بررسی اثر پارامترهای کاری بر بازده کوبنده کمباین سهند ۶۸s با استفاده از مدل ریاضی به منظور کنترل افت کوبنده

علی میرزازاده[۱]، شمس‌الله‌عبداله‌پور[۲]، محمد مقدم واحد[۳] و محمدرضا رهبری عصر[۴]

۱-کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تبریز

۱- عضو هیئت علمی گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تبریز

۱-کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

چکیده

کارکرد کمباین های غلات با سه عامل توان کوبش، افت محصول و مصرف سوخت سنجیده می شود. افت محصول مهمترین عامل از عوامل فوق می باشد که مجموع افت کمباین غلات در ایران به ۲۰٪ و حتی بیشتر می رسد. یکی از راه های کاهش افت در کمباین غلات، تفکیک فرآیندها و ارائه مدل ریاضی متناسب برای تک تک آن‌ها بر پایه‌ی بررسی و اندازه گیری عوامل موثر در افت هاست . یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، عبارت از کوبش مواد می باشد 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 می شود. ارتفاع ساقه، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده و سرعت دورانی کوبنده از عوامل کاری موثر در بازده کوبنده و افت کوبنده کمباین می باشند. دراین راستا، یک آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار با کمباین سهند ۶۸S انجام گرفت. متغیرهای مستقل مد نظر در این آزمایش ها عبارت بودند از: ارتفاع ساقه، نرخ تغذیه، نسبت لقی کوبنده و سرعت کوبنده. بازده کوبیده 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 ۰/۰۱ معنی دار و اثرات متقابل فاکتورها غیر معنی دار می باشد. 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 معنی دار 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 معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. در نهایت مناسب ترین 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 می باشند.

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

مقدمه

کمتر از دوازده گونه گیاهی، بالاتر از ۸۰٪ 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 مهم‌ترین 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، ۱۳۸۰).

تحقیقات و پژوهش‌های انجام یافته نشان می‌دهد که مجموع افت کمباین غلات در ایران به ۲۰٪ (حتی بیشتر) می‌رسد. در حالی‌که در بدبینانه ترین وضعیت این مقدار برای کشورهای پیشرفته ٤-٥٪ گزارش شده است (مقدم، ۱۳۸۵).

یکی از راه‌های 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 پایه‌ی بررسی و اندازه گیری عوامل موثر در افت ها می باشد تا بتوان بر اساس آن داوری و مدیریت مناسبی صورت پذیرد. ارائه مدل ریاضی مناسب مزیت‌های زیر را در بر دارد:

۱- درک جامع از روابط اساسی پدیده های فیزیکی
۲- کمی کردن پارامترها ی فرآیندهای دینامیکی غیرقابل اندازه گیری
۳- کاهش موثر هزینه ها و زمان آزمایش
٤- پیش بینی دقت عملکرد واحد در طی گستره‌ی وسیعی از تغییرات پارامترها
٥- کلیدهای برنامه‌ریزی برای شبیه سازی فرآیند دینامیکی و بهینه سازی پارامترهای طراحی و عملیاتی واحد کاری.
٦- محاسبه‌ی اجزاء برای توسعه یک سیستم کنترل خودکار برای اجازه دادن به کمباین برای رسیدن به بهبود عملکرد کلی در عملیات مزرعه‌ای.
۷- ابزار تحقیقاتی برای بهبود بیشتر طراحی و توسعه واحدهای جدید (Miu و همکاران، ۲۰۰۸).

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 واحدکوبنده (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 غیردانه ای و عبور آن از شبکه ضدکوبنده را به حداقل برساند (Miu، ۱۹۹۹). 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 جداشده از سنبله به تعداد کل دانه های ورودی به کوبنده می باشد (بهروزی لار، ۱۳۷۹).

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

ارزیابی های آزمایشگاهی نشان دادند که جهت و موقعیت موادی که وارد استوانه کوبنده جریان عرضی می شوند، اثر قابل توجهی روی عملکرد کوبنده و ضدکوبنده دارد. طوری که در تغذیه گندم و جو این نتیجه حاصل گردید که زمانی که ابتدا سنبله ها با ساقه‌های موازی وارد دستگاه می شوند و سنبله روی لایه مواد قرار می گیرند، افت استوانه کوبنده دو برابر می شود و یا به عبارت دیگر میزان کوبش کاهش می یابد.

