ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

اثر پارامترهای طراحی بر جدا شدن مواد در کوبنده کمباین سهند ۶۸S با ارایه مدل ریاضی برای کمینه کردن افت جداکننده

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

۱،۲،۳و۴- به ترتیب عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تبریز، کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، عضو هیئت علمی گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تبریز، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

چکیده

با وجود اینکه متوسط افت کمباین در کشورهای پیشرفته ۴٪-۵٪ تخمین زده می شود، متاسفانه براساس تحقیقات بعضی از پژوهشگران این عرصه، این مقدار برای کشور ایران تا ۲۰٪ (حتی بیشتر) نیز گزارش شده است. برای داشتن حداقل افت، باید فرآیند عمل آوری محصول (برش، انتقال، کوبش، جداسازی و . . .) بهینه گردد. بیان معادلات رفتاری قسمت های مختلف، اولین قدم در عملی شدن این مهم می باشد. یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، فرایند کوبش مواد می باشد که تاثیر بیشتری بر عملکرد کمباین دارد. حداکثر جداسازی دانه های کوبیده شده از طریق ضدکوبنده مهم می باشد چرا که افزایش جداسازی از طریق شبکه ها بار را روی غربال یا انواع دیگر واحدهای جداسازی کاهش می دهد. در نتیجه امر افت غربال کاهش می یابد. پس هرچه این بازده بیشتر باشد، بازده قسمت جداکننده و تمیزکننده کمباین نیز بالا می رود. ارتفاع ساقه، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده و سرعت دورانی کوبنده از عوامل کاری موثر در طراحی و کارکرد و افت کوبنده کمباین می باشند. بر این اساس، یک آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار با کمباین سهند ۶۸S انجام گرفت. متغیرهای های مستقل مد نظر در این آزمایش ها عبارت بودند از: ارتفاع ساقه، نرخ تغذیه، نسبت لقی کوبنده. بازده جدا 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 جداسازی و در نتیجه افت واحد جداکننده در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار و اثرات متقابل فاکتورها غیر معنی دار می باشد. به طوری که میزان جداسازی با کاهش ارتفاع ساقه، 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 جداسازی و برای بیان رابطه ریاضی متغیرهای مستقل (ارتفاع ساقه، نرخ تغذیه، نسبت لقی کوبنده و سرعت کوبنده) با متغیر وابسته (میزان جداسازی) 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 جداسازی (y_2) به ترتیب زیر

برآورد شد:

$$y_2 = b_0 e^{(b_1 x_1 + b_2 x_2 - b_3 x_3 + b_4 x_4)}$$

که در آن x_1، x_2، x_3 و x_4 به ترتیب ارتفاع ساقه محصول، شدت تغذیه محصول، لقی کوبنده و سرعت کوبنده و b_0، b_1، b_2، b_3 و b_4 ضرایب ثابت می باشند.

واژه های کلیدی: کمباین، ارتفاع ساقه، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده، سرعت کوبنده، جداسازی و مدل سازی.

مقدمه

لازمه‌ی شکوفایی صنعت یک کشور در حال توسعه با توجه به پیشرفت روز افزون سایر کشورها، اقدام به استفاده از تکنولوژی مونتاژ از صنایع موجود در کشورهای صنعتی در کنار توجه ویژه به نیروها و استعدادهای داخلی آن کشور می باشد. ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه و صنعت کشاورزی، صنایع و ماشین آلات موجود در آن نیز از این قاعده کلی مستثنی نیستند. اما آنچه که ماشین آلات کشاورزی را از سایر صنایع مستثنی می کند، میزان توجه به مطابقت آن با شرایط اقلیمی و آب و هوایی است. چرا که اگر این اصل مورد غفلت واقع شود، نه تنها مونتاژ و کپی سازی به پیشرفت کمکی نمی کند، چه بسا با هدر دادن منابع عظیم سرمایه باعث پسرفت نیز گردد.

