتدا و متعاقب آن فرایندهای شکست در بافت‌های سلولی یا حالت‌های گسیختگی، متأثر از برش اولیه است (Sitkei, 1978; Persson, 1987). تغییر شکل در بافت‌های سلول ساقه بیشتر بستگی به شکل تیغه و نحوه حرکت آن هنگام بریدن دارد. لذا بدون تعیین خصوصیات ابزار برش نمی‌توان در حدود مقادیر مقاومت

طول دوره رشد به طور متوسط به حدود یک کیلوگرم می‌رسد. رشد روزانه نیشکر در ماه‌های گرم حدود ۴ سانتی‌متر مشاهده شده است (Taherkhani, 1993).

محصولات و مواد کشاورزی در معرض بارگذاری‌های طبیعی در طول دوران رشد و نیروهای مکانیکی مختلف طی برداشت و پس از آن قرار دارند. لذا ساخت یا بهینه‌سازی تیغه‌های برش ماشین‌های برداشت، نیاز به مطالعه اساسی پارامترهای محصول و رابطه ماشین با گیاه دارد (Neves *et al.*, 2001). اطلاعات دقیق و داده‌های مهندسی در بازه خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی در طراحی ماشین‌ها، فرایندهای عملیاتی و کنترل آنها در تحلیل و تعیین بازدهی یک ماشین، توسعه محصول جدید، و ارزیابی و حفظ کیفیت نهایی محصول نقش بسزایی دارد. این اطلاعات برای طراحان، مهندسان و محققان، تولیدکنندگان محصول نهائی، و متخصصان اصلاح نباتات می‌تواند نقش بسزایی داشته باشد (Khazaei *et al.*, 2002). با توجه به اینکه مکانیزم برش ماشین‌های برداشت نیشکر دارای حرکت دورانی دو تیغه متقابل است، تخمین نیروی دینامیکی به روش‌های شبه استاتیکی حائز اهمیت است. بعضی از عوامل مؤثر بر فرایند برش مربوط به خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه است و برخی دیگر به شکل هندسی و تنظیم تیغه و ضد تیغه و شرایط سینماتیکی مکانیزم برش دستگاه بستگی دارد، از این رو می‌توان این عوامل را تحلیل کرد و نتایج حاصل را به شرایط واقعی تعمیم داد و ارزیابی کرد.

برش عمدتاً در گیاهان علوفه‌ای و غلات عملی می‌شود. خواص فیزیکی مواد سلولی در برش، فشردگی، کشش، خمش، و اصطکاک مهم هستند و به گونه، رقم، قطر ساقه، میزان رسیدگی، درصد رطوبت، و ساختار سلولی مواد گیاهی وابسته‌اند (Persson, 1987). این خصوصیات در طول ساقه گیاه متغیر است. سفتی گیاه با سلول‌های

بررسی تأثیر سرعت و نوع تیغه بر نیروی مورد نیاز برش...

مورد نیاز برای غلبه بر نیروی اصطکاک در فرایند برش افزایش می‌یابد (O'Dogherty, 1991).

سرعت برش

چاتوپادیای و پاندی (Chattapadhyay & Pandey, 1999) با مطالعه در خواص مکانیکی ساقه سورگوم در تغییر شکل‌های شبه استاتیکی، گزارش دادند که با افزایش سرعت بارگذاری (برش) در زاویه ثابت لبه تیغه، مقاومت برشی در حالت رسیدگی علوفه‌ای^۱ و رسیدگی دانه‌ای^۲ کاهش می‌یابد.

