

اثر پارامترهای کاری بر بازده کوبنده به منظور کنترل افت کوبنده

علی میرزازاده¹، شمس‌اله عبدالله‌پور²، محمد مقدم³

تاریخ دریافت: 88/11/11 تاریخ پذیرش: 89/11/24

1- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

2- دانشیار گروه ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

3- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مسئول مکاتبه: E-mail: ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

کارکرد کمباین‌های غلات با سه عامل توان کوبش، افت محصول و مصرف سوخت سنجیده می‌شود. افت محصول مهمترین عامل از عوامل فوق می‌باشد که مجموع افت کمباین غلات در ایران به 20% و حتی بیشتر می‌رسد. یکی از راه‌های کاهش افت در کمباین غلات، تفکیک فرآیندها و ارائه مدل ریاضی متناسب برای تک تک آن‌ها بر پایه‌ی بررسی و اندازه‌گیری عوامل موثر در افت‌هاست. یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، عبارت از کوبش مواد می‌باشد که تاثیر بیشتری بر عملکرد کمباین دارد. بازده کوبنده با افت کوبنده رابطه عکس دارد. حداکثر کوبش مواد سبب کاهش کزل تولیدی و در نتیجه کاهش افت کوبنده می‌شود. ارتفاع ساقه، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده و سرعت دورانی کوبنده از عوامل کاری موثر در بازده کوبنده و افت کوبنده کمباین می‌باشند. در این راستا، یک آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار با کمباین سه‌سهند 68s انجام گرفت. متغیرهای مستقل مد نظر در این آزمایش عبارت بودند از: ارتفاع ساقه، نرخ تغذیه، نسبت لقی کوبنده و سرعت کوبنده. بازده کوبنده شدن مواد در کوبنده نیز به عنوان پارامتر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر چهار فاکتور روی میزان کوبش و در نتیجه افت واحد کوبنده در سطح احتمال 0/01 معنی‌دار و اثرات متقابل فاکتورها غیر معنی‌دار می‌باشد. به طوری که میزان کوبش با کاهش ارتفاع برش، کاهش شدت تغذیه، کاهش فاصله کوبنده و ضدکوبنده و افزایش دور کوبنده افزایش یافت. با توجه به معنی‌دار بودن اثر این چهار عامل روی کوبش و برای بیان رابطه ریاضی متغیرهای مستقل (ارتفاع ساقه، نرخ تغذیه، نسبت لقی کوبنده و سرعت کوبنده) با متغیر وابسته (میزان کوبش) از رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که یک رابطه معنی‌داری در سطح احتمال 0/001 بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. در نهایت مناسب‌ترین مدل برای میزان کوبش مواد (y_1) به ترتیب زیر برآورد شد:

$$y_1 = a_0 e^{(a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4)}$$

که در آن x_1 ، x_2 ، x_3 و x_4 به ترتیب ارتفاع ساقه، شدت تغذیه محصول، لقی کوبنده و سرعت کوبنده و a_0 ، a_1 ، a_2 ، a_3 و a_4 ضرایب ثابت می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ساقه، سرعت کوبنده، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده، کوبش کمباین، مدل‌سازی.

Effects of Operating Parameters on Threshing Efficiency Control the Amount of Threshing Loss

A Mirzazadeh^{1*}, ShA Abdollahpour² and M Moghaddam³

Received: 02 March 2010 Accepted: 13 February 2011

¹Phd student of Eng. of Agricultural Mechanization, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

²Assoc Prof, Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

³Prof, Dept of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail: ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Performance of grain harvesters is estimated by Threshing Power, losses fuel consumption. Grain loss is the most important of them. Total grain losses of combine harvesters in Iran is about 20% of production and sometimes higher. One of ways concern to loss reduction is separation of harvesting processes and providing a desire Mathematical Model for them by investing and measuring of important parameters in losses. Threshing is one of these processes which has more effect on combine performance. Threshing efficiency varies in reverse with threshing loss. It is desire to maximize threshing efficiency in threshing mechanism, because it will decrease the threshing losses and the load of separation mechanisms. Height of stem, feed rate, space between threshing drum and concave and rotational speed of threshing drum are operating factors which not only effect threshing efficiency but also combine loss. In order investigate the effect of mentioned parameters on threshing efficiency an experiment was conducted In $4 \times 3 \times 3$ factorial pattern with completely randomize blocks design. Independent variables in these experiments were stem height, feed rate, clearance ratio and rotational speed of threshing cylinder. Threshing efficiency was considered as dependent variable. Analysis of variance showed that all variables had significant effect on threshing efficiency but interaction effects of them were not significant ($P < 0.01$). Threshing efficiency increase when stem height, feed rate, and threshing clearance decreased. Also as rotational speed of cylinder increased, threshing efficiency increased. Multiple regression was used to express relation between dependent and independent parameters. The most compatible model for threshing of materials (y_1) was as follow: $y_1 = a_0 e^{(a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4)}$ Which x_1 , x_2 , x_3 and x_4 were stem height, feed rate, threshing clearance rate and speed of threshing cylinder respectively and a_0 , a_1 , a_2 , a_3 and a_4 were constants.