در این میان کمباین غلات به سبب استراتژیک بودن غلات و اینکه حدود ۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت را در ایران به خود اختصاص داده است، اهمیت روز افزونی دارد (FAO، ۲۰۰۸). در بین غلات نیز گندم قوت لایموت مردم ایران بوده و از عمده ترین محصولات کشاورزی و تامین کننده بیشترین نیاز غذایی و محور استقلال کشور محسوب می شود. از این رو افزایش تولید و کاهش ضایعات آن همواره مورد تلاش و پی‌گیری محققین بوده است. یکی از راهکارهای کاهش تلفات گندم، بررسی و پژوهش در مورد میزان ضایعات در هنگام برداشت و چگونگی جلوگیری از آن می‌باشد. تنظیمات کمباین در کاهش ضایعات برداشت گندم از اهمیت بسزایی برخوردار است. با وجود اینکه میزان متوسط افت کمباین ها در کشورهای توسعه یافته ٤٪–٥٪ تخمین زده می شود، متاسفانه براساس تحقیقات بعضی از پژوهشگران این عرصه، این مقدار برای کشور ایران تا ۲۰٪ و حتی بیشتر نیز گزارش شده است و این موضوع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (مقدم، ۱۳۸۵).

افت کمباین غلات خود به افت طبیعی (افت قبل از برداشت)، تلفات سکوی ساقه، تلفات کوبنده، تلفات واحد تمیزکننده و تلفات بدنه تقسیم می شود (بهروزی لار، ۱۳۸۰).

برای داشتن حداقل افت، باید فرآیند عمل آوری محصول (ساقه، انتقال، کوبش، جداسازی و . . .) بهینه گردد. یک شیوه‌ی اساسی برای بهینه سازی این فرآیندها عبارتست از تفکیک فرآیندها و تقسیم آن به اجزای کوچک تر و بالاخره ساخت یک مدل از سیستم مورد نظر، تا بتوان بر افزایش کارکرد داوری بهتری صورت داد. بیان رفتار قسمت های مختلف و کارکرد آن ها به صورت ریاضی و اصطلاحاً کمی کردن آن ها، اولین قدم در عملی شدن موضوع فوق می باشد. یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، فرایند کوبش مواد می باشد که توسط واحد کوبنده (متشکل از کوبنده و ضدکوبنده یا روتور و شبکه) 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 دانـه و تکـه کـردن مـواد غیردانـه ای و عبـور آن از شـبکه ضدکوبنده را به حداقل برساند (Miu، ۱۹۹۹).

عملکرد بخش کوبنده خود با عوامل بازده کوبنده، بازده جداکننده، دانه های صدمه دیده و مقـدار سـاقه هـای خـرد شده سنجیده می شود.

بازده جدا شدن در کوبنده برابر درصد دانه های خارج شده از سوراخ های ضدکوبنده به تعداد کل دانه های ورودی است. حداکثر جداسازی دانه های کوبیده شده از طریق ضدکوبنده (شبکه) در شرایط معمول برای دانه‌های غلات، زمانی که افت های غربال بیانگر بخش مهمی از افت کل است، مهم می باشد. چرا که افزایش جداسازی از طریق شبکه ها بار را روی غربال یا انواع دیگر واحدهای جداسازی کاهش می دهد. در نتیجه امر افت غربال کاهش می یابد (بهروزی لار، ۱۳۷۹).

مطالعات و تحقیقات بسیاری در زمینه ی پارامترهایی که بر فرآیند جدا شدن مـواد در کمبـاین اثـر مـی گذارنـد صورت گرفته است. آنالیز مدل ها و نتایج تحقیقات محققین نشان می دهد که:

۱- اغلب تحقیقات، دانش و فهم اولیه از فرآیند کوبش و جداسازی مواد را در واحد کوبنده نشان می دهد.
۲- همه توابع ارایه شده دیدگاه های ارزشمندی برای مدل کردن فرآیند کوبش و جداسازی در واحد کوبنده به نمایش می گذارند.
۳- اغلب کارهای تحقیقاتی در این زمینه روی کمباین هایی انجام شده است که دارای کوبنده معمـولی از نـوع تسمه سوهانی بوده است.
٤- اغلب تحقیقات و مطالعات روی پارامترهایی می باشد که بر جداسازی مواد تاثیر دارند.
۵- در این تحقیقات اثر پارامترهای طراحی، عملکردی و شرایط محصول روی کوبش و جداسازی مواد اغلـب به صورت گراف هایی نشان داده شده اند و خیلی کم مدلی که نشان دهنده روابط بین این پارامترها باشـد، منتشر گردیده است.
٦- مدل ها اغلب جزئی هستند. بدین معنی که آن ها تنها جنبه های خاصی از فرآینـد کـوبش و جداسـازی را شرح می دهند و قابل تعمیم به سایر موارد نمی باشند. اغلب این مدل ها تنها از یک تابع و آن هم معمـولا جداسازی دانه ها و یا دانه های باقیمانده جدانشده را تشریح می کنند.
۷- اکثر مدل ها با استفاده از فرضیات متفاوت برای انواع خاصی از واحدهای کوبنده ارائه شده اند و این مـدل ها خیلی کم قابل تعمیم برای دیگر کمباین ها می باشند. بدین معنی که این مدل ها عمومیت ندارنـد (Miu و Kutzbach، ۲۰۰۸).

