

## اثر پارامترهای طراحی بر جدا شدن مواد در کوبنده برای کمباین افت جداکننده در کمباین

علی میرزازاده<sup>1\*</sup>، شمس‌اله عبدالله‌پور<sup>2</sup>، محمد مقدم<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 88/11/11 تاریخ پذیرش: 89/12/2

- 1- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
- 2- دانشیار گروه ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
- 3- استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مسئول مکاتبه: E-mail: [ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir)

### چکیده

با وجود اینکه متوسط افت کمباین در کشورهای پیشرفته 4 تا 5 درصد تخمین زده می‌شود، متاسفانه براساس تحقیقات بعضی از پژوهشگران این عرصه، این مقدار برای کشور ایران تا 20 درصد (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 قسمت‌های مختلف، اولین قدم در عملی شدن این مهم می‌باشد. یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، فرایند کوبش مواد می‌باشد که تاثیر بیشتری بر عملکرد کمباین دارد. حداکثر جداسازی دانه های کوبیده شده از طریق ضدکوبنده مهم می‌باشد، چرا که افزایش جداسازی از طریق شبکه‌ها بار را روی غربال یا انواع دیگر واحدهای جداسازی کاهش می‌دهد. در نتیجه امر افت غربال کاهش می‌یابد. پس هرچه این بازده بیشتر باشد، بازده قسمت جداکننده و تمیزکننده کمباین نیز بالا می‌رود. ارتفاع ساقه، شدت تغذیه، فاصله کوبنده و ضدکوبنده و سرعت دورانی کوبنده از عوامل کاری موثر در طراحی و کارکرد و افت کوبنده کمباین می‌باشند. بر این اساس، 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. 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 0/01 معنی دار و اثرات متقابل فاکتورها غیر معنی دار می‌باشد. 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 0/001 بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. در نهایت مناسب ترین مدل برای میزان جداسازی  $(y_2) = b_0 e^{(b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4)}$  است 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 می‌باشند.

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

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

A Mirzazadeh<sup>1\*</sup>, SH Abdollahpour<sup>2</sup>, M Moghadam<sup>3</sup>

Received: 31 January 2010 Accepted: 21 February 2011

<sup>1</sup>PhD student of Eng of Agric Mechanization, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assoc Prof, Agricultural Machinery Eng., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Prof, Dept of Plant Breeding and Biotechnology Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

\*Corresponding author: E-mail: [ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:ali.mirzazadeh@tabrizu.ac.ir)

### 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  $y_2 = b_0 e^{(b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4)}$ . 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  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  and  $b_4$  were constants.

**Keywords:** Combine, Cylinder speed, Feed rate, Stem height, Separation, Threshing clearance ratio, Modeling

## مقدمه

برای داشتن حداقل افت، باید فرآیند عمل‌آوری محصول (ساقه، انتقال، کوبش، جداسازی و...) بهینه گردد. یک شیوه‌ی اساسی برای بهینه‌سازی این فرآیندها عبارت است از تفکیک فرآیندها و تقسیم آن به اجزای کوچک‌تر و بالاخره ساخت یک مدل از سیستم مورد نظر، تا بتوان بر افزایش کارکرد دآوری بهتری صورت داد. بیان رفتار قسمت‌های مختلف و کارکرد آن به صورت ریاضی و اصطلاحاً کمی کردن آن، اولین قدم در عملی شدن موضوع فوق می‌باشد. یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، فرایند کوبش مواد می‌باشد که توسط واحد کوبنده (متشکل از کوبنده و ضدکوبنده یا روتور و شبکه) انجام می‌گیرد. کوبنده ایده آل کوبنده‌ی 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 غیردانه‌ی و عبور آن از شبکه ضدکوبنده را به حداقل برساند (میو 1999).

عملکرد بخش کوبنده خود با عوامل بازده کوبنده، بازده جداکننده، دانه‌های صدمه دیده و مقدار ساقه‌های خرد شده سنجیده می‌شود.