Keywords: combine, cylinder speed, feed rate, stem height, threshing clearance, modeling

مقدمه

کمتر از دوازده گونه گیاهی، بالاتر از 80 درصد غذای بشر را تامین می کنند. در میان این گیاهان، غلات نخستین جایگاه را دارد. محصولات غله ای اکثراً بوسیله کمباین های مخصوص غلات برداشت می شوند. که در آن عملیات برش ساقه، جداسازی دانه از غلاف (کوبش)، جداسازی دانه از مواد غیردانه ای (جداسازی)، تمیز کردن دانه و جمع کردن دانه به مخزن انجام می گیرد. کارکرد کمباین های غلات خود با سه عامل توان کوبش، افت محصول و میزان مصرف سوخت سنجیده می شوند. میزان افت ها که مهم ترین عامل از عوامل فوق می باشد خود به افت طبیعی (افت قبل از برداشت)، تلفات سکوی برش، تلفات کوبنده، تلفات واحد تمیزکننده و تلفات بدنه تقسیم می شود (بهروزی لار، 1380).

تحقیقات و پژوهش های انجام یافته نشان می دهد که مجموع افت کمباین غلات در ایران به 20 درصد (حتی بیشتر) می رسد. در حالی که در بدبینانه ترین وضعیت این مقدار برای کشورهای پیشرفته 4-5 درصد گزارش شده است (مقدم، 1385).

یکی از راه های کاهش افت در کمباین غلات، با توجه به اینکه فرآیند برداشت توسط این ماشین آلات ترکیبی از چند فرآیند می باشد، تفکیک فرآیندها و ارائه مدل ریاضی متناسب برای تک تک این فرآیندها بر پایه ی بررسی و اندازه گیری عوامل موثر در افت ها می باشد تا بتوان بر اساس آن دآوری و مدیریت مناسبی صورت پذیرد. ارائه مدل ریاضی مناسب مزیت های زیر را در بر دارد:

- 1- درک جامع از روابط اساسی پدیده های فیزیکی
- 2- کمی کردن پارامترهای فرآیندهای دینامیکی غیرقابل اندازه گیری
- 3- کاهش موثر هزینه ها و زمان آزمایش
- 4- پیش بینی دقت عملکرد واحد در طی گستره ی وسیعی از تغییرات پارامترها

5- کلیدهای برنامه ریزی برای شبیه سازی فرآیند دینامیکی و بهینه سازی پارامترهای طراحی و عملیاتی واحد کاری.

6- محاسبه ی اجزاء برای توسعه یک سیستم کنترل خودکار برای اجازه دادن به کمباین برای رسیدن به بهبود عملکرد کلی در عملیات مزرعه ای.

7- ابزار تحقیقاتی برای بهبود بیشتر طراحی و توسعه واحدهای جدید (میو و کوتزباخ، 2008).

یکی از این فرآیندهای مهم که تاثیر بسزایی در افت کل کمباین دارد، مربوط به کوبش مواد می باشد. کوبش مواد در کمباین توسط قلب کمباین یعنی واحد کوبنده (متشکل از کوبنده ضدکوبنده و یا گردنده و توری) انجام می گیرد. کوبنده ایده آل کوبنده ای است که کوبیدن کامل حداکثر محصول ورودی را همراه با بهترین جداسازی دانه انجام دهد و در عین حال که شکل و کیفیت طبیعی دانه را حفظ کرده، تلفات دانه و تکه کردن مواد غیر غیردانه ای و عبور آن از شبکه ضدکوبنده را به حداقل برساند (میو، 1999). کوبیدن ممکن است توسط الف - ضربه یک جسم دارای حرکت سریع روی مواد، ب - مالش، پ - فشردن غلاف ها و ترکیبی از دو یا چند عمل بالا انجام گیرد. عملکرد بخش کوبنده خود با عوامل بازده کوبنده، بازده جداکننده، دانه های صدمه دیده و مقدار ساقه های خرد شده سنجیده می شود. بازده کوبنده برابر است با درصد دانه های جدا شده از سنبله به تعداد کل دانه های ورودی به کوبنده می باشد (بهروزی لار، 1379).

بازده کوبنده با افت کوبنده رابطه عکس دارد. طوری که هرچه بازده کوبش بیشتر (عملکرد کوبش بهتر) باشد، دانه های زیادتری از سنبله جدا می شوند (میزان دانه های آزاد زیاد می شود). در نتیجه کزل کمتری تولید شده که بالتبع مقدار انتقال به بالابر کزل یا غربال کمتر خواهد بود و این بدین معنی است که افت کوبنده کمتر خواهد بود. میزان دانه های آزاد تولید شده در اثر عمل کوبش از لحاظ فرآیند کاری کوبنده و نیز مقدار انرژی لازم برای کوبش بعدی محصولات نیز حائز اهمیت می باشد بدین نظر که هرچه میزان عملکرد کوبنده بهتر

مطالعات و تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی پارامترهایی که بر فرآیند کوبش مواد در کمباین اثر می‌گذارند، صورت گرفته است و روش‌های مختلف مدل-سازی فرایندهای کوبیدن و جدا سازی دانه در منابع استفاده شده اند.

ترولوپ (1982)، مجموعه جالبی از معادلات متفاوت را برای فرآیند کوبیدن دانه در واحد کوبنده مماسی ارائه کرد.