نمودار عمومی وینک بیانگر خصوصیات عملکردی کوبنده سوهانی با ضد کوبنده شـبکه بـاز، بـر اسـاس نتـایج NIAE و تحقیقات مشابه در آلمان است. شکل ۱ روابط کیفی آن برای ٦ عامل (طول کوبنده، قطـر کوبنـده، سـرعت کوبنده، فاصله کوبنده و ضد کوبنده، نرخ تغذیه و محتوای رطوبت محصول) را نشان مـی دهـد (طباطبـایی کلـور و همکاران، ۱۳۸٤).

روش های مختلف مدل سازی فرایندهای جدا سازی دانه در منابع استفاده شده اند. مدل های ساده، تنها از یک تابع نمایی استفاده می کنند که تابع جداسازی $s_n(x)$ را در طول مسیر کوبش برای یک واحد کوبنده مماسی (Arnold، ١٩٦٤) و برای واحد کوبنده‌ی محوری (Wacker، ١٩٨٥) ارائه می کنند.

$$s_n(x) = 1 - e^{-\lambda x} \qquad [1]$$

$$r_s(x) = e^{-\lambda x} \qquad [2]$$

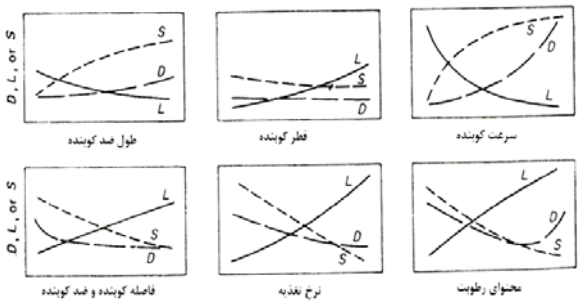
که در آن:

$s_n(x)$ = دانه های جدا شده

x = طول مسیر کوبش

$r_s(x)$ = دانه باقیمانده برای جدا شدن

λ = ضریب ثابت جداسازی می باشد، چرا که فرآیندهای کوبیدن و جداسازی در طول کوبنده با یک نرخ ثابت انجام می شوند.



شکل١- خصوصیات بعضی از عوامل عملکردی کوبنده سوهانی با ضد کوبنده شبکه باز. L= افت استوانه کوبنده، D= صدمه دانه و S= درصد دانه جدا شده از طریق شبکه ضد کوبنده

Rusanov (١٩٧١)، یک مدل تابع نمایی را برای توصیف دانه‌ی باقیمانده برای جدا شدن در یک واحد کوبنده مماسی ارائه کرد.

$$R_s = e^{-\mu x^{\alpha}} \qquad [3]$$

که در آن:

R_s = دانه باقیمانده برای جدا شدن

x = طول مسیر کوبش

α = توان x می باشد که بر اساس داده های آزمایشی مقدار آن ٠/٩ می باشد.

کاسپرز به نقل از Miu و همکاران (٢٠٠٨)، یک تابع نمایی (که نمای آن خود یک تابع کثیرالجمله می باشد) برای اندازه گیری جرم دانه های جدا شده در طول مسیر کوبش مواد در کوبنده های مماسی(x) به شرح زیر ارایه کرد:

$$S_g = k\left(1 - e^{-\left(a_0 x - a_1 x^{a_2} + a_2 x^{a_3}\right)}\right) \qquad [4]$$

که در آن:

k = جرم کل دانه های وارد شده به فضای کوبنده و ضد کوبنده

a_1، a_2 و a_3 ضرایب وابسته به عوامل طراحی واحد کوبنده و خصوصیات مواد می باشد.