بازده جدا شدن در کوبنده برابر درصد دانه‌های خارج شده از سوراخ‌های ضدکوبنده به تعداد کل دانه‌های ورودی است. حداکثر جداسازی دانه‌های کوبیده شده از طریق ضدکوبنده (شبکه) در شرایط معمول برای دانه‌های غلات، زمانی که افت‌های غربال بیانگر بخش مهمی از افت کل است، مهم می‌باشد. چرا که افزایش جداسازی از طریق شبکه‌ها بار را روی غربال یا انواع دیگر واحدهای جداسازی کاهش می‌دهد. در نتیجه امر افت غربال کاهش می‌یابد (بهروزی لار 1379).

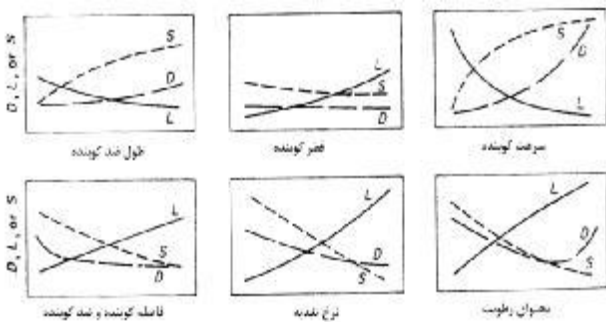
مطالعات و تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی پارامترهایی که بر فرآیند جدا شدن مواد در کمباین اثر می‌گذارند، صورت گرفته است. آنالیز مدل‌ها و نتایج تحقیقات محققین نشان می‌دهد که:

1- اغلب تحقیقات، دانش و فهم اولیه از فرآیند کوبش و جداسازی مواد را در واحد کوبنده نشان می‌دهد.

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 می‌باشد. ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه و صنعت کشاورزی، صنایع و ماشین‌آلات موجود در آن نیز از این قاعده کلی مستثنی نیستند. اما آنچه که ماشین‌آلات کشاورزی را از سایر صنایع مستثنی می‌کند، 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 کپی‌سازی به پیشرفت کمی نمی‌کند، چه بسا با هدر دادن منابع عظیم سرمایه باعث پسرقت نیز گردد.

در این میان کمباین غلات به سبب استراتژیک بودن غلات و اینکه حدود هشت میلیون هکتار سطح زیر کشت را در ایران به خود اختصاص داده است، اهمیت روز افزونی دارد (بی‌نام 2008). در بین غلات نیز گندم قوت لایموت مردم ایران بوده و از عمده‌ترین محصولات کشاورزی و تامین‌کننده بیشترین نیاز غذایی و محور استقلال کشور محسوب می‌شود. 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 کمباین‌ها در کشورهای توسعه یافته 4 تا 5 درصد تخمین زده می‌شود، متأسفانه براساس تحقیقات بعضی از پژوهشگران این عرصه، این مقدار برای کشور ایران تا 20 درصد و حتی بیشتر نیز گزارش شده است و این موضوع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (مقدم 1385).

افت کمباین غلات خود به افت طبیعی (افت قبل از برداشت)، تلفات سکوی ساقه، تلفات کوبنده، تلفات واحد تمیزکننده و تلفات بدنه تقسیم می‌شود (بهروزی لار 1380).



شکل 1- 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

روش‌های مختلف مدل سازی فرایندهای جدا سازی دانه در منابع استفاده شده اند. مدل‌های ساده، تنها از یک تابع نمایی استفاده می‌کنند که تابع جداسازی  $S_n(x)$  را در طول مسیر کوبش برای یک واحد کوبنده مماسی (آرنولد، 1964) و برای واحد کوبنده‌ی محوری (وکر، 1985) ارائه می‌کنند.

$$S_n(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad [1]$$

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

که در آن

$$S_n(x) = \text{دانه‌های جدا شده}$$

$$x = \text{طول مسیر کوبش}$$

$$r_s(x) = \text{دانه باقیمانده برای جدا شدن}$$

$\lambda$  = ضریب ثابت جداسازی می‌باشد، چرا که

فرآیندهای کوبیدن و جداسازی در طول کوبنده با یک

نرخ ثابت انجام می‌شوند.

راسانف (1971)، یک مدل تابع نمایی را برای

توصیف دانه‌ی باقیمانده برای جدا شدن در یک واحد

کوبنده مماسی ارائه کرد.