موثر بودن عمل کوبش به: الف- سرعت محیطی کوبنده، ب- فاصله کوبنده و ضدکوبنده، پ- تعداد دفعاتی که مواد از روی ضدکوبنده عبور می کنند (در کوبنده جریان مارپیچی)، تعداد ردیف‌های دندانه‌های کوبنده و ضدکوبنده دندانه 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 روزنه های ضدکوبنده به طوری که سنبله ها یا غلاف ها همه‌ی طول ضدکوبنده را طی کنند، شاید برای محصولاتی که سخت کوبیده می شوند، مفید باشد. اما این می تواند افت غربال را افزایش دهد.

دور کوبنده مهم‌ترین عامل در افت کوبنده و هم‌چنین صدمه دانه است. افزایش دور افت کوبنده را کاهش می-دهد 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 می دهد. اما به طور کل اثرات آن در مقایسه با اثرات افزایش در کوبنده کمتر است.

افزایش آهنگ تغذیه غیردانه، افت های استوانه کوبنده را افزایش می دهد. آزمایش های مزرعه ای نشان داده‌اند که این رابطه تقریباً خطی است (طباطبایی کلور و همکاران، ۱۳۸٤).

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

Trollop (۱۹۸۲)، مجموعه جالبی از معادلات متفاوت را برای فرآیند کوبیدن دانه در واحد کوبنده مماسی ارائه کرد.

Wacker (۱۹۸۵) با پیشنهاد دو ضریب λ_t و λ_s به ترتیب برای بخش های کوبش و جداسازی، دو دسته معادلات چند جمله ای را که تاثیر سرعت گردنده (v) و توان عملیاتی MOG (q_p) را روی ضریب λ کمی می کند، ارائه کرد. این معادلات به قرار زیرند:

$$\lambda_t = a_v + b_v v + c_v v^2 \quad [۱]$$

$$\lambda_s = a_q + b_q q_p + c_q q^2_p \quad [۲]$$

که در آن:

a، b و c ضرایب تجربی هستند که وابسته به خصوصیات مواد و عوامل طراحی کوبنده می باشد.

Miu و Kutzbach (۲۰۰۸)، بر پایه‌ی مدل‌های قبلی Miu و همکاران (۱۹۸۷) و Miu (۲۰۰۲) یک مدل ریاضی جامع را از فرآیندهای کوبیدن و جداسازی دانه در هر دو واحد کوبنده محوری و مماسی ارائه کردند. همانند مدل های قبلی معادلات بدست آمده در این بررسی، درصد دانه های کوبیده نشده، دانه های آزاد (از سنبله جدا شده یا کوبش یافته) و دانه های جدا شده را در طول مسیر کوبش توصیف کمی می کنند. مدل ریاضی عمومی ارائه شده توسط Miu و Kutzbach (۲۰۰۸)، تعادل مواد دانه ای را در مکان x از طول کوبنده، به صورت رابطه‌ی زیر بیان می کند:

$$s_n(x) + s_f(x) + s_s(x) = 1 \quad [۳]$$

که در آن:

$s_n(x)$ = بخش دانه کوبیده نشده

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

$s_s(x)$ = 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:

$$s_n(x) = e^{-\lambda x} \quad [٤]$$

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 می‌شوند (L_t)، از رابطه ۹ قابل محاسبه خواهند بود:

$$L_t = e^{-\lambda L} \quad [٥]$$

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

$$s_f(x) = \frac{\lambda}{\lambda - \beta}(e^{-\beta x} - e^{-\lambda x}) \quad [٦]$$

که در آن:

β = نرخ ویژه جداسازی است.

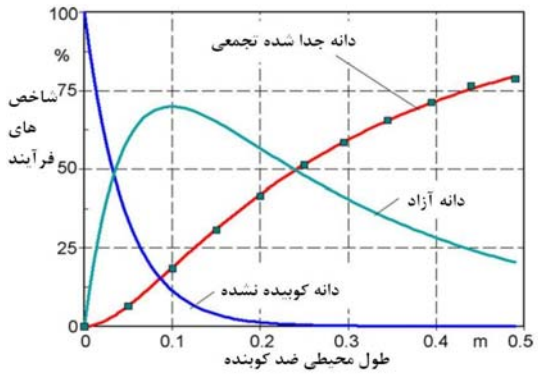
استفاده از آنالیز فرآیندها، آنالیز ابعادی و تکنیک رگرسیون غیر خطی نشان داد که ضرایب λ و β در ارتباط با عوامل زیر می باشند:

۱- شرایط محصول: نوع و واریته محصول، رطوبت و دانسیته‌ی حجمی مواد غیردانه ای (MOG).

