نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴، ص ۱۹۰-۱۸۴

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 1, Spring - Summer 2015, p. 184-190

اثر سرعت دورانی استوانه کوبنده و نرخ تغذیه بر آسیب‌های مکانیکی وارده به دانه گندم در عملیات خرمنکوبی

عبداله ایمان‌مهر[1*]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۷
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۵

چکیده

در این تحقیق اثر سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه مواد در عملیات خرمنکوبی بر میزان آسیب دانه گندم بررسی شد. یک ماشین خرمنکوب چکشی محلی جهت کوبش دانه‌های گندم در سه سطح مختلف سرعت استوانه کوبش (۱۱، ۲۰ و ۳۶/۷ متر بر ثانیه) و در سه نرخ تغذیه (۰/۰۱۳، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه) استفاده گردید. افزایش سرعت استوانه از ۱۱ به ۲۰ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده را از ۰/۰۱٪ به ۱/۹۵٪ و غیر قابل مشاهده را از ۲/۱۳٪ به ۱۶/۵٪ افزایش داد. با افزایش سرعت استوانه به ۳۶/۷ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده به ۲۴/۳٪ و آسیب‌های غیر قابل مشاهده به ۳۶/۸۵٪ رسید. از طرف دیگر با افزایش نرخ تغذیه از ۰/۰۱۳ تا ۰/۰۲۵ و سپس ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه، درصد دانه‌های شکسته به‌ترتیب به ۲۱/۱۷٪ و ۳۱/۸٪ کاهش یافت. آزمون جوانه‌زنی نشان داد که هر دو نوع جوانه‌زنی (قابل مشاهده و پیشنهادی) با افزایش سرعت استوانه، کاهش و با افزایش نرخ تغذیه، افزایش می‌یابد. میزان رسانایی الکتریکی دانه‌های خرمنکوبی شده رابطه مستقیمی با افزایش سرعت استوانه و کاهش نرخ تغذیه دارد. رقم‌های Sids10 و Sohag1 به‌ترتیب بادوام‌ترین و ضعیف‌ترین رقم به‌کار رفته در این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: آسیب مکانیکی و کیفیت دانه، آزمون جوانه‌زنی، خرمنکوبی دانه گندم

مقدمه

تعیین آن دسته از ویژگی‌های محصول یا ماشین که منجر به کسب اطلاعاتی از خصوصیات محصول نهایی گردد، سبب افزایش کیفیت فرآورده نهایی آن محصول پس از فرآوری می‌شود که خود تأثیر عمده‌ای بر کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده محصول خواهد داشت. گندم یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که در جیره غذایی سه چهارم مردم جهان قرار دارد. به‌همین علت در طول بیش از هفت دهه، تحقیقات بسیاری با هدف تولید بیشتر و فرآوری بهتر این محصول انجام شده است. در این میان، تعیین خصوصیات کیفی گندم، به‌ویژه به‌دلیل تأثیر آن بر کیفیت محصول نهایی (به‌طور اخص نان) از جایگاه خاصی برخوردار بوده است (Catteral, 1998). کیفیت دانه توسط برخی عوامل در حین فرآیند تولید، انتقال و ذخیره‌سازی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برخی آسیب‌های مکانیکی دانه به‌دلیل استفاده از ماشین‌های خرمنکوب غیر استاندارد و محلی تحت شرایط نامتعارف اتفاق می‌افتد. بنابراین دانه‌های آسیب دیده (قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده) دچار تلفات معنی‌داری به‌ویژه هنگام انجام عملیات کاشت می‌شوند. عموماً نه تنها اثرات فوری آسیب بر روی کیفیت دانه معنی‌دار است، بلکه اثرات تأخیری آن بر روی کیفیت دانه بیشتر و از لحاظ اقتصادی بسیار مهم است (Mc-Donald, 1985). آسیب‌های مکانیکی ناشی از ضربات، به‌ویژه در حین عملیات برداشت، خرمنکوبی و خشک کردن دانه گندم نتیجه می‌شود. امروزه با وجود مراکز آسیاب گندم با ظرفیت بالا، استفاده از روش‌های حسی (غیر مکانیزه) جهت کنترل کیفی گندم، توجیه‌پذیر نیست و یک کارخانه آرد برای تشخیص کیفیت یک توده گندم که به‌طور پیوسته به سمت غلتک‌های آسیابی در حرکت است به یک سامانه تشخیص کیفی مکانیزه نیاز می‌باشد (Chung *et al*., 1975; Kuhlman *et al*., 1979; Obuchowaski and Bushuk, 1980; Wu and Nelson, 1991). نتایج بررسی اثر پارامترهای ماشین-محصول بر عملکرد یک خرمنکوب جریان محوری در خرمنکوبی سویا نشان داد که راندمان کوبش از ۹۸ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند. بهترین ترکیب نرخ تغذیه و سرعت استوانه کوبش در محتوی رطوبت ۱۴/۳٪ و سرعت استوانه ۱۵/۴-۱۳/۲ متر بر ثانیه و نرخ تغذیه ۷۲۰ کیلوگرم بر ثانیه به‌دست آمد (Vejasit and Salokhe, 2006).