وکر (1985) با پیشنهاد دو ضریب λ_t و λ_s به ترتیب برای بخش‌های کوبش و جداسازی، دو دسته معادلات چند جمله‌ای را که تاثیر سرعت گردنده (v) و توان عملیاتی MOG (q_p) را روی ضریب λ کمی می‌کند، ارائه کرد. این معادلات به قرار زیرند:

$$\lambda_t = a_v + b_v v + c_v v^2 \quad [1]$$

$$\lambda_s = a_q + b_q q_p + c_q q_p^2 \quad [2]$$

که در آن :

a و b و c ضرایب تجربی هستند که وابسته به خصوصیات مواد و عوامل طراحی کوبنده می‌باشد. میو و کوتزباخ (2008)، بر پایه‌ی مدل‌های قبلی میو و همکاران (1987) و میو (2002) یک مدل ریاضی جامع را از فرآیندهای کوبیدن و جداسازی دانه در هر دو واحد کوبنده محوری و مماسی ارائه کردند. همانند مدل‌های قبلی معادلات بدست آمده در این بررسی، درصد دانه‌های کوبیده نشده، دانه‌های آزاد (از سنبله جدا شده یا کوبش یافته) و دانه‌های جدا شده را در طول مسیر کوبش توصیف کمی می‌کنند. مدل ریاضی عمومی ارائه شده توسط میو و کوتزباخ (2008)، تعادل مواد غیردانه‌ای را در مکان x از طول کوبنده، به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌کند:

$$s_{n'}(x) + s_f(x) + s_s(x) = I \quad [3]$$

که در آن:

$$s_{n'}(x) = \text{بخش دانه کوبیده نشده}$$

$$s_f(x) = \text{بخش دانه آزاد (جدا شده از سنبله یا کوبش یافته)}$$

باشد کزل کمتری به بالابر کزل انتقال و در نتیجه مقدار کمتری از آن نیاز به کوبش مجدد توسط کوبنده خواهند داشت.

ارزیابی‌های آزمایشگاهی نشان دادند که جهت و موقعیت موادی که وارد استوانه کوبنده جریان عرضی می‌شوند، اثر قابل توجهی روی عملکرد کوبنده و ضدکوبنده دارد. طوری که در تغذیه گندم و جو این نتیجه حاصل گردید که زمانی که ابتدا سنبله‌ها با ساقه‌های موازی وارد دستگاه می‌شوند و سنبله روی لایه مواد قرار می‌گیرند، افت استوانه کوبنده دو برابر می‌شود و یا به عبارت دیگر میزان کوبش کاهش می‌یابد.

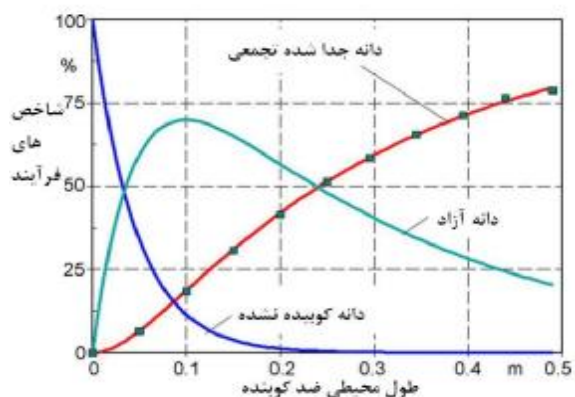
موثر بودن عمل کوبش به: الف- سرعت محیطی کوبنده، ب- فاصله کوبنده و ضدکوبنده، پ- تعداد دفعاتی که مواد از روی ضدکوبنده عبور می‌کنند (در کوبنده جریان مارپیچی)، تعداد ردیف‌های دندان‌های کوبنده و ضدکوبنده دندان‌های میخی، ج- نوع محصول، چ- شرایط محصول از نظر محتوای رطوبتی، رسیدگی و غیره و ح- میزان مواد تغذیه شده به واحد کوبنده بستگی دارد پوشاندن روزنه‌های ضدکوبنده به طوری که سنبله‌ها یا غلاف‌ها همه‌ی طول ضدکوبنده را طی کنند، شاید برای محصولاتی که سخت کوبیده می‌شوند، مفید باشد. اما این می‌تواند افت غربال را افزایش دهد.

دور کوبنده مهم‌ترین عامل در افت کوبنده و هم‌چنین صدمه دانه است. افزایش دور افت کوبنده را کاهش می‌دهد اما این ممکن است صدمه را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

کم کردن فاصله کوبنده و ضدکوبنده افت کوبنده را کاهش (عملکرد کوبش را بهتر) و صدمه دانه را افزایش می‌دهد. اما به طور کل اثرات آن در مقایسه با اثرات افزایش در کوبنده کمتر است.

افزایش آهنگ تغذیه غیردانه، افت‌های استوانه کوبنده را افزایش می‌دهد. آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده‌اند که این رابطه تقریباً خطی است (طباطبایی کلور و همکاران، 1384).

کوبنده به صورت لگاریتمی کاهش پیدا می کند. بخش دانه آزاد نیز در طول همین مسیر ابتدا افزایش یافته و سپس به واسطه جداسازی دانه کاهش می یابد و در نهایت بخش دانه‌ی جدا شده نیز با کمی تاخیر نسبت به بخش‌های قبل، در طول مسیر مقداری افزایشی از خود نشان می دهد.