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

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

شکل ۱ 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.



شکل ۱- تغییرات دانه کوبیده نشده، دانه آزاد و دانه جدا شده در یک واحد کوبنده مماسی

از شکل ۱ قابل مشاهده است که بخش دانه کوبیده نشده در طول مسیر عبوری از فضای کوبنده و ضد 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 بخش های قبل، در طول مسیر مقداری افزایشی از خود نشان می دهد.

نوید و همکاران (۱۳۸۵) نیز در جهت کمّی کردن تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندیر ۱۱۶۵ (*Loss%*)، یک مدل ریاضی به شرح زیر ارائه کردند:

$$Loss\% = a_1 + a_2 a_3 e^{(xa_2 + ya_3)} \quad [۷]$$

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 روش ها

این پژوهش در سه مرحله انجام شد:

۱- آماده سازی دستگاه تست

برای اجرای آزمایش ها از یک دستگاه کمباین سهند ۶۸S، ساخت شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان، استفاده گردید. در این طرح ابتدا اندام های مربوط به هد، کاه پران، چنگک هم زن، دمنده، الک ها و ماردم های مربوط به دانه تمیز و کزل، با توجه به عدم نیاز در این آزمایش ها، از روی کمباین برداشته شد و سپس یک عدد

سینی شبکه بندی شده در ابعاد ۶۱۰×۱۰۵۰ میلیمتر برای سنجش میزان جداسازی دانه از نقاط مختلف ضد کوبنده ساخت شد (شکل۲).

شکل ۲- سینی شبکه بندی

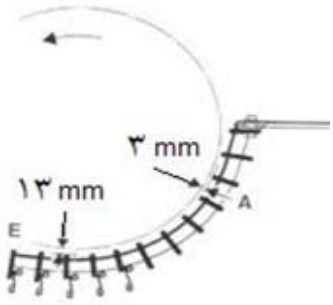
برای خالی کردن آسان محتوای هریک از سلول های داخل سینی شبکه بندی شده نیز از ظروف یک بار مصرف با ابعاد ۹۵/۴۵×۷۶/۲۵ میلیمتر به تعداد ۸۸ (با در نظر گرفتن مساحت تصویر فضای کوبش) استفاده شد. برای تغذیه یکنواخت مواد به نقاله تغذیه و به دنبال آن به فضای کوبش، از یک دستگاه تسمه نقاله دو متری سرعت متغیر استفاده شد. مشخصات مربوط به کوبنده کمباین سهند ۶۸S مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر است:

۱- نیم سیلندر یا ضد کوبنده: ضد کوبنده از نوع شبکه های کشویی قابل تعویض می باشد که به تعداد سه عدد در زیر کوبنده قرار گرفته اند.

۲- استوانه کوبنده: استوانه کوبنده سهند ۶۸S از نوع تسمه سوهانی بوده که دارای عرض ۱۰۶۰میلیمتر، قطر ۴۵۰ میلیمتر، ۶ عدد تسمه سوهانی و ۵ عدد بشقاب می باشد.

۳- دور کوبنده: دور کوبنده نیز از ۶۵۰ دور در دقیقه تا ۱۵۰۰ دور در دقیقه قابل تنظیم از داخل کابین راننده می باشد.

۴- 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 می گیرد. تنظیم اولیه به منظور برداشت غلات، طوری انجام می گیرد که فاصله بین پایین ترین 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 می گردد (بی نام، ۱۳۸۵).



شکل ۳- فاصله در کوبنده کمباین سهند ۶۸S

۲- جمع آوری محصول

با توجه به اینکه در سال زراعی ۸۸-۸۷ 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 اندازه های 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 آزمایش ها، محصول برداشت در داخل کیسه های بزرگ نایلونی قرار داده شد.

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

۱- ارتفاع ساقه (A)

۲- نرخ تغذیه (B)

۳- نسبت لقی کوبنده (C) (نسبت فاصله کوبنده و ضد کوبنده در جلو به عقب آن)

٤- سرعت کوبنده (D)

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، ۱۳۸٦). جدول ۱ سطوح مختلف انتخاب شده هر تیمار در این طرح را نشان می دهد.

۳- 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 نقاله تغذیه و به دنبال آن به فضای کوبنده و ضدکوبنده تغذیه می گردید (شکل ٤).

