ارزیابی عملکرد بخش خردکن یک دستگاه کاه خردکن

حامد توکلی[۱]*، سید سعید محتسبی[۲] و علی جعفری[۳]

[۱]، دانشجوی دوره دکتری، [۲]، استاد و [۳] دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۲۵)

چکیده

نمونه‌ی اولیه‌ای از یک دستگاه کاه خردکن پشت تراکتوری مجهز به سامانه تخلیه در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران طراحی و ساخته شد. برای اطمینان از عملکرد مؤثر بخش خردکن آن، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، تأثیر متغیرهای خردکن دستگاه، شامل سرعت دورانی محور خردکن (در سه سطح: ۴۰۰، ۵۴۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه)، اندازه سوراخ‌های سینی (در دو سطح: ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر) و تعداد تیغه‌های روی هر فلانج (در دو سطح: ۴ و ۸ تیغه)، بر توان مصرفی، ظرفیت کوبش و توزیع اندازه‌ی ذرات خرد شده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی محور خردکن، توان مصرفی و ظرفیت کوبش افزایش می‌یابد. بین سرعت‌های ۵۴۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه، در اندازه‌ی ذرات خرد شده‌ی کاه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالی که سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه ذرات درشت‌تری نسبت به دو سرعت دیگر ایجاد کرد. برای سرعت دورانی محور خردکن، محدوده‌ی ۵۴۰ تا ۸۰۰ دور در دقیقه، بهترین سرعت تشخیص داده شد. با کاهش اندازه سوراخ‌های سینی، توان مصرفی افزایش و ظرفیت کوبش کاهش یافت و سینی با سوراخ‌های ۲/۵ سانتی‌متر ذرات ریزتری تولید کرد. با افزایش تعداد تیغه‌های روی هر فلانج، توان مصرفی کاهش و ظرفیت کوبش افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: کاه خردکن، توان مصرفی، ظرفیت کوبش

مقدمه

کاه غلات و سایر فرآورده‌های جانبی کشاورزی، بخش مهم غذای دام در بسیاری از کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهد. سالانه در جهان بین دو الی سه میلیارد تن کاه و ساقه گیاهان تولید می‌شود. میزان تولید کاه در آسیا حدود ۸۰۰ میلیون تن و در ایران بیش از ۲۰ میلیون تن است. از این میزان حدود ۱۴ میلیون تن مربوط به کاه گندم، سه میلیون تن کاه جو و حدود سه میلیون تن کاه برنج می‌باشد (Anon., 2006). کاه موارد کاربرد زیادی دارد؛ استفاده در صنعت کاغذ-سازی و بسته‌بندی، کاربرد به عنوان مالچ گیاهی، برگرداندن به خاک از طریق شخم و سوزاندن و افزودن خاکستر آن به منظور بهبود کیفیت خاک و نیز استفاده به عنوان خوراک دام و تهیه‌ی بستر دام از جمله موارد کاربرد آن می‌باشد.

در ایران از کاه برای تغذیه دام‌ها استفاده می‌شود که برای این منظور لازم است اندازه قطعات کاه کاهش داده شود. روش مرسوم برای کاهش اندازه قطعات کاه در ایران استفاده از کاه خردکن می‌باشد. برای استفاده از این دستگاه کارگران متعددی مورد نیاز است. کاه خروجی از کاه خردکن در زیر دستگاه ریخته می‌شود و برای تداوم کار باید از زیر دستگاه تخلیه شود. ولی این کار گرد و غبار زیادی ایجاد می‌کند و افرادی که این وظیفه را به صورت همیشگی انجام می‌دهند، ممکن است مبتلا به مشکلات تنفسی و شنوایی شوند. از معایب اصلی این دستگاه دور پایین محور کوبنده و به تبع آن ظرفیت پایین دستگاه و عدم استفاده از سامانه تخلیه می‌باشد (Nazari Galedar, 2008).

با توجه به مشکلاتی که در استفاده از کاه خردکن‌های متداول وجود دارد، ضرورت طراحی و ساخت دستگاهی که از مشکلات ذکر شده بکاهد احساس می‌شود، به همین منظور نمونه‌ی اولیه‌ای از دستگاه کاه خردکن پشت تراکتوری مجهز به سامانه تخلیه طراحی و ساخته شد (Nazari Galedar, 2008). از آنجایی که هر طرح و نمونه‌ی اولیه از یک دستگاه، برای اطمینان از کارکرد مؤثر آن، نیاز به آزمون و ارزیابی، قبل از استفاده عملی و وسیع دارد (Saebi Monfared & Sedaghat Hosseini, 2006) ؛ لذا ارزیابی دستگاه کاه خردکن مجهز به سامانه تخلیه امری ضروری است. در این تحقیق با بررسی اثرات متغیرهای خردکن دستگاه روی عملکرد آن، حالت بهینه‌ی متغیرهای دستگاه تعیین شد.