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک
(*- نویسنده مسئول: (Email: a-imanmehr@araku.ac.ir

مطالعه اثر محتوی رطوبتی و سرعت استوانه کوبش بر خرمنکوبی نخود نشان داد که بیشترین راندمان خرمنکوبی در محتوی رطوبتی ۸/۹٪ با سرعت استوانه ۱۰/۱ متر بر ثانیه، ۹۷/۲٪ است (Rani *et al.*, 2001). ارزیابی اثرات محتوی رطوبتی، فاصله کوبش، سرعت استوانه و نرخ تغذیه بر عملکرد کوبش و میزان دانه‌های بامیه آسیب دیده نشان داد که محتوی رطوبتی دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد خرمنکوبی و جوانه‌زنی دانه‌هاست و اثر سرعت استوانه تنها بر عملکرد خرمنکوبی معنی‌دار گردید (Ajav and Adejumo, 2005). در مطالعه دیگری سرعت استوانه کوبش و محتوی رطوبتی دارای اثر معنی‌داری بر راندمان خرمنکوبی نخود و درصد دانه‌های آسیب دیده شد ولی رقم نخود اثر معنی‌داری بر راندمان خرمنکوبی و درصد دانه‌های آسیب دیده نداشت (Khazaee, 2002). تا به حال مطالعات گسترده‌ای در زمینه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است، اما این مطالعات عمدتاً با هدف استخراج خواص مهندسی انجام شده و کمتر با بررسی ویژگی‌های کیفی مرتبط بوده است. براساس آنچه ذکر شد، هدف از این تحقیق بررسی اثر پارامترهای نرخ تغذیه و سرعت استوانه کوبش بر کیفیت دانه‌های گندم خرمنکوبی شده توسط یک خرمنکوب چکشی محلی در استان مرکزی (شهرستان اراک) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سه رقم مختلف دانه گندم وارداتی Giza163، Sids10 و Sohag1 برای انجام آزمایش‌ها از وزارت جهاد کشاورزی استان مرکزی تهیه گردید و در یک مزرعه آزمایشی در شهرستان اراک کشت گردید. تمام پلات‌ها به‌صورت دستی برداشت شد و در بسته‌های نایلونی ۵ کیلوگرمی به آزمایشگاه خواص محصولات کشاورزی دانشگاه اراک منتقل گردید. رطوبت اولیه نمونه‌ها ۱۳/۵ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری گردید. سپس ساقه‌های گندم در سه دوره خشک کردن هوایی ۷، ۱۲ و ۱۷ روزه قرار داده شدند. پس از اتمام هر دوره خشک کردن، محتوی رطوبتی دانه‌ها برای رقم Giza163، ۹/۱، ۸/۹ و ۷/۳٪ برای رقم Sids10، ۹/۲، ۷/۹ و ۷/۱٪ و برای رقم Sohag1، ۹/۰، ۷/۹ و ۷/۳٪ تعیین گردید و بلافاصله در معرض کوبش خرمنکوب قرار گرفت. فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان آسیب دانه در خلال کوبش توسط یک ماشین خرمنکوب نوع چکشی محلی آزمایش گردید (شکل ۱). ماشین خرمنکوب دارای استوانه کوبشی به قطر ۷۳ سانتی‌متر و طول ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد و توان دورانی خرمنکوب توسط یک تراکتور MF285[1] تأمین گردید و با تغییر جهت تغییر سرعت محور دورانی تراکتور از طریق گاز دستی، سرعت استوانه کوبش تغییر داده شد. توسط یک دورسنج دیجیتال دور استوانه کوبش ۶۰۰ rpm (۱۱ m s^{-1})، ۱۰۹۰ rpm (۲۰ m s^{-1}) و ۲۰۰۰ rpm (۳۶/۷ m s^{-1}) به‌دست آمد.