شکل 1- تغییرات دانه کوبیده نشده، دانه آزاد و دانه جدا شده در یک واحد کوبنده مماسی (میو و کوتزباخ، 2008)

نوید و همکاران (1385) نیز در جهت کمی کردن تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندر 1165 ($Loss\%$)، یک مدل ریاضی به شرح زیر ارائه کردند:

$$Loss\% = a_1 + a_2 a_3 e^{(a_2 x + a_3 y)} \quad [7]$$

که در آن:

x = شدت تغذیه محصول به دماغه (کیلوگرم بر دقیقه)

y = سرعت محیطی کوبنده (متر بر ثانیه)

a_1 ، a_2 و a_3 ضرایب ثابت.

در این مدل افت عقب کمباین، مجموع افت های کوبنده و جداکننده در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه مرحله انجام شد:

آماده سازی دستگاه تست

برای اجرای آزمایش ها از یک دستگاه کمباین سهند 68s، ساخت شرکت گسترش و توسعه صنعت

$S_f(x)$ = بخش دانه‌ی جدا شده از ضد کوبنده یا توری می باشد.

بر طبق تئوری احتمال، درصد دانه‌ی کوبیده نشده در طول فضای کوبنده به صورت زیر بیان می شود:

$$S_n(x) = e^{-\lambda x} \quad [4]$$

که در آن

λ = نرخ ویژه کوبیدن است.

لذا در انتهای فضای کوبش و جداسازی (L)، دانه های کوبیده نشده (سنبله های اصلاً کوبیده نشده یا نیم کوب شده) که به عنوان افت کوبنده محسوب می شوند (L_t)، از رابطه 9 قابل محاسبه خواهند بود:

$$L_t = e^{-\lambda L} \quad [5]$$

دانه های جدا شده از سنبله ها توسط عمل کوبیدن در فضای کوبنده و ضد کوبنده، دانه های آزاد را تشکیل می دهد. میزان دانه‌ی تمیز $S_f(x)$ در فضای کوبنده به صورت زیر ارائه می شود:

$$S_f(x) = \frac{\lambda}{\lambda - \beta} (e^{-\beta x} - e^{-\lambda x}) \quad [6]$$

که در آن:

β = نرخ ویژه جداسازی است.

استفاده از آنالیز فرآیندها، آنالیز ابعادی و تکنیک رگرسیون غیر خطی نشان داد که ضرایب λ و β در ارتباط با عوامل زیر می باشند:

1- شرایط محصول: نوع و وارپته محصول، رطوبت و دانسیته‌ی حجمی مواد غیر گیردانه - ای (MOG)

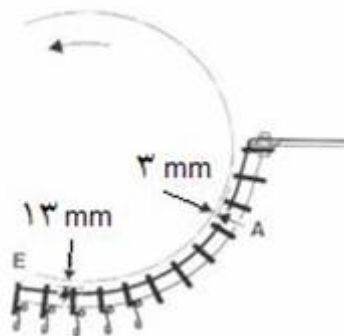
2- پارامترهای عملکردی: نرخ تغذیه MOG، سرعت روتور و فاصله‌ی گردنده و توری.

3- پارامترهای طراحی: زاویه کمان ضد کوبنده، ابعاد ضدکوبنده و سوراخ های آن و طول کوبنده.

شکل 1 بخش های دانه‌ی کوبیده نشده $S_n(x)$ ، دانه‌ی آزاد $S_f(x)$ و دانه‌ی جدا شده (کوبیده شده) $S_s(x)$ را برای یک واحد کوبنده‌ی مماسی نشان می دهد.

از شکل 1 قابل مشاهده است که بخش دانه کوبیده نشده در طول مسیر عبوری از فضای کوبنده و ضد

4- فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده: در حال حاضر در این کمباین، تنظیم اولیه فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده توسط پیچ رگلاژ، موجود در بغل بدنه، انجام می‌گیرد. تنظیم اولیه به منظور برداشت غلات، طوری انجام می‌گیرد که فاصله بین پایین‌ترین نقطه تسمه کوبنده و سومین میله ضد کوبنده در قسمت ورودی ده میلیمتر و همین فاصله از انتها سه میلیمتر باشد. تنظیمات بعدی بسته به شرایط کاری برداشت محصول از داخل کابین توسط اهرمی ایجاد می‌گردد (بی نام، 1385).



شکل 3- فاصله در کوبنده کمباین سه‌د 68s

جمع‌آوری محصول

با توجه به اینکه در سال زراعی 87-88 اکثر سطح زیر کشت مناطق آبی دشت مغان به کشت گندم آبی - رقم شیرودی اختصاص داشت، همین رقم برای انجام آزمایش انتخاب شد. محصول مورد نظر به میزان از قبل تعیین شده و به مدت یک هفته قبل از موسم برداشت، در اندازه‌های پنج کیلوگرمی و در سه سطح ارتفاع ساقه با دست برداشت شده و سپس توسط کامیون از مغان به محل انجام آزمایش (شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان) منتقل و در واحد تحقیق و توسعه شرکت گسترش انبار گردید. برای حفظ رطوبت اولیه و نیز جلوگیری از اثرات تغییرات آن در طول آزمایش‌ها، محصول برداشت در داخل کیسه‌های بزرگ نایلونی قرار داده شد.