* نویسنده مسئول : hamedtavakol@ut.ac.ir

در زمینه‌ی بررسی عملکرد دستگاه‌های خردکن مطالعاتی انجام شده است. Arnold & Lake (1964) توان مصرفی کوبنده-های کمباین را مورد مطالعه قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که در سرعت‌های تغذیه بیشتر، سیلندرهای با قطر بزرگتر، توان کمتری نسبت به سیلندرهای با قطر کوچکتر نیاز دارند. نتایج کار آنها نشان داد که توان مصرفی دستگاه بیشتر به خواص محصول و قطر سیلندر کوبنده بستگی دارد و کمتر به نرخ تغذیه وابسته است. در همه آزمایش‌ها رابطه‌ی خطی بین میزان رطوبت محصول و گشتاور مورد نیاز وجود داشت.

Sudhagar et al. (2004) در تحقیقی به بررسی انرژی مصرفی یک آسیاب خردکن برای چهار محصول کاه گندم و جو، بقایای ساقه‌ی ذرت و گیاه Switchgrass، پرداختند. دستگاه استفاده شده شامل ۲۲ چکش شناور بود که روی محوری با یک موتور الکتریکی ۱/۵ کیلووات متصل شده‌اند. در تحقیق انجام شده سرعت دورانی این محور ۶۰ rad/s انتخاب شده بود. برای اندازه‌گیری توان مصرفی خردکن از وات‌متر استفاده شده بود. این ابزار به یک سامانه جمع‌آوری داده که وظیفه‌ی جمع‌آوری داده‌ها و کنترل سامانه را به عهده دارد، وصل شده بود. داده‌ها به وسیله‌ی اتصال سامانه جمع‌آوری داده به رایانه ذخیره می‌شدند. در آزمایش‌ها سه سینی با اندازه‌ی سوراخ‌های ۳/۲، ۱/۶ و ۰/۸ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفته بود. در نهایت آزمایش‌ها در سه تکرار و برای دو سطح رطوبت از این محصولات انجام پذیرفته بود. در بین این چهار محصول، گیاه Switchgrass بیشترین میزان انرژی ویژه‌ی مصرفی (۲۷/۶ kW h t^{-1}) و ساقه‌ی ذرت کمترین میزان انرژی مصرفی(۱۱/۰ kW h t^{-1}) را در حین استفاده از سینی با سوراخ‌های ۳/۲ میلی‌متری به خود اختصاص دادند .

Vejasit & Salokhe (2004) از یک کوبنده دندانه میخی جریان محوری برای خرد کردن محصول سویا استفاده کردند. در این تحقیق اثر چهار سطح سرعت دورانی محور کوبنده، سه سطح سرعت تغذیه و سه سطح محتوای رطوبتی محصول سویا مورد بررسی قرار گرفت. بیشینه توان مورد نیاز دستگاه ۲/۲۹ کیلووات بود که در محتوای رطوبتی ۳۲/۸۸ ٪ و سرعت کوبنده‌ی ۷۰۰ دور در دقیقه به دست آمد.

Chen et al. (2004) توان مورد نیاز برای برش (Cutting) و حالت‌دهی (Conditioning) ساقه کنف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مقدار توان مورد نیاز برای برش ساقه‌ی کنف، با افزایش سرعت تغذیه از ۲۴ به ۴۰ گیاه در ثانیه، به طور معنی‌داری از ۹۹ به ۲۵۶ وات افزایش یافت این در حالی است که افزایش بیشتر سرعت تغذیه به ۶۰ گیاه در ثانیه توان ۲۸۰ واتی را نتیجه می‌دهد که از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است. همچنین نتایج آنها نشان داد که نیرو و انرژی برش به طور معنی‌داری در محتوای رطوبتی و جرم مخصوص بالاتر ساقه‌ی کنف، بزرگتر است.

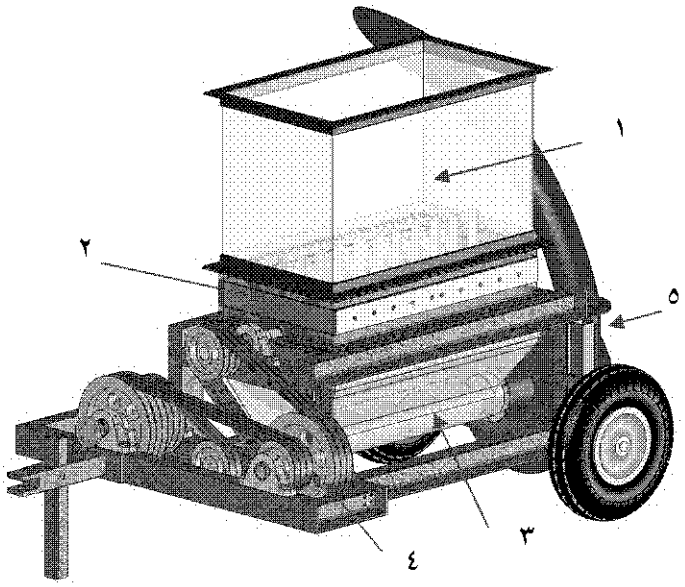
Nazari Galedar (2008) دستگاه کاه خردکن مجهز به سامانه تخلیه‌ای را طراحی کرد و نمونه‌ی اولیه‌ای از آن ساخت. اجزاء تشکیل دهنده‌ی دستگاه کاه خردکن در شکل (۱) نشان داده شده است. نحوه‌ی کار دستگاه به این صورت است که ابتدا محور دستگاه به محور توان‌دهی تراکتور وصل می‌شود و پس از اینکه سرعت چرخش محور خردکن به مقدار مطلوب رسید، تغذیه مواد به دستگاه به وسیله‌ی نیروی کارگری انجام می‌شود. پس از خرد شدن کاه در محفظه‌ی خردکن به واسطه‌ی نیروی ضربه‌ی تیغه‌ها به کاه و اصطکاک بین علوفه و دیواره‌ی سینی، زمانی‌که طول قطعات کاه به اندازه‌ی سوراخ‌های سینی برسد، کاه خرد شده وارد محفظه هلیس می‌شود. در اثر چرخش هلیس و مکش قسمت دمنده، انتقال کاه به سمت دمنده صورت می‌گیرد، و در ادامه سرعت دورانی دمنده باعث پرتاب ذرات کاه می‌گردد.