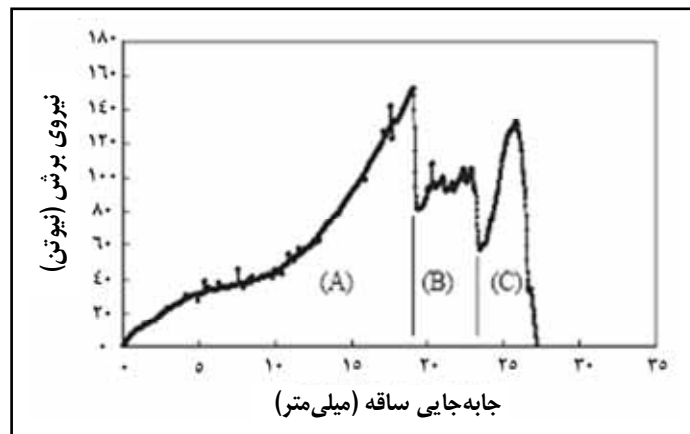
نوع تیغه

چانسلور (Chancellor, 1957) در آزمایش‌های خود نشان داد که تیغه‌های لبه مضرس نسبت به تیغه‌های با لبه صاف نیاز به نیروی بیشتری دارند. اما دنداندار بودن تیغه به علت خاصیت نگه‌داری محصول در اثر اصطکاک در نفوذ اولیه تیغه مؤثر است و از فشردگی و لغزش ساقه‌ها به طرف جلو در اثر حرکت تیغه جلوگیری می‌کند و باعث قطع آنها می‌شود (Mansurirad, 1993). شکل ۱، منحنی نیرو- جابه‌جایی در فرایند برش استاتیک ساقه‌ای را نشان می‌دهد که با یک تیغه و یک ضد تیغه متقابل بریده شده است و توسط سریواستاوا و همکاران (Srivastava et al., 1993) گزارش شده است.

برشی و نحوه تغییرات آن بحث کرد. بعضی از عوامل مؤثر در فرایند برش با مشخصات فیزیکی ساقه ارتباط مستقیم دارد نظیر نوع ماده (جرم حجمی)، سطح مقطع عرضی، مقدار رطوبت، و مراحل رشد آن، و نیز ارتباط مستقیم دارد با محل برخورد تیغه و محل شروع برش؛ و برخی دیگر از عوامل مؤثر در فرایند برش به شکل هندسی ابزار (تیغه) و تنظیمات حرکتی خواص سینماتیکی آن وابسته است (Sitkei, 1978). مهمترین عوامل و اثر تغییراتی که در این تحقیق بررسی شده‌اند به شرح زیر است:

سطح مقطع

تعیین دقیق خواص مکانیکی ساقه، وابستگی زیادی به دقت در تعیین سطح مقطع عرضی نمونه، از روش‌های مناسب تجربی دارد. به علت اینکه سطوح مقاطع در ساقه‌های مختلف گیاه شکل‌های خاص و غیر منظم هندسی دارد، محاسبه سطح مقطع با روش‌های معمول ریاضی بسیار مشکل است. اما می‌توان عموماً مقطع عرضی بیشتر محصولات علوفه‌ای و غلات را به شکل یک دایره یا بیضی تو پر یا تو خالی فرض و محاسبات را دنبال کرد. با افزایش سطح مقطع که در آن نیروی اصطکاک بین تیغه و ساقه افزایش می‌یابد، بخش زیادی از نیروی



شکل ۱- منحنی نیرو- جابه‌جایی در برش ساقه

واحد امیرکبیر واقع در جنوب غربی استان خوزستان تهیه شده بودند.

ماشین تست هانس فیلد که دارای لودسل با دو دامنه نیروی حداکثر ۵ کیلو نیوتن و ۵۰۰ کیلو نیوتن برای آزمایش مواد بود که در این آزمایش از لودسل نصب شده نوع اول استفاده شد. لودسل‌های کالبره شده با برنامه نرم‌افزاری خاص با دامنه سرعت‌های ۱۰۰ تا حداکثر ۱۰۰۰ میلی‌متر بر دقیقه است که با یک صفحه نمایش (LCD) و یک صفحه کلید نصب شده روی دستگاه قابل کنترل می‌شود. نیروهای اندازه‌گیری شده در برش‌های مختلف با دامنه سرعت خاص به صورت داده‌های خروجی به یک دستگاه کامپیوتر (PC) وارد و داده‌پردازی می‌شود. اطلاعات خروجی از کامپیوتر به صورت نمودار نیرو- جابه‌جایی و با کمک نرم افزار اکسل روی دیسکت قابل ذخیره است و همزمان می‌توان آن را از مانیتور پایش کرد و مقادیر حداکثر نیرو و میزان جابه‌جایی را روی صفحه (گسترده) اکسل دید.

تیغه‌ها و ضد تیغه‌های برش در ماشین‌های برداشت نیشکر قطعاتی مستطیل شکل و قابل نصب روی کف بر (Base cutter) ماشین برداشت نیشکر هستند، که لبه طولی آنها شیبی تیز با زاویه ۳۰ درجه دارد.