شکل ۱- نمای خرمنکوب چکشی مورد استفاده برای گندم

Fig.1. View of hammer thresher was used for wheat grain

آزمایش در سه سطح سرعت ۱۱، ۲۰ و ۳۶/۷ متر بر ثانیه و سه نرخ تغذیه ۰/۰۱۳، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه انجام شد. هر آزمایش پنج بار تکرار گردید و برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. در این مقاله تنها نتایج حاصل از اثر دو پارامتر سرعت استوانه و نرخ تغذیه با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی و نوع رقم دانه گندم بررسی گردید.

درصد آسیب قابل مشاهده (درصد دانه‌های شکسته)

نمونه‌هایی ۲۰ گرمی از هر رقم وزن گردید (W_t) و دانه‌های شکسته موجود در آن به‌طور دستی و با کمک ذره‌بین جدا و توزین شد (W_b). با داشتن وزن متوسط هر دانه (M_w) برحسب گرم، تعداد دانه‌های شکسته (B_k) وکل دانه‌ها (T_k) به‌ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$B_K=\frac{W_b}{M_w} \quad (۱)$$

$$T_K=\frac{W_t}{M_w} \quad (۲)$$

سپس درصد دانه‌های شکسته (B_k٪) به‌صورت رابطه (۳) به‌دست آمد.

$$B_K\%=\frac{B_k}{T_k}\times 100 \quad (۳)$$

درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده

نمونه‌هایی شامل ۴۰۰ دانه از هر رقم در ۴ تکرار انتخاب و بر روی کاغذ در پتری دیش‌های ۱۲/۵ سانتی‌متری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای یک دوره ۷ روزه کشت داده شد (ISTA, 1996). تنها دانه‌های شکسته نشده در این آزمایش انتخاب گردید و دانه‌های شکسته دور انداخته شد. درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده (G_v) به‌صورت رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$G_v = \frac{\text{تعداد دانه‌های جوانه زده}}{\text{کل دانه‌های کشت شده}} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

درصد آسیب غیر قابل مشاهده

پس از انجام آزمون جوانه‌زنی، از آنجایی‌که فقط دانه‌های به ظاهر سالم (دانه‌هایی که دارای ترک‌های قابل دید نباشند) انتخاب گردید، لذا دانه‌های جوانه نزده (مرده) و دانه‌هایی که جوانه‌های ضعیف و یا دارای رشد غیر طبیعی داشتند شمارش گردید و تحت عنوان دانه‌هایی با آسیب غیر قابل دید دسته‌بندی شد. بدین ترتیب درصد آسیب غیر قابل مشاهده در هر رقم با رابطه (۵) محاسبه شد.

$$\text{درصد آسیب غیر قابل مشاهده} = \frac{\text{دانه‌های مرده + دانه‌های جوانه زده ضعیف و غیر طبیعی}}{\text{کل دانه‌های مورد استفاده در آزمون جوانه‌زنی}} \times ۱۰۰ \qquad (۵)$$