با توجه به اینکه این دستگاه ارزیابی نشده است، در این تحقیق به ارزیابی آن پرداخته می‌شود.

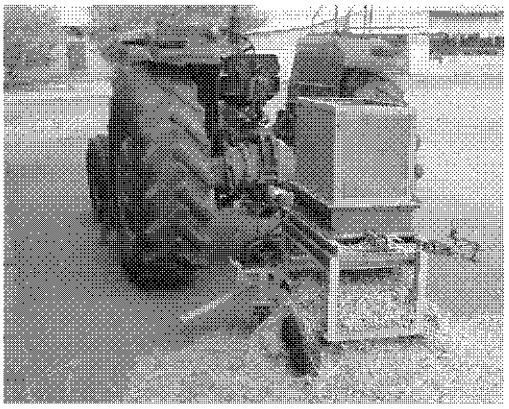
مواد و روش‌ها

ارزیابی بخش خردکن دستگاه در ایستگاه دامپروری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. برای این منظور از بسته‌های مکعبی کاه گندم با رطوبت ۸/۵ درصد بر مبنای تر استفاده شد. توان مورد نیاز برای به کار انداختن دستگاه از محور توان‌دهی یک تراکتور مسی فرگوسن مدل ۱۶۵ تأمین شد.

به منظور ارزیابی بخش خردکن دستگاه، سامانه تخلیه آن حذف شد (شکل ۲). پارامترهایی که برای بررسی عملکرد خردکن دستگاه کاه خردکن در نظر گرفته شد، عبارتند از: توان مصرفی در کاهش اندازه‌ی ذرات، ظرفیت کاری دستگاه و توزیع اندازه‌ی ذرات خرد شده. متغیرهای خردکن نیز عبارت بودند از: سرعت دورانی محور خردکن در سه سطح ۴۰۰، ۵۴۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه، تعداد تیغه‌های روی هر فلانج در دو سطح ۴ و ۸ تیغه و اندازه قطر سوراخ‌های سینی (شبکه زیر خردکن) در دو سطح ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر. در هر آزمایش حدود ۱۰ کیلوگرم کاه استفاده شد.

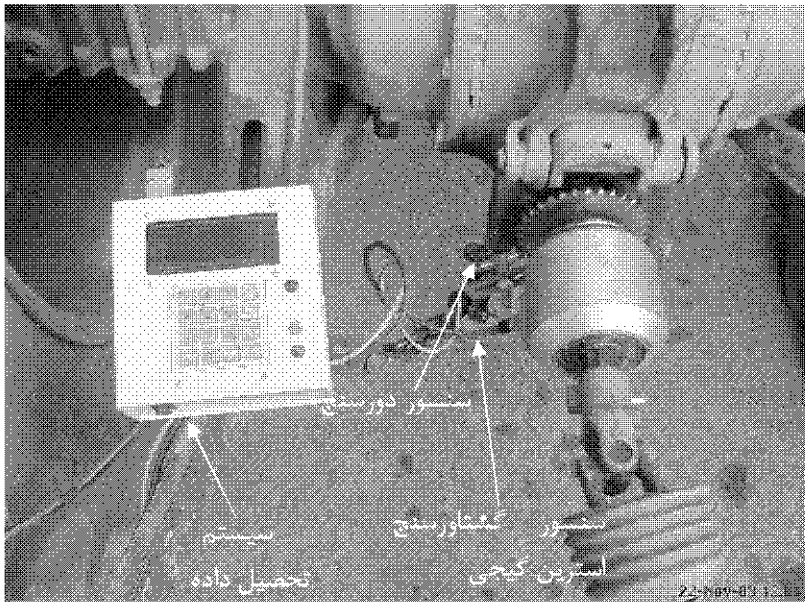


شکل۱- دستگاه کاه خردکن مجهز به سامانه تخلیه
۱) قسمت تغذیه ۲) خردکن ۳) سینی ۴) هلیس انتقال ۵) دمنده (Nazari Galedar, 2008)



شکل۲- دستگاه کاه خردکن در حال کار بدون سامانه تخلیه

برای اندازه‌گیری توان از یک مبدل گشتاور دینامیکی که بین محور تواندهی (PTO) تراکتور و دستگاه کاه خردکن قرار می‌گیرد، استفاده شد (شکل۳). توان مصرفی با ثبت مداوم گشتاور و سرعت دورانی اندازه‌گیری و محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری توان خالص مورد نیاز جهت کاهش اندازه قطعات کاه با دستگاه کاه خردکن، قبل از هر آزمایشی دستگاه برای مدت ۲۰ ثانیه بدون بار به کار انداخته و توان مورد نیاز آن ثبت شد. سپس برای به دست آوردن توان خالص مورد نیاز، توان بدون بار (No-load power) از توان کل کم شد (Tavakoli et al., 2009).