در این تحقیق به منظور بررسی اثر نوع تیغه بر مقاومت برشی نیشکر از دو نوع تیغه صاف و دندانه‌دار از یک طرف (رو) استفاده شده است. لذا دو نوع تیغه تهیه شد. الگوی طرح تیغه صاف ابتدا از نوع نمونه‌ای تهیه شده که روی ماشین‌های برداشت نیشکر نصب بود؛ زاویه لبه تیغه مطابق استاندارد تیغه اصلی در حد ۳۰ درجه بود و سپس اندازه تیغه به ابعاد $80 \times 100 \times 3$ میلی‌متر مطابق اندازه تیغه استاندارد قابل نصب روی ماشین تست هانس فیلد ساخته شد.

تیغه استاندارد ماشین تست هانس فیلد از آلایژ آلومینیم بود و با مقاطع یکنواخت غیر تیز (با عرض ۳ میلی‌متر) که، توانایی برش عرضی نی را نداشت، بدین صورت که قبل از

در این منحنی سه مقطع متمایز A، B، و C نشان داده شده است که به ترتیب شامل مقطع فشاری، مقطع فشاری برشی، و مقطع برشی است. در مقطع A نیرو از مقدار صفر با همان اینرسی ناشی از برخورد تیغه و ساقه افزایش می‌یابد و با نفوذ تیغه در بافت ساقه، رو به کاهش می‌گذارد که این عمل ناشی از اضمحلال بافت داخلی ساقه است. با ادامه حرکت تیغه، فشردگی در مقطع B به همراه برش ادامه پیدا می‌کند و نیرو به تدریج به علت تراکم بافت در جلو تیغه افزایش می‌یابد و وقتی که نیرو به نقطه اوج می‌رسد برش به شکل خالص وارد مقطع C می‌شود و در این مقطع نیرو رو به کاهش می‌گذارد تا برش کامل شود (Sitkei, 1978). از این منحنی می‌توان خواص مکانیکی ساقه، نظیر ماکزیمم نیروی برشی به دست آمده، مقاومت برشی (τ) با تقسیم ماکزیمم نیروی برشی بر سطح مقطع، برش و مقاومت نفوذ ساقه (R_p) را با برآورد شیب خط به دست آمده از رگرسیون خطی تمام منحنی نیرو، قبل از نیروی ماکزیمم، به دست آورد.

چاتوپادیای و پاندی (Chattapadhyay & Pandey, 1999) خصوصیات برش ساقه سورگوم را در مرحله علوفه و بذردهی با استفاده از یک دستگاه تست یونیورسال بررسی کردند. نمونه‌های ساقه در یک فرایند شبه استاتیکی و استفاده از تیغه تخت با زاویه تمایل ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه با دامنه سرعت بارگذاری از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش، ماکزیمم تنش برشی با روند افزایشی زاویه تمایل افزایش و با افزایش سرعت بارگذاری کاهش یافت.

مواد و روش‌ها

نمونه آزمایش: در این تحقیق از دو رقم نیشکر Cp69-1062 و Cp57-614 به ترتیب زودرس و میان‌رس استفاده شد که از مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات نیشکر وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی

بررسی تأثیر سرعت و نوع تیغه بر نیروی مورد نیاز برش...

که در آن،
 $A =$ سطح مقطع عرضی (سانتی متر مربع)؛ و a و b به ترتیب قطر بزرگ و کوچک ساقه (سانتی متر) نمونه است.

روش تهیه نمونه و انجام آزمایش

به منظور کاهش اثر فاکتورهای حاشیه‌ای نظیر روش آبیاری و تغییرات نوع خاک، نمونه‌های آزمایشی تنها از یک کرت در یک پلات واقع در مزرعه تحقیقاتی ARC۲-۱۴ کشت و صنعت نیشکر خوزستان واحد امیرکبیر تهیه شدند. بافت خاک این مزرعه از نوع سیلتی کلی لوم با ۲۱ درصد کلی، ۳۵ درصد سیلیت و ۵۴ درصد شن بود. تاریخ کشت رقم Cp57-614 دوم شهریور و تاریخ برداشت آن ششم شهریور سال و تاریخ کشت رقم Cp69-1062 اوایل اسفند و تاریخ برداشت آن اوایل اسفند سال بعد تا ۱۵ فروردین دو سال بعد بود. به منظور قطع نمونه، از یک دست‌افزار سنگین و تیز استفاده شد و محل قطع تا آنجا که ممکن بود نزدیک به سطح زمین بود. تهیه نمونه به طریق مزبور به نحوه برداشت نیشکر مربوط می‌شود. به علت اینکه غلظت شیره در پایین ساقه بیشتر از قسمت‌های دیگر است کف‌برهای ماشین برداشت طوری طراحی می‌شوند که تا حد ممکن توانایی برداشت نی را از انتهای پایینی ساقه داشته باشند. لذا نیاز بود که آزمایش‌ها روی قسمت‌های انتهایی نی اجرا شود. بدین منظور ۸۵ سانتی متر از یک سوم انتهایی نی‌ها تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد؛ طول نی‌ها بین ۲/۱ تا ۲/۷۵ متر بود.