Gregory (۱۹۸۸)، معادله‌ای برای جداسازی دانه در کوبنده با استفاده از تحلیل ابعادی ارائه کرد. این مدل ها به مزیت محاسبات ساده وابسته به مکان x در طول کوبش اشاره می کنند. یک ضریب جداسازی به تنهایی نمی تواند اثر همه‌ی پارامترهای طراحی و عملیاتی را ترکیب کند، لذا کلیه‌ی ضرایب برای عملیات کوبیدن و جداسازی در داخل ضریب جداسازی λ جا داده شده اند.

Miu و Kutzbach (۲۰۰۸)، یک مدل ریاضی جامع را از فرآیندهای کوبیدن و جداسازی دانه در هر دو واحد کوبنده محوری و مماسی ارائه کردند. معادلات بدست آمده در این بررسی، درصد دانه های کوبیده نشده، دانه های تمیز و دانه های جداشده را در طول فضای کوبنده، گردنده و یا طول ضدکوبنده توصیف و کمی می کنند. این مدل تعادل مواد دانه‌ای را در هر مکان x از طول کوبنده، به صورت رابطه ی زیر بیان می کند:

$$s_n(x) + s_f(x) + s_s(x) = 1 \qquad [۵]$$

که در آن:

$s_n(x)$ = بخش دانه کوبیده نشده

$s_f(x)$ = بخش دانه آزاد (جدا شده از خوشه)

$s_s(x)$ = بخش دانه‌ی جدا شده.

دانه‌های جدا شده از فاصله محوری x از انتهای جلویی استوانه‌ی کوبنده، میزان دانه‌ی جدا شده $s_s(x)$ را بیان می کند.

$$s_s(x) = \frac{1}{\lambda-\beta}[\lambda(1-e^{-\beta x}) - \beta(1-e^{-\lambda x})] \qquad [۶]$$

که در آن:

λ = نرخ ویژه کوبیدن

β = نرخ ویژه جداسازی

که به ازای $x = L$، ماکزیمم درصد تجمعی دانه‌ی جدا شده به دست می آید.

نوید و همکاران (۱۳۸۵) نیز در جهت کمّی کردن تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندیر ۱۱۶۵، مدل ریاضی ارائه کردند. مدل ارایه شده به قرار زیر می باشد:

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

که در آن:

x = شدت تغذیه محصول به دماغه

y = سرعت محیطی کوبنده

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.

لذا با در نظر گرفتن اهمیت مباحث فوق، طی طرح حاضر عوامل موثر در جدا شدن دانه از مواد غیر دانه‌ای در کمباین ٦٨S سهند (کپی Dominator ٦٨S شرکت کلاس آلمان) بررسی شده و با انجام یکسری تست های آزمایشگاهی، مدل ریاضی برای کوبنده کمباین مورد نظر ارائه خواهد شد. تا با اتخاذ تصمیماتی سعی شود حداکثر جداسازی ممکنه در کوبنده انجام شود.

مواد و روش ها

١- آماده سازی دستگاه تست

برای اجرای آزمایش‌ها از یک دستگاه کمباین سهند ٦٨S، 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 دانه شبکه بندی شده در ابعاد ٦١٠×١٠٥٠ میلیمتر برای سنجش میزان جداسازی دانه از نقاط مختلف ضد کوبنده ساخت شد (شکل٢).

شکل ٢- سینی شبکه بندی شده

برای خالی کردن آسان محتوای هریک از سلول‌های داخل سینی شبکه بندی شده نیز از ظروف یک بار مصرف با ابعاد ٩٥/٤٥×٧٦/٢٥ میلیمتر به تعداد ٨٨ (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 گردید. سپس این تسمه نقاله در جلوی نقاله تغذیه کمباین قرار داده شد. شکل٣ نحوه‌ی قرارگیری تسمه نقاله در جلو کمباین مورد نظر را نشان می دهد.

شکل ۳- نحوه ی قرارگیری تسمه نقاله در جلوی کمباین

مشخصات مربوط به کوبنده کمباین سهند ٦٨S 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 ٦٨S از نوع تسمه سوهانی بوده که دارای عرض ۱۰٦۰میلیمتر، قطر ٤٥۰ میلیمتر، ٦ عدد تسمه سوهانی و ٥ عدد بشقاب می باشد.

۳- دور کوبنده: دور کوبنده نیز از ٦٥۰ دور در دقیقه تا ۱٥۰۰ دور در دقیقه قابل تنظیم از داخل کابین راننده می باشد.