شکل۳- مبدل گشتاور دینامیکی PTO و سامانه تحصیل داده آن

برای اندازه‌گیری ظرفیت دستگاه ابتدا مقدار ۱۰ کیلوگرم کاه توزین و سپس زمان لازم برای خرد کردن آن ثبت شد.

برای تعیین توزیع اندازه‌ی ذرات کاه خرد شده از دو الک با سوراخ‌های ۲/۵ و ۴ سانتی‌متری استفاده شد. در نتیجه ذرات کاه خرد شده به سه دسته تقسیم‌بندی شد، دسته اول ذرات کوچکتر از ۲/۵ سانتی‌متر، دسته دوم ذرات بین ۲/۵ تا ۴ سانتی‌متر و دسته سوم ذرات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر. برای تعیین توزیع اندازه‌ی ذرات، بعد از هر آزمایش حدود نیمی از کاه خرد شده توسط دستگاه، با الک‌ها به دسته‌های ذکر شده تقسیم‌بندی شد و سپس با توزین دسته‌ها، درصدی از ذرات کاه که در هر دسته قرار گرفت تعیین شد.

برای انجام آزمایش‌ها از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل استفاده شد. متغیرهای مستقل سرعت دورانی محور خردکن، تعداد تیغه‌های روی هر فلانج و اندازه سوراخ‌های سینی و متغیرهای وابسته توان مصرفی، ظرفیت کوبش و توزیع اندازه‌ی ذرات خرد شده کاه بودند. تعداد تکرارهای به کار رفته ۳ تکرار به ازای هر ترکیب از پارامترهای آزمایشی بود. اطلاعات به دست آمده به صورت آماری و با استفاده از نرم افزار SPSS 15 تجزیه و تحلیل گردید و نمودارها در نرم افزار Excel رسم شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس متغیرهای خردکن در بررسی عملکرد دستگاه کاه خردکن

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات				
		P(kW)	Ca(kg/h)	p۱(%)	p۲(%)	p۳(%)
Sp	۲	۳۴/۱۸**	۴۹۴۳۸/۱۶**	۹۰/۷۷*	۲۸/۵۲^{ns}	۳۳/۰۸^{ns}
Sc	۱	۳/۴۹**	۲۱۳۰۱/۴۰**	۱۱۰۰/۰۲**	۳۶/۰۰^{ns}	۷۳۸/۰۲**
Nb	۱	۱/۲۹*	۴۷۰۸/۲۴**	۲۶/۶۹^{ns}	۹/۰۰^{ns}	۶۶/۶۹^{ns}
Sp×Sc	۲	۰/۴۱^{ns}	۱۷۴/۵۱^{ns}	۱۳/۷۷^{ns}	۰/۵۸^{ns}	۱۵/۳۶^{ns}
Sp×Nb	۲	۰/۰۶^{ns}	۱۳/۰۷^{ns}	۱/۴۴^{ns}	۲۳/۲۵^{ns}	۲۰/۱۹^{ns}
Sc×Nb	۱	۰/۰۱^{ns}	۳/۹۳^{ns}	۰/۶۹^{ns}	۳۶/۰۰^{ns}	۲۶/۶۹^{ns}
Sp×Sc×Nb	۲	۰/۰۲^{ns}	۱۰/۱۸^{ns}	۱۰/۱۱^{ns}	۹/۷۵^{ns}	۱۳/۳۶^{ns}
خطا	۲۴	۰/۱۷	۳۸۶/۷۷	۱۶/۷۲	۱۶/۰۰	۳۱/۳۰
ضریب تغییرات	-	۱۴/۹۲	۱۴/۲۱	۱۲/۵۷	۱۳/۴۵	۱۴/۸۲

^{ns}، *، ** و df به ترتیب عبارتند از: معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪، عدم اختلاف معنی‌دار و درجه آزادی

Sp= سرعت دورانی محور خردکن، Sc= اندازه سوراخ سینی، Nb= تعداد تیغه‌ها، P= توان مصرفی، Ca= ظرفیت کوبش،

p۱= ذرات خرد شده کاه کوچکتر از ۲/۵ سانتی‌متر، p۲= ذرات بین ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر و p۳= ذرات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر.

نتایج و بحث

جدول (۱) تجزیه واریانس متغیرهای خردکن در بررسی عملکرد دستگاه کاه خردکن را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده نشان داد که سرعت دورانی محور خردکن و اندازه سوراخ‌های سینی، اثر معنی‌داری روی توان مصرفی در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. همچنین تعداد تیغه‌های روی هر فلانج اثر معنی‌داری روی توان مصرفی در سطح احتمال ۵ درصد داشت. اثر متقابل سرعت دورانی محور خردکن و اندازه‌ی سوراخ‌های سینی، سرعت دورانی محور خردکن و تعداد تیغه‌ها، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی و تعداد تیغه‌ها، و بالاخره سرعت دورانی محور خردکن و اندازه‌ی سوراخ‌های سینی و تعداد تیغه‌ها، روی توان مصرفی معنی‌دار نبود ($P>0/05$). میانگین توان مصرفی خردکن دستگاه، برای کار کردن در حالت بدون بار در سرعت‌های ۴۰۰، ۵۴۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه، به ترتیب ۰/۲۹، ۰/۴۰ و ۰/۵۸ کیلووات به دست آمد. میانگین توان خالص مصرفی برای خرد کردن کاه گندم با دستگاه کاه خردکن ۲/۷۶ کیلووات به دست آمد که از ۰/۹۸ تا ۵/۳۷ کیلووات متغیر بود. در ادامه در مورد تأثیر هر کدام از متغیرهای خردکن، روی توان مصرفی آن توضیح داده می‌شود. در این بخش منظور از توان مصرفی، همان توان خالص مصرفی دستگاه است.