بعد از هر آزمایش، دانه های 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 ۰/۰۱ 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 غیردانه ای رد شده از سوراخ های ضدکوبنده، توسط یک ترازوی دیجیتالی حساس توزین و یادداشت شد. نمونه‌ای از نحوه‌ی ثبت مواد دانه‌ای جداشده در کوبنده و ریخته شده در داخل سلول ها در شکل۵ نشان داده شده است.

جدول ۱. سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش

فاکتور	سطح
ارتفاع ساقه (A)	A_1= ۸۵ cm
	A_2= ٦٥ cm
	A_3= ٤٥ cm
شدت تغذیه (B)	B_1= ۱۰۰ kg/min
	B_2= ٦۰ kg/min
	B_3=٤۲/۸٦ kg/min
نسبت لقی (C)	C_1= ۳/۷٥
	C_1= ٤/۳۳
	C_1= ۲/۸۳
سرعت کوبنده (D)	D_1=۱۲۰۰(rpm)
	D_2=۱۱٥۰(rpm)
	D_3=۱۲٥۰(rpm)

شکل ٤- نحوه ی تغذیه مواد به نقاله تغذیه کمباین

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

نتایج بدست آمده از میزان کوبش (دانه های آزاد) در واحد کوبنده کمباین سهند ٦۸S در نرم افـزار SPSS مـورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های دارای توزیع نرمال و یکنواختی درون تیماری بودند. به همین منظور از آزمـون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) برای مقایسه مقادیر متوسط تیمارها استفاده گردید (ولی زاده و مقدم، ۱۳۸٦).

شکل۵- نحوه ثبت مواد دانه ای جداشده در کوبنده و ریخته شده در سلول ها

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 ۲ نشان داده شده است. اثر هر چهار فاکتور (A، B، C و D) به تنهایی و نیز اثرات متقابل A*C، A*D، B*D، A*B*C، A*B*D، B*C*D در سطح احتمال ۰/۰۱ و اثرات متقابل B*C و A*B*C*D در سطح احتمال ۰/۰۵ 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، میانگین های مربوط به اثرات اصلی مورد بحث قرار می گیرند.

در خصوص اثر شدت تغذیه بر کوبش، بیشترین میزان کوبش با مقدار ۲۵۸۸ گرم در شدت تغذیه ٤۲/۸٦ کیلوگرم بر دقیقه و کمترین میزان کوبش با مقدار ۲۵۰۱ گرم در شدت تغذیه ۱۰۰ کیلوگرم بر دقیقه رخ داد. یکی از دلایل پایین بودن میزان کوبش در شدت تغذیه B_1(شدت تغذیه بالاتر)، عملکرد ناقص کوبنده می باشد. با افزایش شدت تغذیه، ضخامت لایه محصول در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده بیشتر شده و همه سنبله ها به یک مقدار ضربه از طرف کوبنده دریافت نمی کنند. لذا سنبله هایی که در بالا و پایین لایه محصول قرار دارند ضربات بیشتری دریافت می کنند. در ضمن در شدت تغذیه بیشتر، سنبله ها زمان کافی برای دریافت ضربات متوالی کوبنده را نداشته، لذا میزان کوبش کمتر می شود.

در ارتباط با اثر نسبت لقی بر کوبش بیشترین میزان کوبش با مقدار ۲۵۹٦ گرم در نسبت ٤/۳۳ و کمترین میزان کوبش نیز با مقدار ۲٤۹۷ گرم در نسبت ۲/۸۳ اتفاق افتاد. از دلایل افزایش میزان کوبش در فواصل کم بین کوبنده و ضدکوبنده می توان به کاهش ضخامت لایه مواد (فشردگی لایه مواد) در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده اشاره کرد که در این شرایط ضربات کوبنده با استهلاک کمتری روی سنبله های عبوری اعمال می شود. در ضمن میزان مالش که به عنوان عامل موثر در کوبش مطرح می باشد، با کاهش این فاصله افزایش یافته و در نتیجه میزان کوبش مواد بیشتر می شود. البته قابل ذکر است که در این فاصله (٤/۳۳)، میزان صدمات مکانیکی دانه های کوبیده شده افزایش پیدا می کند.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر چهار عامل مورد بررسی بر میزان کوبش مواد در کوبنده کمباین سهند ٦٨S