روش اجرای آزمایش

آزمایش روی نمونه‌نی‌های ۶۰ سانتی‌متری در دستگاه هانس فیلد و به روش برش استاتیکی با سرعت‌های ۰/۲، ۰/۵، ۱/۳ متر در دقیقه با دو تیغه صاف و مضرس روی دو رقم نیشکر اجرا شد.

نفوذ به داخل بافت پوست، روی نمونه فشردگی ایجاد می‌کرد و بدین ترتیب مرحله فشردگی را افزایش می‌داد. لذا تیغه‌هایی با ابعاد فوق‌الذکر از جنس فولاد St37 ساخته شد که مقاوم‌تر از تیغه با آلیاژ آلومینیم بود. لبه تیغه‌ها سنگ‌زنی و در شیب ۳۰ درجه (مطابق شیب لبه تیغه استاندارد کف بر ماشین برداشت) طوری تیز شد که حداکثر ضخامت تیزی لبه تیغه به ۰/۵ میلی‌متر رسید. برای اینکه لبه تیغه استحکام لازم را داشته باشد و در اثر برش‌های متعدد دچار فرسایش نشود طرف تیز تیغه تا حداکثر ۲ سانتی‌متر در طول تیغه آبکاری شد.

برای ساخت تیغه نوع مضرس، یک تیغه از تیغه‌های رفت و برگشتی موور علوفه و با سختی Ck45 (Talebi, 2006) روی قطعه‌ای فولادی با همان ابعاد پیچ شد، به طوری که لبه مضرس تیغه در برش شبه استاتیکی تأمین شود.

همانطوری که اشاره شد، ضد تیغه در برش با سرعت‌های کم به منظور تأمین نیروی متقابل و کاهش میزان فشردگی اولیه ساقه به کار می‌رود و لذا در این تحقیق از ضد تیغه‌های خاص به عنوان فک‌های ثابت برش استفاده شده است. یک فک ثابت از جنس فولاد به ابعاد $۱۰۰ \times ۱۰۰ \times ۳$ میلی‌متر مطابق فک استاندارد ماشین تست هانس فیلد ساخته شد.

تعیین سطح مقطع عرضی

قبل از هر آزمایش روی نمونه‌ها، از هر کدام یک قطعه به طول ۲۵ سانتی‌متر جدا شد. به علت نزدیک بودن سطح مقطع عرضی به شکل بیضی، قطر ساقه در دو جهت عمود برهم اندازه‌گیری و سطح مقطع از فرمول مساحت بیضی با رابطه ۱ محاسبه شد:

$$A = \frac{\pi.ab}{4} \quad (1)$$

اندازه‌گیری حداکثر نیروی برش

انرژی مورد نیاز برش و همچنین اثر متقابل تیماری مزبور بر صفات نامبرده، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. رقم در دو سطح (Cp57-614 و Cp69-1062)، سرعت برش شبه استاتیکی تیغه در سه سطح ۰/۲، ۰/۵ و ۱/۳۵ متر در دقیقه، و نوع تیغه در دو سطح (لبه مژرس و لبه صاف) در نظر گرفته شد.

از ۲۰ نمونه تهیه شده، چهار طبقه ۵ تایی بر حسب میزان سطح مقطع دسته‌بندی شده و میانگین حداکثر نیروهای برش ۵ نمونه از داده خروجی دستگاه که به صورت نمودار بود به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد.

برآورد مقدار مقاومت برشی

مقاومت برشی هر تکرار از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{A} \quad (2)$$

قبل از تجزیه و تحلیل، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد که پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آنالیز واریانس با نرم افزار آماری SPSS انجام شد. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل آورده شده است.

که در آن،

τ_s = مقاومت برشی ساقه (کیلوپاسکال)؛ F_{max} = حداکثر نیروی برشی (کیلو نیوتن)؛ و A = سطح مقطع ساقه (متر مربع) است.

نتایج و بحث

نیروی برش ساقه تحت تأثیر عوامل مختلف نظیر رقم، سرعت و نوع تیغه قرار می‌گیرد و مقاومت برشی ساقه هم که میزان نیروی برش بر سطح مقطع برش است تحت تأثیر همان عوامل قرار دارد. در جدول‌های ۱ و ۲ خلاصه نتایج تجزیه واریانس برای عوامل مورد مطالعه به ترتیب روی نیروی برش و مقاومت برشی ساقه نیشکر آمده است.