درصد جوانه‌زنی پیشنهادی

از آنجایی‌که دانه‌های شکسته در نمونه‌های انتخابی برای جوانه‌زنی حذف می‌شوند، درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده به‌صورت کامل نشان نمی‌دهد که چقدر دانه‌های آسیب دیده کیفیت دانه‌ها را کاهش می‌دهند. بنابراین جوانه‌زنی پیشنهادی محاسبه می‌گردد تا درصد جوانه‌زنی را با فرض این‌که تمام دانه‌ها شکسته نشده باشند نشان دهد. بنابراین جوانه‌زنی پیشنهادی (G_p) بسته به میزان آسیب قابل مشاهده در هر آزمایش کمتر از جوانه‌زنی قابل مشاهده (G_v) است و با داشتن تعداد دانه‌های شکسته (B_k) به‌صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$G_p\% = (100 - B_k) \times G_v\% \qquad (۶)$$

رسانایی الکتریکی بافت دانه

این آزمایش جهت تعیین میزان آسیب پوسته دانه انجام گردید. زیرا بین تراوش الکترولیت دانه‌ها و میزان سالم بودن پوسته یک همبستگی وجود دارد. با استفاده از یک دستگاه EC متر، رسانایی بافت دانه اندازه‌گیری شد (Oliveira *et al*., 1984).

نتایج و بحث

اثر سرعت استوانه کوبش

قطر هندسی متوسط دانه‌ها ۳/۳۵، ۴/۱۰ و ۳/۵۰ میلی‌متر به‌ترتیب برای رقم‌های Sids10، Sohag1 و Giza163 به‌دست آمد. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج، اثر فاکتورهای رطوبت و سرعت استوانه کوبش بر پارامترهای کیفی مورد ارزیابی در این تحقیق معنی‌دار شده است. نتایج بررسی اثر برخی واریته‌های گندم بر عملکرد خرمنکوبی حاکی از این است که محتوی رطوبتی، سرعت استوانه کوبش و فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده بر خرمنکوبی گندم اثر معنی‌داری دارد (Wacker, 2003).

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای کیفیت دانه‌های گندم خرمنکوبی شده

Table 1- Analysis of variance on quality parameters of threshed wheat grain

Source	df	Mean of square				
		Broken kernel%	**Invisible damage%**	**Visual germination%**	**Propositional germination%**	**EC µmho g^{-1}**
Moisture%	2	80.3**	75.8**	43.3**	11.8*	30.5*
Drum speed	2	56.1*	27.6*	93.3**	9.8**	48.4**
Feed rate	2	45.5^{ns}	32.0^{ns}	28.7^{ns}	18.6^{ns}	168.6^{ns}
Moisture×Drum speed	4	3.1^{ns}	5.2^{ns}	15.1**	0.7^{ns}	3.1^{ns}
Moisture×Feed rate	4	9.6*	5.6*	4.4*	1.8^{ns}	21.4*
Drum speed×Feed rate	4	5.3^{ns}	2.9*	13.3*	1.7*	5.6*
Moisture×Drum speed×Feed rate	8	2.7^{ns}	4.1^{ns}	2.9^{ns}	1.6^{ns}	1.6^{ns}
Total	243					

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

جدول ۲- اثر سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر کیفیت دانه‌های گندم خرمنکوبی شده

Table 2- Effect of drum speed and feed rate on quality of threshed wheat grain

Characters		Broken kernel%	Invisible damage%	Visual germination%	Propositional germination%	EC μmho g^{-1}
Drum speed ($m\ s^{-1}$)	11	0.01	2.13	94.37	94.35	36.46
	20	1.95	16.57	72.85	71.77	53.41
	36.7	24.30	36.85	46.74	38.85	94.94
L.S.D.		0.51	1.58	1.85	1.74	1.02
Feed rate ($kg\ s^{-1}$)	0.013	10.63	18.61	70.33	66.89	66.19
	0.025	8.38	19.17	72.33	69.40	59.75
	0.05	7.25	17.78	71.30	68.67	58.88
L.S. D. 5%		ns	ns	ns	ns	1.02