جدول (۲) تأثیر سرعت دورانی محور خردکن روی توان مصرفی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، توان مصرفی با افزایش سرعت دورانی محور خردکن، به طور خطی افزایش یافت. با افزایش سرعت محور خردکن از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه، توان مصرفی برای اندازه سوراخ‌های ۲/۵ و ۴

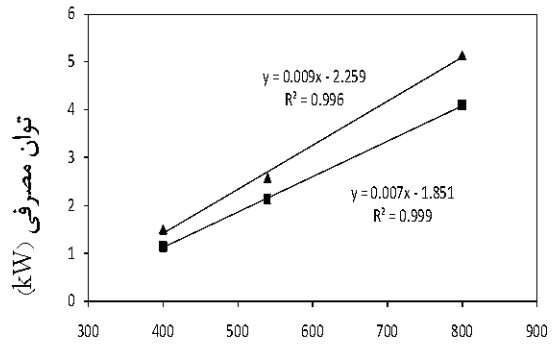
سانتی‌متر به ترتیب از ۱/۵۰ تا ۵/۱۴ کیلووات و ۱/۱۳ تا ۴/۰۹ کیلووات افزایش یافت (شکل۴). روند افزایشی مشابهی در توان مصرفی، برای کوبیدن آفتاب گردان در سرعت‌های دورانی محور کوبش از ۵۵۰ تا ۱۱۵۰ دور در دقیقه، گزارش شده است (Sudajan et al., 2002). Vejasit & Salokhe (2004) مطالعه‌ای برای تعیین تأثیرات پارامترهای ماشین-محصول (Machine-Crop) یک کوبنده‌ی جریان محوری برای کوبیدن سویا انجام دادند. آنها نشان دادند که توان مورد نیاز برای کوبیدن سویا با نرخ تغذیه‌ی ۵۴۰ تا ۷۲۰ کیلوگرم بر ساعت و رطوبت دانه‌ی ۱۴/۳۴ درصد بر مبنای تر، وقتی که سرعت محور کوبش از ۵۰۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه افزایش می‌یابد، بین ۰/۸۹ تا ۱/۸۵ کیلووات متغیر است.

میانگین مقادیر توان مصرفی خردکن، در دو اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر در جدول (۲) آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، توان مصرفی، با افزایش اندازه‌ی سوراخ‌های سینی به طور معنی‌داری ($P<0/01$) کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، برای ریزتر خرد کردن کاه، توان بیشتری مورد نیاز است. این نتیجه با یافته‌های Sitkei (1986) برای خرد کردن ساقه‌های یونجه مطابقت دارد. همچنین Holtzapple et al. (1989) به این نتیجه دست یافته‌اند که انرژی خرد کردن مکعب‌های چوب (wood cubes) با کاهش اندازه‌ی قطعات، افزایش می‌یابد. Sudhagar et al. (2004) نیز نشان دادند که انرژی مصرفی ویژه برای خرد کردن کاه گندم و بقایای ذرت با افزایش اندازه‌ی سوراخ‌های سینی، کاهش می‌یابد.

جدول۲- میانگین توان مصرفی و ظرفیت کوبش خردکن دستگاه برای کوبیدن کاه گندم در سرعت‌های محور خردکن، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی و تعداد تیغه‌های مختلف

سرعت محور خردکن (rpm)*	توان مصرفی (kW)	ظرفیت کوبش (kg/h)
۴۰۰	۱/۳۲$_c$	۷۸/۱۵$_c$
۵۴۰	۲/۳۵$_b$	۱۳۱/۰۲$_b$
۸۰۰	۴/۶۲$_a$	۲۰۵/۸۹$_a$
اندازه‌ی سوراخ‌های سینی (cm)		
۲/۵	۳/۰۷$_a$	۱۱۴/۰۳$_b$
۴	۲/۴۵$_b$	۱۶۲/۶۸$_a$
تعداد تیغه‌های روی هر فلانج		
۴	۲/۹۵$_a$	۱۲۶/۹۲$_b$
۸	۲/۵۷$_b$	۱۴۹/۷۹$_a$

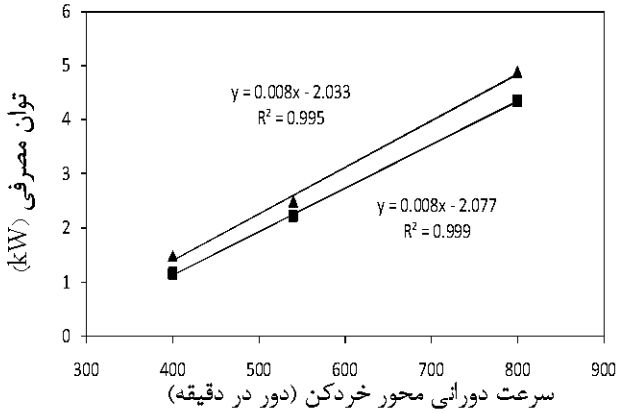
* میانگین‌ها با حروف مختلف بطور معنی‌داری ($P<0/05$) متفاوت هستند.