آذربایجان، استفاده گردید. در این طرح ابتدا اندام‌های مربوط به هد، کاه پران، چنگک هم‌زن، دمنده، الک‌ها و ماردم‌های مربوط به دانه تمیز و کزل، با توجه به عدم نیاز در این آزمایش‌ها، از روی کمباین برداشته شد و سپس یک عدد سینی شبکه بندی شده در ابعاد 1050×610 میلیمتر برای سنجش میزان جداسازی دانه از نقاط مختلف ضد کوبنده ساخت شد (شکل 2).



شکل 2- سینی شبکه بندی

برای خالی کردن آسان محتوای هریک از سلول‌های داخل سینی شبکه بندی شده نیز از ظروف یک بار مصرف با ابعاد $95/45 \times 76/25$ میلیمتر به تعداد 88 (با در نظر گرفتن مساحت تصویر فضای کوبش) استفاده شد. برای تغذیه یکنواخت مواد به نقاله تغذیه و به دنبال آن به فضای کوبش، از یک دستگاه تسمه نقاله دو متری سرعت متغیر استفاده شد. مشخصات مربوط به کوبنده کمباین سه‌د 68s مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر است:

- 1- نیم سیلندر یا ضد کوبنده: ضد کوبنده از نوع شبکه‌های کشویی قابل تعویض می‌باشد که به تعداد سه عدد در زیر کوبنده قرار گرفته‌اند.
- 2- استوانه کوبنده: استوانه کوبنده سه‌د 68s از نوع تسمه سوهانی بوده که دارای عرض 1060 میلیمتر، قطر 450 میلیمتر، 6 عدد تسمه سوهانی و 5 عدد بشقاب می‌باشد.
- 3- دور کوبنده: دور کوبنده نیز از 650 دور در دقیقه تا 1500 دور در دقیقه قابل تنظیم از داخل کابین راننده می‌باشد.

نقاله تغذیه و به دنبال آن به فضای کوبنده و ضدکوبنده تغذیه می گردید (شکل 4).



شکل 4- نحوه ی تغذیه مواد به نقاله تغذیه کمباین

بعد از هر آزمایش، دانه‌های آزاد (کوبیده شده) منتقل شده به قسمت غربال که همراه با مواد غیر دانه‌ای (MOG) از عقب کمباین روی پارچه‌ی پهن شده روی زمین می ریخت، توسط الک هایی به صورت دستی جدا و با ثبت شماره آزمایش، توسط ترازوی دیجیتالی با حساسیت 0/01 گرم وزن و یادداشت می شد. مواد داخل سلول ها نیز پس از ثبت شماره آزمایش و شماره سلول، به داخل کیسه های کوچک خالی شده و پس از جداسازی از مواد غیردانه‌ای رد شده از سوراخ های ضدکوبنده، توسط یک ترازوی دیجیتالی حساس توزین و یادداشت شد. نمونه‌ای از نحوه‌ی ثبت مواد دانه‌ای جدا شده در کوبنده و ریخته شده در داخل سلول ها در شکل 5 نشان داده شده است.



شکل 5- نحوه ثبت مواد دانه‌ای جدا شده در کوبنده و

ریخته شده در سلول‌ها

متغیرهای مستقل مورد نظر در این آزمایش ها عبارت بودند از:

- 1- ارتفاع ساقه (A)
- 2- نرخ تغذیه (B)
- 3- نسبت لقی کوبنده (C) (نسبت فاصله کوبنده و ضد کوبنده در جلو به عقب آن)
- 4- سرعت کوبنده (D)

جدول 1- سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش

فاکتور	سطح
ارتفاع ساقه (A)	$A_1 = 85 \text{ cm}$
	$A_2 = 65 \text{ cm}$
	$A_3 = 45 \text{ cm}$
شدت تغذیه (B)	$B_1 = 100 \text{ kg/min}$
	$B_2 = 60 \text{ kg/min}$
	$B_3 = 42/86 \text{ kg/min}$
نسبت لقی (C)	$C_1 = 3/75$
	$C_1 = 4/33$
	$C_1 = 2/83$
سرعت کوبنده (D)	$D_1 = 1200 \text{ (rpm)}$
	$D_2 = 1150 \text{ (rpm)}$
	$D_3 = 1250 \text{ (rpm)}$

بازده کوبنده به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. آزمایش ها به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد (ولی زاده و مقدم، 1386). جدول 1 سطوح مختلف انتخاب شده هر تیمار در این طرح را نشان می دهد.