اجرای طرح آزمایشی

به منظور بررسی تأثیر رقم، سرعت برش، نوع تیغه، و زاویه برش بر میزان نیروی برش، مقاومت برشی، و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مورد مطالعه بر نیروی برش ساقه نیشکر

F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۳/۲۰۶۹**	۱۲۶۸۸۱/۳۰۶	۲۴۱۰۷۴۴/۸۰۷	۱۹	تکرار
۸/۴۹۳۴**	۳۳۶۰۴۵/۷۹۲	۳۳۶۰۴۵/۷۹۲	۱	رقم
۱۵/۷۵۲۸**	۶۲۳۲۶۶/۳۸۶	۱۲۴۶۵۳۲/۷۷۲	۲	سرعت برش
۰/۰۵۸۷ns	۲۳۲۴/۱۱۷	۴۶۴۸/۲۳۳	۲	رقم × سرعت
۳۰۶/۲۴۳۳**	۱۲۱۱۶۶۱۹/۵۶۳	۱۲۱۱۶۶۱۹/۵۶۳	۱	نوع تیغه
۳۸/۳۱۲۷**	۱۵۱۵۸۵۳/۷۵۷	۱۵۱۵۸۵۳/۷۵۷	۱	رقم × تیغه
۳۱/۷۵۰۳**	۱۲۵۶۲۱۰/۶۴۸	۲۵۱۲۴۲۱/۲۹۶	۲	سرعت × تیغه
۲۵/۲۸۳۸**	۱۰۰۰۳۶۳/۱۷۳	۲۰۰۰۷۲۶/۳۴۵	۲	رقم × سرعت × تیغه
	۳۹۵۶۵/۳۲۶	۸۲۶۹۱۵۶/۰۷۱	۲۰۹	خطا
		۳۰۴۱۲۷۴۵/۶۳۶	۲۳۹	کل
	۲۰/۳۲			ضریب تغییرات (درصد)

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

بررسی تأثیر سرعت و نوع تیغه بر نیروی مورد نیاز برش...

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل مورد مطالعه بر مقاومت برشی ساقه نیشکر

F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۱۰/۷۸۰۶**	۴۸۷۶۳۳۷/۵۰۰	۹۲۶۵۰۴۱۲/۴۹۳	۱۹	تکرار
۷/۸۷۶۶**	۳۵۶۲۷۹۶/۱۲۲	۳۵۶۲۷۹۶/۱۲۲	۱	رقم
۱۰/۹۲۵۳**	۴۹۴۱۸۱۷/۲۳۹	۹۸۸۳۶۳۴/۴۷۸	۲	سرعت برش
۰/۰۷۲۶ns	۳۲۸۱۷/۳۷۰	۶۵۶۳۴/۷۳۹	۲	رقم × سرعت
۲۳۶/۸۵۱۳**	۱۰۷۱۳۴۲۶۹/۱۵۸	۱۰۷۱۳۴۲۶۹/۱۵۸	۱	نوع تیغه
۲۶/۹۹۴۰**	۱۲۲۱۰۱۴۰/۵۰۴	۱۲۲۱۰۱۴۰/۵۰۴	۱	رقم × تیغه
۲۳/۰۹۸۹**	۱۰۴۴۸۲۷۰/۳۰۵	۲۰۸۹۶۵۴/۶۱۱	۲	سرعت × تیغه
۱۹/۵۷۲۶**	۸۸۵۳۲۲۹/۰۳۶	۱۷۷۰۶۴۵۸/۰۷۲	۲	رقم × سرعت × تیغه
	۴۵۲۳۲۷/۲۲۷	۹۴۵۳۶۳۹۰/۳۸۶	۲۰۹	خطا
		۳۵۸۶۴۶۲۷۶/۵۶۱	۲۳۹	کل
	۲۳/۲۹			ضریب تغییرات (درصد)

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی دار

جدول نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر رقم، سرعت، و تیغه و اثر متقابل آنها - جز اثر متقابل رقم × سرعت بر نیروی برش و مقاومت برشی- در سطح ۱ درصد معنی دار شده است.