شکل۴- تأثیر سرعت محور خردکن و اندازه‌ی سوراخ‌های سینی روی توان مصرفی خردکن؛ (▲) اندازه‌ی سوراخ سینی ۲/۵ سانتی‌متر و (■) اندازه‌ی سوراخ سینی ۴ سانتی‌متر.

توان مصرفی به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) تحت تأثیر تعداد تیغه‌ها قرار گرفت. مقادیر توان مصرفی با کاهش تعداد تیغه‌ها، افزایش یافت (جدول۲). همان‌گونه که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود، با افزایش سرعت محور خردکن از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه، توان مصرفی برای تعداد تیغه‌های ۴ و ۸ تیغه روی هر فلانج، به ترتیب از ۱/۴۸ تا ۴/۸۹ کیلووات و ۱/۱۵ تا ۴/۳۵ کیلووات، افزایش می‌یابد. دلیل احتمالی بزرگتر بودن توان مصرفی خردکن در حالت استفاده از ۴ تیغه روی هر فلانج نسبت به حالت استفاده از ۸ تیغه، این است که در حالت اول کاه کمتری از سوراخ‌های سینی عبور کرده و نیاز به دوباره کوبیده شدن حجم بیشتری از کاه است. کمتر بودن ظرفیت کوبش خردکن در حالتی که از ۴ تیغه استفاده شده نسبت به حالتی که از ۸ تیغه استفاده شده، بیانگر همین واقعیت است.

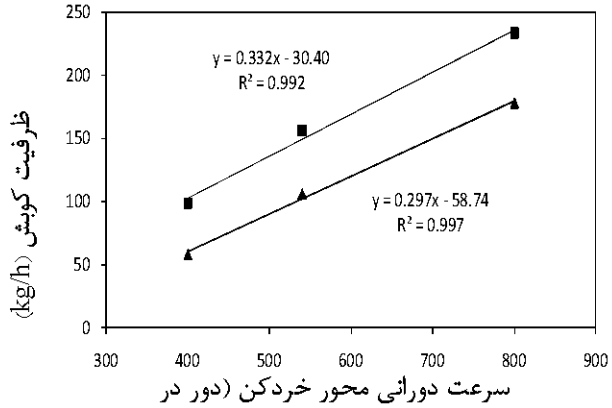
بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین توان مصرفی ۵/۳۷ کیلووات، به سرعت محور ۸۰۰ دور در دقیقه، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۲/۵ سانتی‌متر و تعداد ۴ تیغه روی هر فلانج مربوط بود. همچنین کمترین توان مصرفی ۰/۹۸ کیلووات بود که به سرعت محور ۴۰۰ دور در دقیقه، اندازه سوراخ‌های سینی ۴ سانتی‌متر و تعداد ۸ تیغه روی هر فلانج مربوط می‌شد.



شکل۵- تأثیر سرعت محور خردکن و تعداد تیغه‌های روی هر فلانج روی توان مصرفی خردکن؛ (▲) ۴ تیغه و (■) ۸ تیغه روی هر فلانج.

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری، اثر سرعت محور خردکن، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی و تعداد تیغه‌های روی هر فلانج روی ظرفیت کوبش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل هیچکدام از تیمارها، روی ظرفیت کوبش معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). میانگین ظرفیت کوبش خردکن در خرد کردن کاه گندم ۱۳۸/۳۵ کیلوگرم بر ساعت بدست آمد که از ۴۷/۳۰ تا ۲۴۵/۲۸ کیلوگرم بر ساعت متغیر بود. در ادامه در مورد تأثیر هر کدام از متغیرهای خردکن، روی ظرفیت کوبش آن توضیح داده می‌شود.

میانگین ظرفیت کوبش خردکن با افزایش سرعت محور خردکن از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه، به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) از ۷۸/۱۵ به ۲۰۵/۸۹ کیلوگرم بر ساعت، افزایش یافت (جدول۲). همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، ظرفیت کوبش با افزایش سرعت محور خردکن از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه، برای اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر، به ترتیب از ۵۸/۰۰ تا ۱۷۸/۲۷ کیلوگرم بر ساعت و ۹۸/۳۰ تا ۲۳۳/۵۲ کیلوگرم بر ساعت، افزایش یافت. نتیجه‌ی به دست آمده با یافته‌های Vejasit & Salokhe (2004) برای کوبیدن سویا، مطابقت داشت. نتایج آنها نشان داد که ظرفیت کوبش با افزایش سرعت استوانه‌ی کوبش از ۴۰۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه، در رطوبت‌های دانه‌ی ۱۴/۳۴، ۲۲/۷۷ و ۳۲/۸۸ درصد بر مبنای تر، به ترتیب از ۱۴۳/۸۰ تا ۲۱۴/۱۷، ۱۴۱/۷۹ تا ۲۰۴/۷۴ و ۱۳۹/۷۰ تا ۱۹۵/۳۰ کیلوگرم بر ساعت، افزایش می‌یابد.