3- نحوه اجرای آزمایش ها

قبل از هر تکرار، شناسنامه هر آزمایش تهیه و سپس محصول از داخل کیسه در آورده شده و روی تسمه نقاله توزیع می گردید. با توجه به شماره آزمایش، تنظیمات لازم به ترتیب روی کمباین (سرعت کوبنده و فاصله کوبنده و ضدکوبنده) و اینورتر تسمه نقاله (سرعت تسمه نقاله) انجام و سپس مواد به داخل

جدول 2- تجزیه واریانس اثر چهار عامل مورد بررسی بر میزان کوبش مواد در کوبنده کمباین سهند 68S

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
1292**	1/309×10 ⁹	2	ارتفاع ساقه (A)
33/03**	334554/305	2	شدت تغذیه (B)
43/355**	439139/366	2	نسبت لقی (C)
128/851**	1305121/588	2	سرعت کوبنده (D)
0/633 ^{ns}	12816/955	4	A*B
4/126**	83591/819	4	A*C
8/886**	180008/337	4	A*D
3/154*	63892/708	4	B*C
8/187**	165852/115	4	B*D
5/587**	112991/424	4	C*D
3/684**	149272/7	8	A*B*C
2/754**	111214/329	8	A*B*D
2/912**	117991/835	8	B*C*D
1/654*	201081/481	24	A*B*C*D
	810315/424	160	خطای آزمایشی

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد

ساقه 85 سانتی متر اتفاق افتاده است. یکی از دلایل بالا بودن میزان کوبش در ارتفاع 45 سانتی متر (کمترین ارتفاع) عملکرد بهتر کوبنده روی سنبله‌های گندم می‌باشد. بدین معنی که با کاهش ارتفاع برداشت (ارتفاع محصول) نسبت دانه به MOG افزایش یافته و در نتیجه ضربات کوبنده مستقیماً (با استهلاك کم اثر ضربه) با سنبله‌ها برخورد کرده و موجب کوبیدگی بیشتر محصول می‌گردد.

جدول 3- میانگین میزان کوبش مواد در سطوح مختلف هر کدام از عوامل

عامل	سطوح عامل‌ها	میانگین
------	--------------	---------

در هر آزمایش مواد غیردانه‌ای ریخته شده از عقب کمباین هم پس از ثبت شماره‌ی آزمایش و جمع آوری، در داخل کیسه‌هایی قرار داده شده و سپس وزن و یادداشت گردید.

نتایج بدست آمده از میزان کوبش (دانه‌های آزاد) در واحد کوبنده کمباین سهند 68S در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های دارای توزیع نرمال و یکنواختی درون تیماری بودند. به همین منظور از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) برای مقایسه مقادیر متوسط تیمارها استفاده گردید (ولی زاده و مقدم، 1386).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر ارتفاع برش (A)، نرخ تغذیه (B)، نسبت لقی کوبنده (نسبت فاصله کوبنده و ضدکوبنده در جلو به همین فاصله در عقب) (C) و سرعت دوارانی کوبنده (D) روی میزان کوبش در جدول 2 نشان داده شده است. اثر هر چهار فاکتور (A، B، C و D) به تنهایی و نیز اثرات متقابل A*D، A*C، B*D، B*C*D، A*B*D، A*B*C، B*D و 0/01 و اثرات متقابل B*C و A*B*C*D در سطح احتمال 0/05 معنی دار شده، ولی اثر متقابل A*B معنی دار نبود. بررسی نمودارهای مربوط به اثرات دوگانه، سه گانه و چهارگانه نشان دادند که این اثرات از نوع تغییر در مقدار هستند. بنابراین، با توجه به عدم تغییر قابل ملاحظه در ترتیب سطوح فاکتورها، میانگین‌های مربوط به اثرات اصلی مورد بحث قرار می‌گیرند.

میانگین کوبش در ارتفاع‌های ساقه مختلف، نرخ تغذیه‌های متفاوت، نسبت لقی کوبنده در سطوح مختلف و نیز در سرعت‌های متفاوت کوبنده در جدول 3 نشان داده شده است.

بین ارتفاع‌های مختلف ساقه محصول از نظر میزان کوبش اختلاف معنی داری وجود داشت. بیشترین میزان کوبش با مقدار 2840 گرم در ارتفاع ساقه 45 سانتی متر و کمترین میزان کوبش نیز با مقدار 2277 گرم در ارتفاع

یافته و در نتیجه میزان کوبش مواد بیشتر می‌شود. البته قابل ذکر است که در این فاصله (4/33)، میزان صدمات مکانیکی دانه‌های کوبیده شده افزایش پیدا می‌کند.

از نقطه نظر اثر سرعت دورانی کوبش مواد بیشترین میزان کوبش با مقدار 2624 گرم مربوط به سرعت 1250 دور در دقیقه و کمترین آن با مقدار 2444 مربوط به سرعت 1150 دور در دقیقه بود. در سرعت‌های بالاتر کوبنده، عمل اجزای کوبنده روی محصول قوی‌تر بوده و در نتیجه محصول ضربه‌های بزرگ بیشتری را دریافت کرده که منجر به کوبش بهتر محصول می‌شود.

به طور کلی حداکثر میزان کوبش با مقدار 3180 و جداسازی مواد و عبور مواد غیر غیردانه‌ای از شبکه ضدکوبنده در تیمار $A_1B_3C_2D_3$ حادث می‌شود. با وجود این که این تیمار برای بدست آوردن حداکثر کوبش مواد در واحد کوبنده کمباین سهند 68s مناسب می‌باشد، اما در این تیمار بیش باری واحد تمیزکننده اتفاق می‌افتد (افت واحد تمیزکننده افزایش می‌یابد)، که امکان دست یابی به حداقل مجموع افت در کمباین را فراهم نمی‌کند. لازم به ذکر است که حداقل میزان کوبش با مقدار 2124 گرم در تیمار $A_1B_1C_2D_2$ اتفاق افتاد که با میزان کوبش بدست آمده از تیمار $A_1B_1C_3D_2$ ، که در آن حداقل جداسازی و عبور مواد غیردانه‌ای رخ داد، تفاوت چنانی نداشت.