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
ارتفاع ساقه (A)	۲	۱/۳۰۹×۱۰^{۹}	۱۲۹۲**
شدت تغذیه (B)	۲	۳۳٤٥٥٤/۳۰٥	۳۳/۰۳**
نسبت لقی (C)	۲	٤۳۹۱۳۹/۳٦٦	٤۳/۳٥٥**
سرعت کوبنده (D)	۲	۱۳۰٥۱۲۱/٥۸۸	۱۲۸/۸٥۱**
A*B	٤	۱۲۸۱٦/۹٥٥	۰/٦۳۳^{ns}
A*C	٤	۸۳٥۹۱/۸۱۹	٤/۱۲٦**
A*D	٤	۱۸۰۰۰۸/۳۳۷	۸/۸۸٦**
B*C	٤	٦۳۸۹۲/۷۰۸	۳/۱٥٤*
B*D	٤	۱٦٥۸٥۲/۱۱٥	۸/۱۸۷**
C*D	٤	۱۱۲۹۹۱/٤۲٤	٥/٥۸۷**
A*B*C	۸	۱٤۹۲۷۲/۷	۳/٦۸٤**
A*B*D	۸	۱۱۱۲۱٤/۳۲۹	۲/۷٥٤**
B*C*D	۸	۱۱۷۹۹۱/۸۳٥	۲/۹۱۲**
A*B*C*D	۲٤	۲۰۱۰۸۱/٤۸۱	۱/٦٥٤*
خطای آزمایشی	۱٦۰	۸۱۰۳۱٥/٤۲٤	

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ٥ و ۱ درصد

میانگین کوبش در ارتفاع های ساقه مختلف، نرخ تغذیه های متفاوت، نسبت لقی کوبنده در سطوح مختلف و نیز در سرعت های متفاوت کوبنده در جدول ۳ نشان داده شده است.

بین ارتفاع های مختلف ساقه محصول از نظر میزان کوبش اختلاف معنی داری وجود داشت. بیشترین میزان کوبش با مقدار ۲۸٤۰ گرم در ارتفاع ساقه ٤٥ سانتی‌متر و کمترین میزان کوبش نیز با مقدار ۲۲۷۷گرم در ارتفاع ساقه ۸٥ سانتی متر اتفاق افتاده است. یکی از دلایل بالا بودن میزان کوبش در ارتفاع ٤٥ سانتی متر (کمترین ارتفاع) عملکرد بهتر کوبنده روی سنبله های گندم می باشد. بدین معنی که با کاهش ارتفاع برداشت (ارتفاع محصول) نسبت دانه به MOG افزایش یافته و در نتیجه ضربات کوبنده مستقیماً (با استهلاک کم اثر ضربه) با سنبله ها برخورد کرده و موجب کوبیدگی بیشتر محصول می گردد.

جدول ۳. میانگین میزان کوبش مواد در سطوح مختلف هر کدام از عامل ها

عامل	سطوح عامل ها	میانگین
ارتفاع ساقه	۸۵ cm	۲۲۷۷a
	٦٥ cm	۲٤۹٤b
	٤٥ cm	۲۸٤۰c
		LSD.۰٫۰٥= ۲۲/۰۳
شدت تغذیه	۱۰۰ (kg/min)	۲٥۰۱a
	٦۰ (kg/min)	۲٥۲۱a
	٤۲/۸٦ (kg/min)	۲٥۸۸b
		LSD.۰٫۰٥= ۲۲/۰۳
نسبت لقی کوبنده	۳/۷٥	۲٥۱۸a
	٤/۳۳	۲٥۹٦b
	۲/۸۳	۲٤۹۷a
سرعت کوبنده	۱۲۰۰ (rpm)	۲٥٤۳a
	۱۱٥۰ (rpm)	۲٤٤٤b
	۱۲٥۰ (rpm)	۲٦۲٤c
		LSD.۰٫۰٥= ۲۲/۰۳

از نقطه نظر اثر سرعت دورانی کوبش مواد بیشترین میزان کوبش با مقدار ۲٦۲٤ گرم مربوط به سرعت ۱۲٥۰ دور در دقیقه و کمترین آن با مقدار ۲٤٤٤ مربوط به سرعت ۱۱٥۰ دور در دقیقه بود. در سرعت های بالاتر کوبنده، عمل اجزای کوبنده روی محصول قوی تر بوده و در نتیجه محصول ضربه های بزرگ بیشتری را دریافت کرده که منجر به کوبش بهتر محصول می شود.