٤- 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.

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 ها انتخاب گردید. محصول آزمایشی 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 آزمایشات (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 های 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 جداسازی مواد نیز 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- اجرای آزمایش ها

قبل از هر تکرار، شناسنامه هر آزمایش تهیه و سپس محصول از داخل کیسه در آورده شـده و روی تسـمه نقالـه 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 داخـل نقالـه تغذیـه و بـه دنبـال آن بـه فضای کوبنده و ضدکوبنده تغذیه می گردید. بعد از هر آزمایش، دانه‌های آزاد (کوبیده شده) منتقل شده بـه قسـمت غربال که همراه با مواد غیر دانه‌ای (MOG) از عقب کمباین روی پارچه‌ی پهن شده روی زمین می ریخـت، توسـط الک هایی به صورت دستی جدا و با ثبت شماره آزمایش، توسط ترازوی دیجیتالی بـا حساسـیت ۰/۰۱ گـرم وزن و یادداشت شد. مواد داخل سلول ها نیز پس از ثبت شماره آزمایش و شماره سلول، داخل کیسه هـای کوچـک خـالی شده و پس از جداسازی از مواد غیردانه‌ای رد شده از سوراخ های ضدکوبنده، توسط یک ترازوی دیجیتالی حسـاس توزین و یادداشت گردید.

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)

داده های بدست آمده از میزان جداسازی مواد در واحدکوبنده کمباین سهند ٦۸S در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نظر به اینکه این داده ها دارای توزیـع نرمـال نبودنـد، تبـدیل لگـاریتمی روی آن هـا صـورت گرفت. از آنجائی که واریانس های درون تیماری یکنواخت نبودند، به جای روش های معمول مقایسه‌ی میانگین هـا از روش Games-Howell استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر ارتفاع ساقه (A)، نرخ تغذیه (B)، نسبت ابتدای فاصله کوبنده و ضدکوبنده به انتهای آن (C) و سرعت دورانی کوبنده (D) روی میزان جداسازی کوبنده در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر هـر چهار عامل به تنهایی و نیز اثرات متقابل A*B، A*C، B*C، C*D ، A*D، B*D، A*B*C و A*B*D در سطح احتمال

۰/۰۱ معنی دار شدند. ولی اثرهای متقابل B*C*D و A*B*C*D معنی دار نشدند. بررسی نمودارهای مربوط به اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار نشان دادند که اثرات متقابل از نوع تغییر در مقدار می باشد. از این رو بـا در نظـر گرفتن عدم تغییر ترتیب قابل توجه سطوح یک عامل از یک سطح به سطح دیگـر، نتـایج مربـوط بـه اثـرات اصـلی عوامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

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

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
ارتفاع ساقه (A)	۲	۰/۱۳۵	۱۳۸/۸۲۲**
شدت تغذیه (B)	۲	۰/۰۵۱	۵۲/٦۰۱**
نسبت لقی (C)	۲	۰/۰۲۸	۲۸/۳۰٤**
سرعت کوبنده (D)	۲	۰/۰۸۵	۸۷/٤۸۷**
A*B	٤	۰/۰۰۵	۵/٤۵۵**
A*C	٤	۰/۰۱۵	۱٤/۹۲۸**
A*D	٤	۰/۰۰٤	٤/۰٦٦**
B*C	٤	۰/۰۰۷	۷/۱۵۲**
B*D	٤	۰/۰۰٤	۳/۸۵۹**
C*D	٤	۰/۰۰٤	۳/٦۸٦**
A*B*C	۸	۰/۰۰۳	۳/۳۱٤**
A*B*D	۸	۰/۰۰۳	۳/۲۳٦**
B*C*D	۸	۰/۰۰۱	۱/٤٤۹ns
A*B*C*D	۲٤	۰/۰۰۱	۱/٤۵۵ns
خطای آزمایشی	۱٦۰	۰/۰۰۱	

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

میانگین جداسازی در کوبنده کمباین سهند ٦٨S در سطوح مختلف عوامل مـورد مطالعـه در جـدول ۳ درج شـده است. بیشترین میزان جداسازی با ۲۰۲۳ گرم در ارتفاع ساقه ٤۵ سانتی متر و کمترین میزان جداسازی نیز بـا مقـدار ۱٦۸۷ گرم در ارتفاع ساقه ۸۵ سانتی متر بدست آمد. علت افزایش جداسازی در ارتفاع ساقه‌های پایین، عملکرد بهتر کوبنده روی سنبله های گندم می باشد.