نتایج اثر فاکتورهای مورد بررسی روی کوبش مواد در این پژوهش با نتایج بدست آمده از آزمایش‌های اجرا شده توسط موسسه ملی مهندسی کشاورزی انگلستان (به نقل از طباطبایی کلور و همکاران، 1384) و نمودار عمومی وینک، که در آن اثر پارامترهای کاری (سرعت کوبنده، شدت تغذیه و نسبت لقی کوبنده) روی کوبنده مماسی بررسی شده بود، مطابقت داشت. همچنین این نتایج موید نتایج بدست آمده از آزمایش نوید و همکاران (1385) بود. در این آزمایش اثر شدت تغذیه با سطوح 33/33، 41/67 و 50 کیلوگرم در دقیقه و سرعت محیطی کوبنده با سطوح 28، 31/5 و 35 متر بر ثانیه روی حداقل سازی افت عقب کمباین جان‌دیر 1165 مورد بررسی قرار گرفته و پس از بررسی نتایج،

2277a	85 cm	ارتفاع ساقه
2494b	65 cm	
2840c	45 cm	
LSD _{0/05} = 22/03		
2501a	100 (kg/min)	شدت تغذیه
2521a	60 (kg/min)	
2588b	42/86 (kg/min)	
LSD _{0/05} = 22/03		
2518a	3/75	نسبت لقی کوبنده
2596b	4/33	
2497a	2/83	
2543a	1200 (rpm)	سرعت کوبنده
2444b	1150 (rpm)	
2624c	1250 (rpm)	
LSD _{0/05} = 22/03		

در خصوص اثر شدت تغذیه بر کوبش، بیشترین میزان کوبش با مقدار 2588 گرم در شدت تغذیه 42/86 کیلوگرم بر دقیقه و کمترین میزان کوبش با مقدار 2501 گرم در شدت تغذیه 100 کیلوگرم بر دقیقه رخ داد. یکی از دلایل پایین بودن میزان کوبش در شدت تغذیه B_1 (شدت تغذیه بالاتر)، عملکرد ناقص کوبنده می‌باشد. با افزایش شدت تغذیه، ضخامت لایه محصول در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده بیشتر شده و همه سنبله‌ها به یک مقدار ضربه از طرف کوبنده دریافت نمی‌کنند. لذا سنبله‌هایی که در بالا و پایین لایه محصول قرار دارند ضربات بیشتری دریافت می‌کنند. در ضمن در شدت تغذیه بیشتر، سنبله‌ها زمان کافی برای دریافت ضربات متوالی کوبنده را نداشته، لذا میزان کوبش کمتر می‌شود.

در ارتباط با اثر نسبت لقی بر کوبش بیشترین میزان کوبش با مقدار 2596 گرم در نسبت 4/33 و کمترین میزان کوبش نیز با مقدار 2497 گرم در نسبت 2/83 اتفاق افتاد. از دلایل افزایش میزان کوبش در فواصل کم بین کوبنده و ضدکوبنده می‌توان به کاهش ضخامت لایه مواد (فشرده‌گی لایه مواد) در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده اشاره کرد که در این شرایط ضربات کوبنده با استهلاک کمتری روی سنبله‌های عبوری اعمال می‌شود. در ضمن میزان مالش که به عنوان عامل موثر در کوبش مطرح می‌باشد، با کاهش این فاصله افزایش

این پژوهش قابل توجه است. به عبارت دیگر 85 درصد میزان کوبش در کمباین سهند 68s وابسته به تغییرات چهار متغیر مذکور بوده و تنها 15 درصد باقیمانده مربوط به سایر عوامل می باشد که در این آزمایش لحاظ نشده است.

با توجه به ضرایب رگرسیون استاندارد مدل های ارائه شده برای کوبش مواد، پیشنهاد می شود در صورتی که کلش محصول به عنوان یک ارزش اقتصادی در نظر گرفته نشود، جهت افزایش کوبش مواد و در نتیجه کاهش افت آن، ارتفاع ساقه محصول کاهش داده شود. در صورتی که کلش دارای ارزش اقتصادی باشد، پیشنهاد می شود برای کوبش حداکثر مواد سرعت کوبنده افزایش داده شود و این افزایش سرعت باید با لحاظ قرار دادن اهداف برداشت، میزان صدمات مکانیکی به محصول و نیز عبور مواد غیر غیردانه ای از شبکه ضدکوبنده و آلودگی مخزن دانه به این مواد صورت پذیرد. در صورتی که افزایش سرعت کوبنده برای حصول افزایش میزان کوبش محصول میسر نباشد، می توان فاصله کوبنده و ضدکوبنده را کم و یا شدت تغذیه محصول به کمباین را کاهش داد. که این کاهش ها باید با در نظر گرفتن احتمال صدمات مکانیکی وارده به مواد کوبیده شده، ظرفیت مزرعه ای کمباین و تعداد کمباین های در دسترس باشد. همان طوری که از جدول 4 ملاحظه می گردد ضریب استاندارد شده مربوط به ارتفاع ساقه بیشترین مقدار را در بین ضرایب داشت. بنابراین از بین عوامل مستقل فرض شده در این پژوهش، متغیر ارتفاع ساقه بیشترین تاثیر را روی میزان کوبش محصول ورودی به کمباین داشت. ضرایب استاندارد شده بقیه متغیرهای مستقل به ترتیب از متعلق به سرعت کوبنده، نسبت لقی کوبنده و شدت تغذیه محصول می باشد.