سرعت برشی تیغه

مطابق جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس با افزایش سرعت برش مقادیر نیروی برش و مقاومت برشی در سه سرعت اعمال شده، سرعت اول (۰/۲ متر در دقیقه) دارای بالاترین مقدار نیرو و سرعت‌های سوم (۱/۳۵ متر در دقیقه) و دوم (۰/۵ متر در دقیقه) به ترتیب در رده‌های بعد هستند. نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که بین سرعت اول و دوم و همچنین سرعت اول و سوم در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد، اما بین سرعت دوم و سوم این تفاوت در سطح ۵ احتمال درصد معنی‌دار بود.

رقم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های نشان می‌دهد که تأثیر دو رقم زودرس Cp57 و میان‌رس Cp69 بر نیروی برش و مقاومت برشی ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان می‌دهد که در برش ساقه رقم Cp57 نسبت به رقم Cp69 نیروی کمتری صرف شده است. مقاومت برشی نیز با وجود اختلاف میانگین سطوح در دو رقم، همین روند را دارد. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش سطح مقطع ساقه، نیروی مورد نیاز برش افزایش می‌یابد. میانگین

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های نیروی برش و مقاومت برشی ساقه نیشکر در سرعت‌های سه گانه

سرعت برش (متر بر دقیقه)	نیروی برش ساقه (نیوتن)	مقاومت برشی (کیلو پاسکال)
۰/۲	۱۰۸۰/۷ a	۳۱۷۴/۲ a
۰/۵	۹۲۳/۲ b	۲۷۲۹/۳ b
۱/۳۵	۹۳۳ b	۲۷۵۹/۹ b

برای هر متغیر، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

در تحلیل این مقایسه مقادیر میانگین می‌توان گفت در سرعت ۰/۵ متر بر دقیقه کمترین مقدار نیروی مورد نیاز را برای برش و مقاومت برشی ساقه داشتیم.

نوع تیغه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر نوع تیغه بر مقدار نیروی مورد نیاز برای برش و مقاومت برشی در سطح اول برش (فشرده‌گی) ممکن است دلیل کاهش نیرو در تغییر نوع تیغه باشد.

جدول ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های نیروی برش و مقاومت برشی ساقه نیشکر در دو تیغه صاف و مضرس

نوع تیغه	نیروی برش (نیوتن)	مقاومت برشی (کیلو پاسکال)
صاف	۱۲۰۳/۶۶ a	۳۵۵۶ a
مضرس	۷۵۴/۲۸ b	۲۲۲۰ b

برای هر متغیر، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

اثرات متقابل تیمارها

نتایج تجزیه واریانس با استفاده از آزمون دانکن حاکی است که در خصوص اثر متقابل نوع رقم و سرعت بر نیروی برش و مقاومت برشی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در زمینه اثر متقابل رقم در تیغه روی نیروی برش، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. نتایج نشان داد (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین

نیروی برش مربوط به رقم Cp69 در تیغه صاف با میانگین ۱۳۲۱ نیوتن و کمترین آن با میانگین ۷۱۲/۲ نیوتن برای رقم Cp69 در تیغه مضرس است. بیشترین مقاومت برشی نیز در همین رقم و متعلق به تیغه برش صاف با میانگین ۳۹۰۳/۳ کیلو پاسکال است. از مقایسه میانگین‌ها چنین بر می‌آید که تغییر نوع تیغه، برای هر دو رقم منجر به کاهش نیروی مصرفی می‌شود، اما کاهش نیرو در رقم Cp69 بیشتر است.

بررسی تأثیر سرعت و نوع تیغه بر نیروی مورد نیاز برش...

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های نیروی برش و مقاومت برشی در خصوص اثر متقابل رقم در تیغه

مقاومت برشی (کیلوپاسکال)		نیروی برش (نیوتن)		
تیغه مضرس	تیغه صاف	تیغه مضرس	تیغه صاف	
۲۳۲۳ c	۳۲۰۹ b	۷۹۶ c	۱۰۸۷ b	Cp57
۲۱۱۶ c	۳۹۰۳ a	۷۱۲ c	۱۳۲۱ c	Cp69

برای هر متغیر، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

مضرس در سرعت ۰/۵ متر بر دقیقه است. تغییرات فوق نشان می‌دهد که تغییر نوع تیغه در سرعت ۰/۲ نسبت به سرعت ۰/۵ متر بر دقیقه و هر دو این سرعت‌ها نسبت به سرعت ۱/۳۵ متر بر دقیقه اثر بیشتری دارد. اما تغییرات سرعت در تیغه صاف در سطح احتمال ۱ درصد و در تیغه مضرس در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