به طوری که با کاهش ارتفاع محصول، نسبت دانه به MOG افزایش یافته و در نتیجـه ضـربات کوبنـده مسـتقیماً (بـا استهلاک اندک ضربه) با سنبله ها برخورد کرده و منجر به افـزایش میـزان کـوبش و افـزایش عبـور مـواد دانـه‌ای از ضدکوبنده (توری) می شود. از دلایل دیگر نیز می توان به کاهش نسبت MOG به دانه در ارتفاع های ساقه کم اشاره کرد. بدین معنی که با کاهش MOG، دانه ها فرصت و شانس بیشتری برای نفوذ در بین مواد غیردانه ای وارد شده به فضای کوبش داشته و در نتیجه به سهولت از سوراخ های ضدکوبنده عبور می کنند. مواد غیردانه ای در ارتفاع هـای

ساقه کم (که دارای مواد غیردانه ای زیادی می باشند) کمتر موجب گرفتگی سوراخ های ضدکوبنده می شوند و دانه ها می توانند به راحتی و با کمترین مانعیت از سوراخ های ضدکوبنده عبور کنند.

بررسی میانگین های مقادیر جداسازی یافته مواد در کوبنده در شدت تغذیه های مختلف بیان گر آن است که بیشترین میزان جداسازی با مقدار ۱۹۳٦ گرم در شدت تغذیه ٤۲/۸٦ کیلوگرم در دقیقه و کمترین میزان جداسازی با مقدار ۱۷۲٦ گرم در شدت تغذیه ۱۰۰ کیلوگرم در دقیقه مشاهده شد. یکی از علل پایین بودن میزان جداسازی در شدت تغذیه بالاتر، عملکرد ناقص کوبنده می باشد. به طوری که با افزایش شدت تغذیه، ضخامت لایه محصول در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده بیشتر شده و همه‌ی سنبله ها به یک اندازه ضربه از طرف کوبنده دریافت نمی کنند. هم چنین در شدت تغذیه های بالاتر، سنبله ها زمان کافی برای دریافت ضربات متوالی کوبنده را نداشته، لذا میزان کوبش (دانه های آزاد در فضای کوبش) و به تبع آن میزان جداسازی کاهش می یابد.

در خصوص اثر نسبت لقی بر جداسازی، بیشترین میزان جداسازی با مقدار ۱۹۱٤ گرم در نسبت ٤/۳۳ و کمترین میزان جداسازی نیز با مقدار ۱۷٦٦ گرم در نسبت ۲/۸۳ رخ داد. از دلایل افزایش میزان جداسازی در فواصل کم بین کوبنده و ضدکوبنده می توان به کاهش ضخامت لایه مواد عبوری از فضای کوبش اشاره کرد. بدین معنی که با کاهش ضخامت لایه مواد در فضای کوبش، ضربات کوبنده با استهلاک کمتری نصیب سنبله های عبوری شده و در نتیجه میزان کوبش و نیز جداسازی افزایش می یابد. در فواصل کم نیز میزان مالش که به عنوان عاملی تاثیر گذار در امر کوبش و جداسازی می باشد، افزایش می یابد. افزون بر این، در فواصل کم بین کوبنده و ضدکوبنده دانه های آزاد منتج از عمل کوبش توسط کوبنده، فاصله‌ی زمانی و مکانی کمتری را از بین مواد غیردانه ای طی می کنند تا خود را به سوراخ های ضدکوبنده برسانند لذا میزان جداسازی افزایش می یابد.

جدول ۳-میانگین میزان جداسازی مواد در سطوح مختلف هر کدام از عامل ها

عامل	سطوح عامل ها	میانگین
ارتفاع ساقه	۸۵ cm	۳/۲۲۷c
	٦۵ cm	۳/۲۵۱b
	٤۵ cm	۳/۳۰٦a
شدت تغذیه	۱۰۰ (kg/min)	۳/۲۳۷b
	٦۰ (kg/min)	۳/۲۵۹b
	٤۲/۸٦ (kg/min)	۳/۲۸۷a
نسبت لقی کوبنده	۳/۷۵	۳/۲۵۵b
	٤/۳۳	۳/۲۸۲a
	۲/۸۳	۳/۲٤۷b
سرعت کوبنده	۱۲۰۰ (rpm)	۳/۲٦۰b
	۱۱۵۰ (rpm)	۳/۲۲۹c
	۱۲۵۰ (rpm)	۳/۲۹٤a