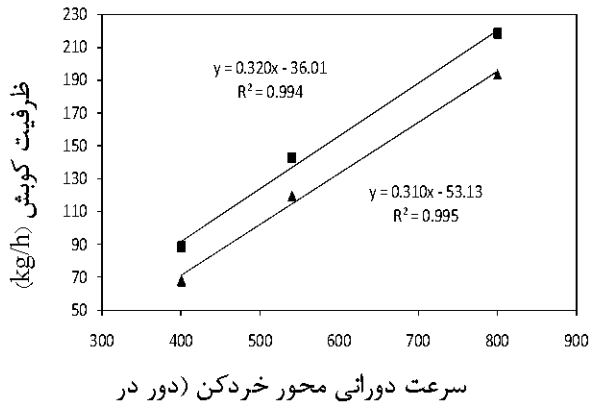


شکل۶- تأثیر سرعت محور خردکن و اندازه‌ی سوراخ‌های سینی روی ظرفیت کوبش خردکن؛ (▲) اندازه‌ی سوراخ سینی ۲/۵ سانتی‌متر و (■) اندازه‌ی سوراخ سینی ۴ سانتی‌متر.

ظرفیت کوبش به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) تحت تأثیر اندازه‌ی سوراخ‌های سینی قرار گرفت و با افزایش اندازه‌ی سوراخ‌های سینی، افزایش یافت (جدول۲). با توجه به این واقعیت که استفاده از سینی با سوراخ‌های بزرگتر باعث کاهش دوباره کوبش کاه می‌شود و در نتیجه تغذیه کاه به خردکن با سرعت بیشتری می‌تواند صورت گیرد، این روند افزایشی قابل توجیه است. اثر متقابل سرعت محور خردکن و اندازه‌ی سوراخ‌های سینی بر ظرفیت کوبش، در شکل (۶) نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، تعداد تیغه‌های روی هر فلانج اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) روی ظرفیت کوبش داشت. با افزایش تعداد تیغه‌ها، ظرفیت کوبش نیز افزایش یافت. میانگین ظرفیت کوبش با افزایش سرعت محور کوبش از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه، برای تعداد ۴ و ۸ تیغه روی هر فلانج، به ترتیب از ۶۷/۸۲ تا ۱۹۳/۴۸ و ۸۸/۴۸ تا ۲۱۸/۳۰ کیلوگرم بر ساعت، افزایش یافت (شکل۷).

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین ظرفیت کوبش، ۲۴۵/۲۸ کیلوگرم بر ساعت بود که مربوط می‌شد به سرعت محور ۸۰۰ دور در دقیقه، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۴ سانتی‌متر و تعداد ۸ تیغه روی هر فلانج. همچنین کمترین ظرفیت کوبش، ۴۷/۳۰ کیلوگرم بر ساعت بود که به سرعت محور ۴۰۰ دور در دقیقه، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۲/۵ سانتی‌متر و تعداد ۴ تیغه روی هر فلانج، مربوط می‌شد.



شکل۷- تأثیر سرعت محور خردکن و تعداد تیغه‌های روی هر فلانج روی ظرفیت کوبش خردکن؛ (▲) ۴ تیغه و (■) ۸ تیغه روی هر فلانج.

همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، قطعات خرد شده‌ی کاه گندم، با استفاده از الک‌های ۲/۵ و ۴ سانتی‌متری، به سه دسته‌ی قطعات کوچکتر از ۲/۵ سانتی‌متر، قطعات بین ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر و قطعات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر، تقسیم‌بندی شدند. نتایج نشان داد تنها در تولید ذرات کوچکتر از ۲/۵ سانتی‌متر، تفاوت معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) بین سرعت‌ها وجود دارد که در این بین سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه، بیشترین سهم و سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه، کمترین سهم را در تولید این اندازه‌ی ذرات داشتند. همچنین ذرات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر، در هر سه سرعت، بیشترین سهم از کل ذرات را داشتند. همچنین سینی با سوراخ‌های ۲/۵ سانتی‌متری، ذرات ریزتری تولید

می‌کند. در تولید ذرات کوچکتر از ۲/۵ سانتی‌متر و بزرگتر از ۴ سانتی‌متر، بین اندازه‌ی سوراخ‌های سینی تفاوت معنی‌دار (در سطح احتمال ۱ درصد) وجود داشت، ولی در تولید اندازه‌ی ذرات بین ۲/۵ و ۴ سانتی‌متر، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. برای اندازه‌ی سوراخ سینی ۲/۵ سانتی‌متر، ذرات کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر و برای اندازه‌ی سوراخ سینی ۴ سانتی‌متر، ذرات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر، بیشترین سهم از کل ذرات را داشتند. نتایج همچنین نشان داد که در تولید هر سه دسته اندازه‌ی ذرات، بین تعداد تیغه‌های روی هر فلانج، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین می‌توان گفت، تعداد تیغه‌های روی هر فلانج، بر اندازه‌ی قطعات خرد شده کاه گندم تأثیر ندارد. قطعات بزرگتر از ۴ سانتی‌متر، در هر دو حالت تعداد تیغه‌ها، بیشترین سهم از کل ذرات را داشتند.