داده‌های ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که افزایش سرعت استوانه از ۱۱ تا ۲۰ متر بر ثانیه به‌ترتیب باعث افزایش آسیب قابل مشاهده از ۰/۰۱٪ به ۱/۹۵٪ و غیر قابل مشاهده از ۲/۱۳٪ به ۱۶/۵٪ شده است و زمانی‌که بیشترین سرعت استوانه (۳۶/۷ متر بر ثانیه) برای ماشین خرمنکوب به‌کار گرفته شد، آسیب قابل مشاهده به ۲۴/۳٪ و غیر قابل مشاهده به ۳۶/۸۵٪ رسید. بنابراین هرچند با افزایش سرعت استوانه کوبش، راندمان خرمنکوب (جدایی دانه از کاه و کلش) افزایش می‌یابد ولی سرعت استوانه کوبش کم باعث تولید دانه با کیفیت بهتری نسبت به سرعت کوبش بیشتر می‌شود. در نتایجی مشابه دیده شد که درصد وزن دانه‌های زیره جدا شده با افزایش سرعت استوانه کوبش از ۱۲/۸ متر بر ثانیه به ۱۶/۵ متر بر ثانیه (۹۰۰–۷۰۰ دور بر دقیقه) افزایش می‌یابد (Saiedirad and Javadi, 2011) و در یک تحقیق، خرمنکوبی سویا نشان داد راندمان خرمنکوبی با افزایش سرعت استوانه کوبش از ۶۰۰ تا ۷۰۰ دور بر دقیقه بیشتر می‌شود (Vejasit and Salokhe, 2006)، ولی در هر دو تحقیق تلفات کوبش با افزایش سرعت استوانه بیشتر و کیفیت دانه کاهش پیدا کرد.

همچنین درصدهای جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی با افزایش سرعت کوبش کاهش می‌یابد. از آنجایی‌که تنها دانه‌های شکسته نشده در آزمایش‌های جوانه‌زنی به‌کار برده شد که شامل دانه‌های آسیب دیده غیر قابل دید (با درصدهای ۲/۱۳، ۱۶/۵۷ و ۳۶/۸۵ برای سه سرعت استوانه کوبش) نیز بود. بنابراین، با افزایش آسیب‌های غیر قابل مشاهده دانه‌ها، درصد جوانه‌زنی پیشنهادی که این مقادیر به‌عنوان پارامتر ورودی آزمایش در آن استفاده می‌شود و از کل تعداد دانه‌های به‌کار رفته در آزمون جوانه‌زنی کم می‌شود کاهش می‌یابد و در نتیجه درصد جوانه‌زنی پیشنهادی نسبت به درصد جوانه‌زنی قابل دید از ۹۴/۳۷ به ۹۴/۳۵٪، از ۷۲/۸۵ به ۷۱/۷۷٪ و از ۴۶/۷۴ به ۳۸/۸۵٪ به‌ترتیب برای سرعت‌های ۱۱، ۲۰ و ۳۶/۷ متر بر ثانیه کاهش یافته است. در برخی حالات دانه‌ها بدون تمیز شدن و درجه‌بندی در فرآیند کشت مزرعه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و چون درصد بالایی از دانه‌ها شکسته است بنابراین خلوص دانه‌ها کاهش می‌یابد. هرچند کاربرد این نوع دانه‌ها به‌صورت تمیز شده و درجه‌بندی در عملیات کاشت نیز یک عملیات کشت ضعیف ایجاد خواهد نمود، زیرا دارای درصد بالایی از دانه‌های آسیب دیده غیر قابل مشاهده است. هرگونه شکستگی ساختار غشاء سلولی نه تنها بر قابلیت نفوذ غشاء پلاسما بلکه بر بخش‌های درون سلولی و سیستم‌های متابولیکی تأثیرگذار است. تغییر در ساختار غشاء دارای پیامدهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی وسیعی است که باعث زوال دانه‌ها می‌گردد. بنابراین دانشمندان شکست ساختار غشاء را دلیل از دست رفتن قابلیت زیست و کیفیت دانه می‌دانند (Arnold and Rake, 1964). این پدیده نشان می‌دهد که عامل افزایش رسانایی الکتریکی (EC) از ۳۶/۴۶ به ۵۳/۴۱ و ۹۴/۹۴ μmho g^{-1} زمانی است که سرعت استوانه کوبش به‌ترتیب از ۱۱ تا ۲۰ و ۳۶/۶ متر بر ثانیه شتاب می‌گیرد. بنابراین نتیجه می‌گردد که سرعت استوانه کوبش کمتر، دانه‌هایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر تولید می‌کند. به‌طور مشابه، درصد وزن ساقه‌های خرد شده و دانه‌های آسیب دیده نخود با افزایش سرعت استوانه کوبش، افزایش یافت (Khazaee, 2002).