در ارتباط با اثر سرعت کوبنده و ضدکوبنده بر جداسازی مواد در کوبنده، بیشترین میزان جداسازی با مقدار ۱۹٦۸ گرم مربوط به سرعت ۱۲۵۰ دور در دقیقه و کمترین آن با مقدار ۱٦۹٤ گرم مربوط به سرعت ۱۱۵۰ دور در دقیقه بود. در سرعت های بالاتر کوبنده، عمل اجزای کوبنده روی محصول با شدت بیشتری انجام یافته و در نتیجه محصول ضربات بیشتری را دریافت می کند که این منجر به کوبش بهتر محصول (درصد دانه های آزاد بیشتر) و نهایت امر جداسازی بیشتر مواد می شود. ضمن اینکه با افزایش سرعت کوبنده، نیروی گریز از مرکز وارد شده به دانه ها بزرگتر بوده و احتمال عبور دانه از میان لایه محصول و نیز سوراخ های ضدکوبنده بیشتر می شود. این دو عامل باعث می شود درصد بالاتری از دانه های آزاد از ضدکوبنده عبور کرده ودانه های کمتری روی جداکننده (غربال) بریزد. در نتیجه به علت پایین بودن درصد دانه ها در لایه محصول روی غربال، بازده جداسازی دانه نیز در این قسمت افزایش و افت عقب کمباین کاهش می یابد.

مقایسه میانگین ها نشان دادند که حداکثر میزان جداسازی مواد با مقدار ۲۸٦٤ گرم در تیمار $A_1B_3C_2D_3$ بدست می آید. با وجود این که این تیمار برای بدست آوردن حداکثر جداسازی و کوبش مواد در واحد کوبنده کمباین سهند ٦۸S مناسب تشخیص داده شد، لیکن برای توصیه بهترین تیمار باید از بیش باری یا عدم بیش باری سیستم تمیزکننده نیز اطمینان حاصل کرد. لازم به ذکر است که حداقل میزان جداسازی با مقدار ۱۲۵۵ گرم در تیمار $A_1B_1C_3D_2$ اتفاق افتاده است که در این تیمار نیز حداقل میزان کوبش و عبور مواد غیردانه ای مشاهده شد.

نتایج این بخش با نتایج بدست آمده از مطالعات موسسه ملی مهندسی کشاورزی انگلستان (نمودار عمومی وینک) و نوید و همکاران (۱۳۸۵)، در رابطه با بررسی اثر برخی عوامل طراحی روی درصد جداسازی مواد و کاهش افت کمباین، مطابقت داشت. به طوری با کاهش شدت تغذیه، افزایش نسبت لقی کوبنده (کاهش فضای کوبش) و افزایش سرعت کوبنده میزان جداسازی دانه ها از شبکه ضدکوبنده افزایش یافت.

مدل رابطه میزان جداسازی با متغیرهای مستقل مورد آزمایش

در این پژوهش برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از یک تابع نمایی به صورت معادله ۸ استفاده شد.

$$y_2 = b_0 e^{(b_1 x_1 + b_2 x_2 - b_3 x_3 + b_4 x_4)} \qquad [۸]$$

که در آن:

y_2 = میزان جداسازی مواد در واحد کوبنده کمباین سهند ٦۸S (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 در جدول ٤ درج شده‌اند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون رابطه جداسازی مواد با متغیرهای مستقل در جدول ٥ آورده شده است. بین جداسازی مواد کوبیده شده و فاکتورهای مورد مطالعه یک رابطه نمایی معنی دار در سطح احتمال ٠/٠٠١ مشاهده شد. به عبارت دیگر می توان با استفاده از مدل نمایی مذکور، میزان جداسازی مواد کوبیده شده 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.

ضریب استاندارد شده مربوط به ارتفاع ساقه (b_1) بیشترین مقدار را در بین ضرایب دارا بود. پس از بین متغیرهای مستقل مورد آزمایش در این پژوهش، ارتفاع ساقه بیشترین تاثیر را روی میزان جداسازی محصول در واحد کوبنده داشت. به همین ترتیب تاثیرگذاری متغیر سرعت کوبنده بر جداسازی محصول کوبیده شده بیشتر از دو متغیر باقیمانده دیگر بود و این درحالی است که تاثیرگذاری دو متغیر باقیمانده (شدت تغذیه و و نسبت لقی) روی میزان جداسازی تقریباً برابر می باشد.