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

که در آن:

$$R_s = \text{دانه باقیمانده برای جدا شدن}$$

$$x = \text{طول مسیر کوبش}$$

$\alpha$  = توان  $x$  می‌باشد که بر اساس داده‌های آزمایشی

مقدار آن 0/9 می‌باشد.

2- همه توابع ارایه شده دیدگاه‌های ارزشمندی برای مدل کردن فرآیند کوبش و جداسازی در واحد کوبنده به نمایش می‌گذارند.

3- اغلب کارهای تحقیقاتی در این زمینه روی کمباین‌هایی انجام شده است که دارای کوبنده معمولی از نوع تسمه سوهانی بوده است.

4- اغلب تحقیقات و مطالعات روی پارامترهایی می‌باشد که بر جداسازی مواد تاثیر دارند.

5- در این تحقیقات اثر پارامترهای طراحی، عملکردی و شرایط محصول روی کوبش و جداسازی مواد اغلب به صورت گراف‌هایی نشان داده شده‌اند و خیلی کم مدلی که نشان دهنده روابط بین این پارامترها باشد، منتشر گردیده است.

6- مدل‌ها اغلب جزئی هستند. بدین معنی که آن‌ها تنها جنبه‌های خاصی از فرآیند کوبش و جداسازی را شرح می‌دهند و قابل تعمیم به سایر موارد نمی‌باشند. اغلب این مدل‌ها تنها از یک تابع و آن هم معمولاً جداسازی دانه‌ها و یا دانه‌های باقیمانده جدا شده را تشریح می‌کنند.

7- اکثر مدل‌ها با استفاده از فرضیات متفاوت برای انواع خاصی از واحدهای کوبنده ارائه شده‌اند و این مدل‌ها خیلی کم قابل تعمیم برای دیگر کمباین‌ها می‌باشند. بدین معنی که این مدل‌ها عمومیت ندارند (میو و کوتزباخ 2008).

نمودار عمومی وینک بیانگر خصوصیات عملکردی کوبنده سوهانی با ضد کوبنده شبکه باز، بر اساس نتایج NIAE و تحقیقات مشابه در آلمان است. شکل 1 روابط کیفی آن برای 6 عامل (طول کوبنده، قطر کوبنده، سرعت کوبنده، فاصله کوبنده و ضد کوبنده، نرخ تغذیه و محتوای رطوبت محصول) را نشان می‌دهد (طباطبایی کلور و همکاران 1384).

که در آن:

$$\lambda = \text{نرخ ویژه کوبیدن}$$

$$\beta = \text{نرخ ویژه جداسازی}$$

که به ازای  $x = L$ ، ماکزیم درصد تجمعی دانه‌ی جدا شده به دست می‌آید.

نوید و همکاران (1385) نیز در جهت کمی کردن تاثیر شدت تغذیه و سرعت محیطی کوبنده بر افت عقب کمباین جاندر 1165، مدل ریاضی ارائه کردند. مدل ارایه شده به قرار زیر می‌باشد:

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

که در آن:

$$x = \text{شدت تغذیه محصول به دماغه}$$

$$y = \text{سرعت محیطی کوبنده}$$

$$a_1, a_2 \text{ و } a_3 \text{ ضرایب ثابت.}$$

در این مدل افت عقب کمباین، مجموع افت‌های 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 دانه-ای در کمباین 68s سهند (کپی Dominator 68s شرکت کلاس آلمان) بررسی شده و با انجام یکسری تست‌های 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 روش‌ها

#### آماده سازی دستگاه تست

برای اجرای آزمایش‌ها از یک دستگاه کمباین سهند 68s، ساخت شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان، استفاده گردید. در این طرح ابتدا اندام‌های مربوط به هد، کاه پران، چنگک هم زن، 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 دانه شبکه‌بندی شده در ابعاد 1050×610 میلیمتر برای سنجش میزان جداسازی دانه از نقاط مختلف ضد کوبنده ساخت شد (شکل 2).

کاسپرز به نقل از میو و کوتزباخ (2008)، یک تابع نمایی (که نمای آن خود یک تابع کثیرالجزء می‌باشد) برای اندازه گیری جرم دانه‌های جدا شده در طول مسیر کوبش مواد در کوبنده‌های مماسی ( $x$ ) به شرح زیر ارایه کرد:

$$S_s = k(1 - e^{-(\alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3)}) \quad [4]$$

که در آن:

$k$  = جرم کل دانه‌های 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 می‌باشد.