اثر نرخ تغذیه

میزان تغذیه دانه به‌عنوان یک فاکتور کنترل کننده کیفیت دانه در نظر گرفته می‌شود. داده‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش نرخ تغذیه از ۰/۰۱۳ به ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه درصد دانه‌های شکسته به‌ترتیب ۲۱/۱۷ و ۳۱/۸٪ کاهش یافته است (جدول ۲). تفاوت‌ها در سطح اطمینان ۵٪ معنی‌دار نشده است ولی مطالعه‌ای دیگر نشان داد که میزان آسیب وارده به دانه گندم زمانی‌که سرعت جریان تغذیه مواد به ادوات خرمنکوبی تا حد بارگذاری قابل قبول استوانه کوبش افزایش یابد، کاهش می‌یابد (Spokas *et al.*, 2008).

جدول ۳- اثرات متقابل سرعت استوانه و نرخ تغذیه بر کیفیت دانه‌های گندم خرمنکوبی شده

Table 3- Interaction effects of drum speed and feed rate on quality of threshed wheat grain

Interaction between drum speed and feed rate		Broken kernel%	Invisible damage%	Visual germination%	Propositional germination%	EC μmho g^{-1}
Drum speed 11 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	0.017	3.33	94.22	94.30	37.80
	0.025 (kg s^{-1})	0.00	1.11	93.88	93.88	36.19
	0.050 (kg s^{-1})	0.00	1.94	95.00	94.97	35.38
Drum speed 20 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	2.41	16.11	71.33	70.06	53.97
	0.025 (kg s^{-1})	1.61	18.61	75.44	74.67	53.90
	0.050 (kg s^{-1})	1.76	15.00	71.77	70.56	50.52
Drum speed 36.7 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	29.38	36.38	45.44	35.09	104.53
	0.025 (kg s^{-1})	23.53	37.77	50.66	39.65	89.55
	0.050 (kg s^{-1})	20.03	36.38	47.11	40.47	90.70
L.S.D 5%		ns	8.22	9.60	9.06	5.31

وجود مقادیر زیاد خوشه‌ها به‌همراه کاه، خرده کاه و پوسته باعث جذب بیشتر نیروی ضربه کوبش و کاهش درصد دانه‌های شکسته در حین عملیات خرمنکوبی می‌گردد. نتایج مشابه کوبش گندم نشان داد که آسیب مکانیکی وارد بر دانه‌های گندم به شدت به نرخ تغذیه حساس است به‌گونه‌ای که آسیب مکانیکی با افزایش نرخ تغذیه کاهش می یابد (Helmy, 1988).

اثر متقابل سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه

نتایج اثرات متقابل فاکتورهای سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر پارامترهای کیفی گندم خرمنکوبی شده در جدول ۳ ارائه شده است.

اثر متقابل فاکتورها بر آسیب قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده

براساس نتایج جدول ۳ بین میانگین درصد دانه‌های شکسته شده، اختلاف معنی‌داری ناشی از اثر متقابل سرعت استوانه و نرخ تغذیه مواد مشاهده نمی‌شود. دانه‌ها ممکن است در حین خرمنکوبی در معرض آسیب داخلی و غیر قابل مشاهده قرار گیرند. بافت‌های آسیب دیده معمولاً کاهش سریع واکنش به‌دلیل میزان بالای تنفس و یا حمله میکروبی به بافت‌های آسیب دیده را نشان می‌دهند. سرعت استوانه کوبش پایین (۱۱ m s^{-1}) باعث آسیب قابل ملاحظه‌ای تنها در رقم Sohag1 در محتوی رطوبتی متوسط و زیاد در نرخ تغذیه ۰/۰۱۳ کیلوگرم بر ثانیه گردید. در ضمن هیچ آسیب داخلی در واریته‌های Giza163 و Sids10 تحت سرعت استوانه (۱۱ m s^{-1}) دیده نشد. افزایش سرعت استوانه تا ۳۶/۷ متر بر ثانیه باعث آسیب داخلی معنی‌داری گردید به‌طوری‌که محدوده‌ی آسیب‌ها از ۳۲/۵٪ تا ۴۷/۵٪، از ۲/۵٪ تا ۳۷/۵/۵٪ و از ۴۲/۵٪ تا ۷۰٪ به‌ترتیب برای رقم‌های Giza163، Sids10 و Sohag1 افزایش یافت. این مقادیر نشان می‌دهد که رقم Sids10 بادوام‌ترین رقم است که بیشترین سرعت استوانه را تحمل می‌کند و رقم Sohag1 ضعیف‌ترین رقم به‌کار رفته در این تحقیق است.