بر اساس نتایج به دست آمده، ریزترین حالت برای اندازه‌ی ذرات خرد شده کاه گندم، مربوط به سرعت محور ۵۴۰ دور در دقیقه، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۲/۵ سانتی‌متر و تعداد ۸ تیغه روی هر فلانج، می‌شد. همچنین درشت‌ترین حالت برای اندازه‌ی ذرات خرد شده کاه گندم، مربوط به سرعت محور ۴۰۰ دور در دقیقه، اندازه‌ی سوراخ‌های سینی ۴ سانتی‌متر و تعداد ۴ تیغه روی هر فلانج می‌شد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی دستگاه کاه خردکن مجهز به سامانه تخلیه بود. نتایج زیر از انجام این تحقیق حاصل شد:

برای سرعت دورانی محور خردکن، محدوده‌ی ۵۴۰ تا ۸۰۰ دور در دقیقه، بهترین سرعت تشخیص داده شد. به دو دلیل: الف- در سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه دستگاه ظرفیت پایینی داشت و قطعات کاه با استفاده از این سرعت بسیار درشت بودند. هر چند در این سرعت دورانی توان کمتری مصرف می‌کرد ولی استفاده از آن توصیه نمی‌شود؛ ب- بین این دو سرعت در اندازه قطعات خرد شده کاه تفاوت وجود نداشت و ظرفیت کوبش هر دو زیاد بود. بنابراین، در جاهایی که محدودیت توان مصرفی وجود دارد از سرعت‌های پایین‌تر (نزدیک به ۵۴۰ دور در دقیقه) و در جاهایی که چنین محدودیتی وجود ندارد برای داشتن ظرفیت کوبش بالاتر از سرعت‌های بالاتر (نزدیک به ۸۰۰ دور در دقیقه) استفاده شود.

با کاهش اندازه سوراخ‌های سینی، توان مصرفی افزایش و ظرفیت کوبش کاهش یافت. بنابراین، در انتخاب نوع سینی برای دستگاه، اگر اولویت ریزتر بودن کاه بود و محدودیتی برای توان مصرفی وجود نداشت سینی با سوراخ‌های ۲/۵ سانتی‌متری توصیه می‌شود، ولی اگر محدودیت توان وجود داشت، باید از سینی با سوراخ‌های ۴ سانتی‌متر استفاده کرد که در این صورت ظرفیت کوبش هم بالاتر خواهد بود.

تعداد تیغه‌های روی هر فلانج، بر اندازه‌ی ذرات خرد شده کاه تأثیر نداشت. ریزترین حالت برای اندازه ذرات خرد شده کاه گندم، مربوط به سرعت محور ۵۴۰ دور در دقیقه، اندازه سوراخ‌های سینی ۲/۵ سانتی‌متر و تعداد ۸ تیغه روی هر فلانج، می‌شد.

با افزایش تعداد تیغه‌های روی هر فلانج، توان مصرفی کاهش و ظرفیت کوبش افزایش یافت. چون بین تعداد تیغه‌ها در اندازه‌ی ذرات خرد شده کاه تفاوت وجود ندارد، توصیه می‌شود از تعداد ۸ تیغه روی هر فلانج استفاده شود تا هم توان مصرفی کاهش یابد و هم ظرفیت کوبش دستگاه افزایش یابد.

REFERENCES

Anonymous. (2006). FAOSTAT Database Results. Retrieved February 20, 2009, from http://www.fao.org/.

Arnold R.E. & Lake R.J. (1964) Experiments with Resp -Bar Threshing Drum. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9, 348-355.

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

Holtzapple M.T., Humphrey A.E. & Taylor J.D. (1989) Energy requirements for the size reduction of poplar and aspen wood. *Biotechnology and Bioengineering*, 33, 207–210.

Nazari Galedar M. (2008) *Design, Fabrication and Evaluation of Straw Thresher Machine Equipped with a Discharge System*. M.Sc dissertation, University of Tehran, Karaj, Iran (In Farsi).

Saebi Monfared H. & Sedaghat Hosseini S.M. (2006) *Test and evaluation of agricultural machinery and equipment*. (In Farsi)

Sitkei G. (1986) *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amsterdam.

Sudajan S., Salokhe V.M. & Triratanasirichai K. (2002) Effect of type of drum, drum speed and feed rate on sunflower threshing. *Biosystems Engineering*, 83 (4), 413–421.

Sudhagar M., Tabil L. & Sokhansanj S. (2004) Grinding performance and physical properties of wheat and barley straw, corn stover and switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 27, 339-357.

Tavakoli H., Mohtasebi S.S., Jafari A. & Mahdavinejad D. (2009) Power requirement for particle size reduction of wheat straw as a function of straw threshing unit parameters. *Australian Journal of Crop Science*, 3(4), 231–236.

Vejasit A., & Salokhe V.M. (2004) Studies on

machine-crop parameters of an axial flow thresher for threshing soybean. *Agricultural Engineering International*: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 04 004, retrieved February 20, 2009, from http:// www. cigrjournal. org/ index.Php /Ejounral.