مطابق جدول ۶ آنالیز واریانس اثر متقابل سرعت برش و نوع تیغه بر نیروی برش و مقادیر مقاومت برشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. بیشترین نیروی برش و مقاومت برشی به ترتیب با ۱۴۲۰ نیوتن و ۴۱۶۳ کیلوپاسکال مربوط به سرعت ۰/۲ متر بر دقیقه با تیغه صاف و کمترین آنها با مقادیر ۶۷۹ نیوتن و ۱۹۹۰ کیلوپاسکال مربوط به تیغه

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های نیروی برش در اثر متقابل سرعت در تیغه

مقاومت برشی (کیلوپاسکال)		نیروی برش (نیوتن)		سرعت برش (متر بر دقیقه)
تیغه مضرس	تیغه صاف	تیغه مضرس	تیغه صاف	
۲۱۸۶ de	۴۱۶۳ a	۷۴۱ de	۱۴۲۰ a	۰/۲
۱۹۹۰ e	۳۴۶۹ b	۶۷۹ e	۱۱۶۷ b	۰/۵
۲۴۸۴ d	۳۰۳۶ c	۸۲۴ d	۱۰۲۴ c	۱/۳۵

برای هر متغیر، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج مشخص می‌شود که بیشترین نیروی برش با میانگین ۱۶۱۳ نیوتن مربوط به رقم Cp69 در سرعت ۰/۲ متر بر دقیقه با تیغه صاف و کمترین آن با میانگین ۵۷۴ نیوتن مربوط به رقم Cp69 در سرعت ۰/۵ متر بر دقیقه و با تیغه مضرس است. همین‌طور، بیشترین مقاومت برشی با میانگین ۴۷۳۹ کیلو پاسکال مربوط به رقم Cp69 در سرعت ۰/۲ متر بر دقیقه با تیغه صاف و کمترین آن با میانگین ۱۶۹۱ کیلو پاسکال مربوط به رقم Cp69 در سرعت ۰/۵ متر بر دقیقه و با تیغه مضرس است.

در نتایج این تحلیل می‌توان گفت که افزایش سرعت در برش شبه استاتیکی تا ۰/۵ متر بر دقیقه برای هر دو نوع تیغه صاف و تیغه مضرس در جهت کاهش نیروی برش مؤثر است. اما افزایش سرعت از این مقدار به بالا برای تیغه صاف مؤثر نیست و در نوع تیغه مضرس نیروی مورد نیاز برش را افزایش هم داده است.

نتایج آزمون (جدول ۷) نشان می‌دهد که اثر متقابل رقم، سرعت، و تیغه بر نیروی برش و مقاومت برشی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. از این

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های نیروی برش در اثر متقابل رقم در سرعت در تیغه

مقاومت برشی (کیلوپاسکال)		نیروی برش (نیوتن)		Cp69		Cp57		سرعت برش (متر بر دقیقه)
Cp69	Cp57	Cp69	Cp57	تیغه صاف	تیغه مضرس	تیغه صاف	تیغه مضرس	
۱۸۹۷ fg	۴۷۳۹ a	۲۴۷۵ def	۳۵۸۷ bc	۶۳۵ fg	۱۶۱۳ a	۸۴۸ de	۱۲۲۶ b	۰/۲
۱۶۹۱ g	۳۹۷۴ b	۲۲۸۹ ef	۲۹۶۳ d	۵۷۴ g	۱۳۳۹ b	۷۸۴ ef	۹۹۶ d	۰/۵
۲۷۶۰ de	۲۹۹۷ d	۲۲۰۷ dfg	۳۰۷۶ cd	۹۲۷ cde	۱۰۱۰ cd	۷۵۷ ef	۱۰۳۸ c	۱/۳۵

برای هر متغیر، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

تأثیر معنی‌دار دارد. افزایش سرعت از ۰/۲ تا ۱/۳۵ متر بر دقیقه خصوصاً در تیغه صاف بر بهبود عملکرد برش مؤثر است اما تغییر سرعت از ۰/۵ به ۱/۳۵ متر بر دقیقه برای تیغه مضرس نه تنها منجر به کاهش مقاومت برشی نمی‌شود بلکه این مقدار را افزایش می‌دهد. در سرعت‌های پایین، تیغه مضرس به دلیل نفوذ اولیه بهتر در پوسته ساقه و کاهش مرحله فشردگی ساقه، به مقدار نیروی برشی کمتری نیاز دارد و متعاقب آن مصرف انرژی کمتر و مقاومت برشی کمتری را به دست می‌دهد.