به طور کلی حداکثر میزان کوبش با مقدار ۳۱۸۰ و جداسازی مواد و عبور مواد غیردانه ای از شبکه ضدکوبنده در تیمار $A_1B_3C_2D_3$ حادث می شود. با وجود این که این تیمار برای بدست آوردن حداکثر کوبش مواد در واحد کوبنده کمباین سهند ٦۸S مناسب می باشد، اما در این تیمار بیش باری واحد تمیز کننده اتفاق می افتد (افت واحد تمیزکننده افزایش می یابد)، که امکان دست یابی به حداقل مجموع افت در کمباین را فراهم نمی کند. لازم به ذکر است که حداقل میزان کوبش با مقدار ۲۱۲٤ 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 آزمایش های اجرا شده توسط موسسه ملی مهندسی کشاورزی انگلستان (به نقل از طباطبایی کلور و همکاران، ۱۳۸٤) 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 (۱۳۸۵) بود. در این آزمایش اثر شدت تغذیه با سطوح ۳۳/۳۳، ٤١/٦٧ و ٥٠ کیلوگرم در دقیقه و سرعت محیطی کوبنده با سطوح ۲۸، ۳۱/۵ و ۳۵ متر بر ثانیه روی حداقل سازی افت عقب کمباین جاندیر ١١٦٥ مورد بررسی قرار گرفته و پس از بررسی نتایج، ترکیب شدت تغذیه ۳۳/۳۳ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت محیطی ۳۵ 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 ۸ 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:

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

[۸]

که در آن:

y_1 = میزان کوبش مواد در واحد کوبنده کمباین سهند ٦٨S (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 ٤ آمده اند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی ارائه شده در جدول ۵ آورده شده است. بین میزان کوبش مواد و متغیرهای مستقل مورد مطالعه یک رابطه نمایی در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۰۱ 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 ۸۵٪ میزان کوبش مواد توسط چهار متغیر مورد بررسی در

این پژوهش قابل توجیه است. به عبارت دیگر ۸۵٪ میزان کوبش در کمباین سهند ٦٨S وابسته به تغییرات چهار متغیر مذکور بوده و تنها ۱۵٪ 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 اهدف برداشت، میزان صدمات مکانیکی به محصول و نیز عبور مواد 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 ٤ 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.

جدول ٤. ضرایب رگرسیون استاندارد نشده و استاندارد شده مدل ریاضی مربوط به کوبش مواد در کمباین سهند ٦٨S

ضرایب رگرسیون	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده
عرض از مبدا (a_0)	۲٤	
ارتفاع ساقه (a_1)	$-۲/٤۰۱۲\times۱۰^{-٤}$	-۰/۸٦۲۲
سرعت کوبنده (a_4)	$۲/۹۸٤٦\times۱۰^{-٤}$	۰/۲٦۷۹
نسبت لقی (a_3)	۰/۰۱۰۲۱٤٥	۰/۱۳۸۷
شدت تغذیه (a_2)	-۲/۲۷۲٦۷۱	-۰/۱۱۹٦٤

***: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱

جدول ۵. تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی میزان کوبش مواد در کمباین سهند ٦٨S

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ناشی از رگرسیون	٤	۰/۱۰۷***
باقیمانده	۲۳۸	$۳/۱۹٥\times۱۰^{-٤}$
کل	۲٤۲	

منابع و مآخذ

بهروزی لار، م. ۱۳۷۹. اصول طراحی ماشین های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

بهروزی لار، م. ۱۳۸۰. مدیریت تراکتور و ماشین های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

بی نام. ۱۳۸۵. دفترچه راهنمای کمباین سهند ٦٨٥، شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان.

طباطبایی کلور، ر.، شم آبادی، ز. ا. و نجات لرستانی، ع. ۱۳۸٤. اصول ماشین های کشاورزی (ترجمه). جلد دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

مقدم، س. ۱۳۸۵. 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. ۱۳۸۵. تعیین مدل ریاضی تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندیر ۱۱٦٥. مجله دانش کشاورزی، شماره ۲، جلد ١٦ صفحه های ۲۷۷-۲۸٤.

ولی زاده، م. و مقدم، م. ۱۳۸٦. طرح های آزمایشی در کشاورزی، ویراست چهارم. انتشارات پریور.

Trollop, J.R. 1982. A mathematical model of the threshing process in a convential combine harvester. Journal of Agricultural Engineering Research, 27:119-130.

Miu, P.I. 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, P.I. and Kutzbach, H.D. 2008. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units, Part I. Journal of Computer and Electronics in Agriculture, 60: 96-104.

Wacker, P., 1985. Researches on cereal threshing and separation process in an axial threshing unit. Doctoral Thesis, Hohenheim University, Institue of Agricultural Engineering, Stuttgart, Germany.

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

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 4×3×3 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.

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