اثر متقابل فاکتورها بر درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده و جوانه‌زنی پیشنهادی

همین که آسیب‌های قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده افزایش یابد، درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی کاهش می‌یابد. براساس نتایج جدول ۳ زمانی‌که آسیب غیر قابل مشاهده افزایش یابد، درصد جوانه‌زنی پیشنهادی کم می‌شود. اختلاف متمایزی بین تغییرات جوانه‌زنی قابل مشاهده و جوانه‌زنی پیشنهادی وجود دارد. این تغییرات به مقادیر آسیب مشاهده شده در نمونه‌ها بستگی دارد. یک اختلاف قابل توجه بین این دو نوع جوانه‌زنی زمانی به‌دست آمد که دانه‌ها توسط ماشین خرمنکوب با سرعت استوانه کوبش ۳۶/۷ متر بر ثانیه کوبیده شدند. هر دو نوع جوانه‌زنی نشان دادند که به شدت توسط افزایش سرعت ماشین خرمنکوب در تمام مقادیر نرخ تغذیه تحت تأثیر قرار می‌گیرند. علاوه بر این، اثرات مخرب در دو رقم Sids10 و Sohag1 زمان خرمنکوبی در محتوی رطوبتی بالا (تقریباً ۹٪) درمقایسه با سطح رطوبت پایین (تقریباً ۷٪) بیشتر بود. اگرچه افزایش سرعت ماشین می‌تواند راندمان فرآیند خرمنکوبی را افزایش دهد، کیفیت دانه‌ها تحت چنین شرایطی به‌دلیل آسیب بالای رخ داده در سرعت زیاد کوبش، به شدت کم می‌شود. نرخ تغذیه در سه سرعت استوانه کوبش اثر معنی‌داری نداشته است به این معنی که هر دو نوع درصدهای جوانه‌زنی پاسخ معنی‌داری با نرخ تغذیه نشان ندادند.

اثر متقابل فاکتورها بر رسانایی الکتریکی دانه‌ها

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که فرآیند خرمنکوبی انجام شده در سرعت استوانه (۱۱ m s^{-1}) رسانایی الکتریکی تراوش دانه‌ها در مقایسه با سرعت استوانه متوسط و زیاد (۲۰ و ۳۶/۷ متر بر ثانیه) افزایش نیافته است یعنی این سرعت، باعث آسیب دیواره سلولی نشده است. در واریته Sohag1 آسیب غشاء در سرعت استوانه ۲۰ متر بر

ثانیه آسیب قابل ملاحظه‌ای دیده شد و این آسیب زمانی‌که سرعت استوانه به ۳۶/۷ متر بر ثانیه رسید، چشمگیرتر شد اگرچه در دو رقم دیگر نیز آسیب زیادی را در بیشترین سرعت استوانه کوبش داشتیم. این نتایج منطبق با نتایج آسیب مکانیکی (قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده) است که تضمین می‌کند رقم Sohag1 به شدت توسط سرعت بالای استوانه کوبش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خشک کردن دانه‌ها جهت کاهش محتوی رطوبتی (حدود ۷٪)، آسیب پدید آمده را در مقایسه با محتوی رطوبتی ۹٪ و سرعت بالای استوانه که باعث آسیب چشمگیری می‌شود، کاهش می‌دهد. نرخ تغذیه اثر قابل توجهی به‌ویژه در سرعت بالای استوانه دارد درحالی‌که افزایش نرخ تغذیه تا ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه اثر مخرب سرعت استوانه را کاهش می‌دهد.