جدول ٥- تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی میزان جداسازی مواد در کوبنده کمباین سهند ٦٨S

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ناشی از رگرسیون	٤	٠/١٤٢***
باقیمانده	٢٣٨	٠/٠٠٢
کل	٢٤٢	

***: معنی دار در سطح احتمال ٠/٠٠١

جدول٤- ضرایب رگرسیون استاندارد نشده و استاندارد شده مدل ریاضی مربوط به میزان جداسازی در کوبنده کمباین سهند ٦٨S

ضرایب رگرسیون	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده
عرض از مبدا (b_0)	١٣/٣	
ارتفاع ساقه (b_1)	-٠/٠٠١٩٩٢٤	-٠/٤٩٣
سرعت کوبنده (b_4)	٦/٤٨٦١×١٠$^{-٤}$	٠/٤٠١
شدت تغذیه (b_2)	-٨/٢٠١٥٤٢	-٠/٢٩٧
نسبت لقی (b_3)	٠/٠٢٢٠٦٥	٠/٢٠٦

با توجه به ضرایب رگرسیون استاندارد مدل های ارائه شده برای جداسازی مواد، پیشنهاد می شود در صورتی که کلش محصول به عنوان یک ارزش اقتصادی در نظر گرفته نشود، جهت افزایش جداسازی مواد در واحد کوبنده

کمباین سهند ٦٨S، ارتفاع ساقه محصول کاهش داده شود. در صورتی که کلش دارای ارزش اقتصادی باشد، پیشنهاد می شود برای کوبش و جداسازی 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.

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 ٦٨S، شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان.

طباطبایی کلور، ر.، شم آبادی، ز. ا. و نجات لرستانی، ع. ١٣٨٤. 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 ١١٦٥. 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.

Arnold, R. E., 1964. The significance of influence parameters on the work of a rasp bars cylinder. Landtecnik, 14 (21): 22-28.

FAO. 2008. FAOSTAT data base. FAO, Rome. www.faostate.fao.org

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 H.D. Kutzbach. 2008. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing unites, Part I. Journal of Computer and Electronics in Agriculture. 96-104.

Gregory, J. M.1988. Mathematical relationship prediction grain separation in combines. Trans. of the ASAE,Vol.30(6), P.1600-1604.

Rusanov, A. J. 1971. Dependence of threshing unit separation of cylinder diameter and Concave Lenght. Mechanuzacija, 29(8): 16-18.

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.

Effect of Design Parameters on Separation of Grain in Thresher to Minimize Separation Loss.

Abstract

Although the mean of combine losses is about 4-5% in advanced countries, unfortunately in Iran is about 20% and higher. In order to obtain little loss it is necessary that product processes such as cutting, transporting, threshing, separation,. . . would be optimized expressing the equation of different parts of harvesting is the first step. Threshing is one of these processes which has more effect on combine performance. It is desire to maximize the separation of grain from concave meshes. Because of increasing the separation of grains from concave meshes, because it will decrease load of separation and cleaning mechanisms which lead to reduction of separation system's losses. Therefore efficiency of separation and cleaning mechanisms would have been increased when separation efficiency of threshing mechanism was increased. Stem height, feed rate, threshing clearance rate and cylinder speed are parameters which were used in combine design and evaluating of its performance. In order to evaluating of these parameters effect on separation efficiency of threshing cylinder, an experiment was conducted in 4×3×3 factorial pattern with Randomized Blocks design. Independent variables in these experiments were stem height, feed rate, threshing clearance ratio and rotational velocity of threshing cylinder as dependent variables had significant effect on separation efficiency but interaction effects of them were not significant($P<0.01$). Separation of grains from concave opening was increased when stem height, feed rate and threshing clearance decreased. As rotational speed of threshing cylinder increased separation of grains in threshing mechanism increased. Multiple regression was used to express relation between dependent and independent parameters. The most compatible model for threshing of materials (y_1), separation (y_2) and MOG passing (y_3) were as follow:

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 b_0, b_1, b_2, b_3 and b_4 were constants.

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