ترکیب شدت تغذیه 33/33 کیلوگرم بر دقیقه و سرعت محیطی 35 متر بر ثانیه به عنوان بهترین ترکیب کاری معرفی شد.

مدل رابطه ی میزان کوبش با متغیرهای مستقل مورد آزمایش مدل های مختلفی برای میزان کوبش مواد در کوبنده کمباین مورد استفاده قرار گرفته اند. در اکثر این مدل ها از یک رابطه نمایی برای نشان دادن میزان کوبش مواد استفاده شده است. در این پژوهش نیز برای مدل سازی کوبش مواد و ارتباط بین متغیرهای مستقل (A, B, C و D) و متغیر وابسته (کوبش مواد) از رابطه نمایی استفاده شد. در نهایت رابطه 8 برای بیان و محاسبه میزان کوبش مواد بر اساس ارتفاع ساقه محصول، شدت تغذیه، نسبت ابتدای فاصله کوبنده و ضدکوبنده به انتهای آن و سرعت کوبنده بدست آمد:

$$y_1 = a_0 e^{(a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4)} \quad [8]$$

که در آن:

y_1 = میزان کوبش مواد در واحد کوبنده کمباین سهند 68s (gr)

x_1 = ارتفاع ساقه محصول (cm)

x_2 = شدت تغذیه محصول (kg/min)

x_3 = لقی کوبنده (بدون واحد)

x_4 = سرعت کوبنده (rmp)

ضرایب رگرسیون استاندارد شده و استاندارد نشده نیز به ترتیب اهمیت در جدول 4 آمده اند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی ارائه شده در جدول 5 آورده شده است. بین میزان کوبش مواد و متغیرهای مستقل مورد مطالعه یک رابطه نمایی در سطح احتمال کمتر از 0/001 مشاهده شد. به عبارت دیگر می توان با استفاده از مدل نمایی فوق، میزان کوبش مواد را در واحد کوبنده کمباین مورد نظر بر اساس مقادیر متفاوت ارتفاع ساقه محصول، شدت تغذیه، نسبت لقی کوبنده و سرعت کوبنده پیش بینی نمود. هم چنین نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی مدل نشان می دهد که حدود 85 درصد میزان کوبش مواد توسط چهار متغیر مورد بررسی در

جدول 5- تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی میزان کوبش مواد در کمباین سهند 68s

میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
0/107***	4	ناشی از رگرسیون
3/195×10 ⁻⁴	238	باقیمانده
	242	کل

***: معنی دار در سطح احتمال 0/001

جدول 4- ضرایب رگرسیون استاندارد نشده و استاندارد شده مدل ریاضی مربوط به کوبش مواد در کمباین سهند 68s

ضرایب رگرسیون	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده
عرض از مبدا (a_0)	24	
ارتفاع ساقه (a_1)	-2/4012×10 ⁻⁴	-0/8622
سرعت کوبنده (a_4)	2/9846×10 ⁻⁴	0/2679
نسبت لقی (a_3)	0/0102145	0/1387
شدت تغذیه (a_2)	-2/272671	-0/11964

منابع مورد استفاده

- بهروزی لار م، 1379. اصول طراحی ماشین های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.
- بهروزی لار م، 1380. مدیریت تراکتور و ماشین های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.
- بی نام، 1385. دفترچه راهنمای کمباین سهند 68s. شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان.
- طباطبایی کلور ر، شم آبادی زا و نجات لرستانی ع، 1384. اصول ماشین های کشاورزی (ترجمه). جلد دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.
- مقدم س، 1385. بررسی تلفات برداشت گندم در استان آذربایجان شرقی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.
- نوید ح، بهروزی لار م، محتسبی س و سهرابی م، 1385. تعیین مدل ریاضی تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندر 1165. مجله دانش کشاورزی، شماره 2، جلد 16 صفحه های 277-284.
- ولی زاده م و مقدم م، 1386. طرح های آزمایشی در کشاورزی، ویراست چهارم. انتشارات پریور.
- Miu PI, 1999. Mathematical modeling of material other than grain separation in threshing units. ASAE Meeting Presentation, ASAE/CSAE Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada. Paper No. 993208.
- Miu PI and Kutzbach HD, 2008. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units, Part I. Journal of Computer and Electronics in Agriculture, 60: 96-104.
- Trollop JR, 1982. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine harvester. Journal of Agricultural Engineering Research, 27:119-130.
- Wacker P, 1985. Researches on cereal threshing and separation process in an axial threshing unit. Doctoral Thesis, Hohenheim University, Institute of Agricultural Engineering, Stuttgart, Germany.