در عملیات خرمنکوبی رقم‌های گندم Sids10، Sohag1 و Giza163 با افزایش سرعت استوانه تا ۳۶/۷ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده به ۲۴/۳٪ و آسیب‌های غیر قابل مشاهده به ۳۶/۸۵٪ افزایش یافت. درصدهای جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی با افزایش سرعت کوبش کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت استوانه کوبش کمتر، دانه‌هایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر تولید می‌کند. با افزایش نرخ تغذیه ماشین درصد دانه‌های شکسته کاهش یافت. آزمون جوانه‌زنی نشان داد که هر دو نوع جوانه‌زنی (قابل مشاهده و پیشنهادی) با افزایش سرعت استوانه کاهش و با افزایش نرخ تغذیه، افزایش می‌یابد. رقم Sids10 بادوام‌ترین رقم است که بیشترین سرعت استوانه را تحمل می‌کند و رقم Sohag1 ضعیف‌ترین رقم به‌کار رفته در این تحقیق است.

نتیجه‌گیری

منابع

1. Arnold, R. E., and J. R. Rake. 1964. Experiments with rasp-bar threshing drum: some factors affecting performance. Journal of Agricultural Engineering Research 9 (4): 348-355.
2. Ajav, E. A., and B. A. Adejumo. 2005. Performance evaluation of a thresher. Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal 3: 1-8.
3. Catteral, P. 1998. Flour milling. Pp 269-329 in P. S. Cauvian, and L. S. Young eds. Technology of Bread Making. Blackie Academic and Professional. UK.
4. Chung, C. J., S. J. Clark, J. C. Lindholm, R. J. McGinty, and C. A. Watson. 1975. The pearlograph technique for measuring wheat hardness. Transactions of The ASAE 17: 185-189.
5. Helmy, M. A. 1988. Threshing parameters affecting the performance of local and foreign wheat threshing machines. Misr Journal of Agriculture Engineering 5 (4): 329-343.
6. ISTA. 1996. International rules for seed testing association. Seed Science and Technology 24: 29-34.
7. Khazaee, J. 2002. Force requirement for pulling off chick pea pods as well as fracture resistance of chick pea pods and grains. PhD Thesis, Power and Machinery Department. Tehran University. Iran. (In Farsi).
8. Kuhlman, D. K., D. S. Chung, R. McGinty, and C. A. Watson. 1979. Modification of the pearler for wheat-hardness test. Transactions of ASAE 22: 881-885.
9. Mc-Donald, M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. Seed science and technology 13: 600-628.
10. Obuchowaski, W., and W. Bushuk. 1980. Wheat hardness: comparison of methods of its evaluation. Cereal Chemistry 57 (6): 421-425.
11. Oliveira, M. D., S. Matthews, and A. A. Powell. 1984. The role of spilt seed coats in determining seed vigour in commercial seed lots of soybean as measured by electrical conductivity test. Seed Science and Technology 12: 659-668.
12. Rani, M., N. K. Bansal, B. S. Dahiya, and R. K. Kashyap. 2001. Optimization of machine-crop parameters to thresh seed crop of chickpea. Agricultural Engineering Journal 10: 151-164.
13. Saiedirad, M. H., and A. Javadi. 2011. Study on machine-crop parameters of cylinder threshers for cumin threshing. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 13 (2): 1-5.
14. Spokas, L., D. Steponavicius, and S. Petkevicius. 2008. Impact of technological parameters of threshing apparatus on grain damage. Agronomy Research 6: 367-376.
15. Vejasit, A., and V. Salokhe. 2006. Studies on machine-crop parameters of an axial flow thresher for threshing soybean. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 37 (3): 32-38.
16. Wacker, P. 2003. Influence of crop properties on the threshability of cereal crops. Proceeding of International Conference on Crop Harvesting and Processing, Louisville, Kentucky, USA.

17. Wu, Y. V., and T. C. Nelsen. 1991. A simple, rapid method to measure wheat hardness by grinding time and speed reduction in a micro hammer-cutter mill. Cereal Chemistry 68: 343-346.