طبق آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، رقم تأثیر معنی‌داری بر حداکثر نیروی برش ساقه ندارد اما روی مقاومت برشی در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اثر تغییرات سرعت بر حداکثر نیروی برش در سطح احتمال ۱ درصد و بر مقاومت برشی در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. تعویض نوع تیغه (صاف به مضرس) روی نیروی برش و مقاومت برشی در سطح احتمال ۱ درصد

مراجع

- Blevines, F. Z. and Hansen, H. J. 1956. Analysis of forage harvester design. *Agric. Eng.* 37(1): 21-26, 29.
- Chancellor, W. J. 1957. Basic concepts of cutting hay. Ph.D Thesis. Cornell University. Ithaca. NY. 170pp.
- Chattapadhyay, P. K. and Pandey, K. P. 1999. Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation. *J. Agric. Eng. Res.* 73, 199-206.
- Khazaei, J., Rabani, H., Ebadi, A. and Golbabaie, F. 2002. Determining the shear strength and picking force of pyrethrum flower. AIC Paper No. 02-221. CSAE. Mansonville. Que. Canada.
- Mansurirad, D. 1993. Tractors and Agricultural Machinery. Buali University Press. (in Farsi)
- Neves, J. L. M., Marchi, A. S., Pizzinato, A. A. S. and Menegasso, L. R. 2001. Comparative testing of a floating and a conventional fixed base cutter. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists.* 24, 257-262.

- O'Dogherty, M. J. and Gale, G. E. 1991. Laboratory studies of dynamic behavior of grass, straw and polystyrene tube during high-speed cutting. J. Agric. Eng. Res. 49, 33-57.**
- Persson, S. 1987. Mechanics of cutting plant material. ASAE Monograph No.7. St. Joseph. Michigan. U.S.A.**
- Rahdar, M. R. 2004. Sugar Cane. Ahwaz Shahid Chamran University Press. (in Farsi)**
- Sitkei, G. 1978. Agricultural Materials. McGraw - Hill Book Co. New York.**
- Srivastava, A. K., Goering, C. E. and Rohrbach, R. P. 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE. St. Joseph. Michigan. U.S.A.**
- Taherkhani, K. 1993. Sugar Cane Diseases. M. Sc. Thesis. Tabriz Univercity. (in Farsi)**
- Talebi, J. 2006. Hardness appoint in blade sweep of grain harvest mowers. M. Sc. Thesis. Tehran Univercity. Karaj. (in Farsi)**



Effect of Velocity and Blade Type on Shearing Forces for Two Varieties of Sugar Cane in Southern Khuzestan Province

M. Jafari, A. Rajabipour* and H. Mobli

*Corresponding Author: Associate Professor, Tehran University, P. O. Box: 4111. Tehran, Iran. E-mail: arajabi@ut.ac.ir

Crops and agricultural products are subject to natural loading during growth. Different mechanical forces are also exerted on them during harvest. One product, sugar cane, experiences large shear forces during harvest. An examination of the crop properties and machine parameters of sugar cane are necessary to develop appropriate cutting tools and the optimization and design of harvesting machines. The determination of such physical properties as diameter, moisture content, bulk density and mass per unit length is indispensable to this process. Mechanical properties related to cutting, such as maximum cutting force and strength, required energy and specific energy required for cutting are important. For this research, two experimental samples of sugar cane stalk (CP57, CP69) were collected from Amirkabir Research Farm in southern Khuzestan province. The samples were transported to the laboratory while maintaining the moisture content as constant as possible. The stalks were tested under quasi-static conditions using two types of blades (serrated and smooth) at three speeds (0.2, 0.5 and 1.35 m/min). The resulting data were analyzed using MSTATC and SPSS software. The effect of the variety on maximum cutting force was not significant, but cutting strength was observed to be significant at the 1% level. The effect of speed change on maximum cutting force was also significant at the 1% level. The effect of blade type on both maximum cutting force and cutting strength was significant at the 1% level. Increasing the speed from 0.2 to 0.5 and then to 1.35 m/min, especially using the smooth blade, increased the efficiency of cutting. However, increasing the speed from 0.5 to 1.35 m/min using the serrated blade increased cutting strength and energy. The serrated blade, at low speeds, was observed to require lower energy. Serration reduced energy consumption and lowered the required cutting strength because of adequate primary penetration of the blade into shell of the stalk, and the reduction of compression time.

Key Words: Cutting Force, Cutting Strength, Mechanical Properties, Physical Properties, Sugar Cane Stalk