گریگوری (1988)، معادله‌ای برای جداسازی دانه در کوبنده با استفاده از تحلیل ابعادی ارائه کرد. این مدل‌ها به مزیت محاسبات ساده وابسته به مکان  $x$  در طول کوبش اشاره می‌کنند. یک ضریب جداسازی به تنهایی نمی‌تواند اثر همه‌ی پارامترهای طراحی و عملیاتی را ترکیب کند، لذا کلیه‌ی ضرایب برای عملیات کوبیدن و جداسازی در داخل ضریب جداسازی  $\lambda$  جا داده شده‌اند.

میو و کوتزباخ (2008)، 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 دانه‌های کوبیده نشده، دانه‌های تمیز و دانه‌های جدا شده را در طول فضای کوبنده، گردنده و یا طول ضدکوبنده توصیف و کمی می‌کنند. این مدل تعادل مواد دانه‌ای را در هر مکان  $x$  از طول کوبنده، به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌کند:

$$s_n(x) + s_f(x) + s_s(x) = I \quad [5]$$

که در آن:

$$s_n(x) = \text{بخش دانه کوبیده نشده}$$

$$s_f(x) = \text{بخش دانه آزاد (جدا شده از خوشه)}$$

$$s_s(x) = \text{بخش دانه‌ی جدا شده.}$$

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

$$s_s(x) = \frac{1}{\lambda - \beta} [\lambda(1 - e^{-\beta x}) - \beta(1 - e^{-\lambda x})] \quad [6]$$

1- 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.

2- استوانه کوبنده: استوانه کوبنده سهند 68s از نوع تسمه سوهانی بوده که دارای عرض 1060 میلی متر، قطر 450 میلی متر، 6 عدد تسمه سوهانی و 5 عدد بشقاب می باشد.

3- دور کوبنده: دور کوبنده نیز از 650 دور در دقیقه تا 1500 دور در دقیقه قابل تنظیم از داخل کابین راننده می باشد.

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 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 میلی متر و همین فاصله از انتها سه میلی متر باشد. تنظیمات بعدی بسته به شرایط کاری برداشت محصول از داخل کابین توسط اهرمی ایجاد می گردد.

#### جمع آوری محصول

با توجه به اینکه در سال زراعی 88-87 اکثر سطح زیر کشت مناطق آبی دشت مغان به کشت گندم آبی - رقم شیروزی 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.



شکل 2- سینی شبکه بندی شده

برای خالی کردن آسان محتوای هریک از سلول های داخل سینی شبکه بندی شده نیز از ظروف یک بار مصرف با ابعاد  $95/45 \times 76/25$  میلی متر 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 گردید. سپس این تسمه نقاله در جلوی نقاله تغذیه کمباین قرار داده شد. شکل 3 نحوه ی قرارگیری تسمه نقاله در جلو کمباین مورد نظر را نشان می دهد.



شکل 3- نحوه ی قرارگیری تسمه نقاله در جلوی کمباین

مشخصات مربوط به کوبنده کمباین سهند 68s مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر است (بی نام 1385).

نقاله تغذیه و به دنبال آن به فضای کوبنده و ضدکوبنده تغذیه می گردید. 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 الک‌هایی به صورت دستی جدا و با ثبت شماره آزمایش، توسط ترازوی دیجیتالی با حساسیت 0/01 گرم وزن و یادداشت شد. مواد داخل سلول‌ها نیز پس از ثبت شماره آزمایش و شماره سلول، داخل کیسه‌های کوچک خالی شده و پس از جداسازی از مواد غیردانه‌ای رد شده از سوراخ‌های ضدکوبنده، توسط یک ترازوی دیجیتالی حساس توزین و یادداشت گردید.

داده‌های بدست آمده از میزان جداسازی مواد در واحدکوبنده کمباین سه‌سند 68s در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نظر به اینکه این داده‌ها دارای توزیع نرمال نبودند، تبدیل لگاریتمی روی آن‌ها صورت گرفت. از آنجائی که واریانس‌های درون تیماری یکنواخت نبودند، به جای روش‌های معمول مقایسه‌ی میانگین‌ها 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 دوارانی کوبنده (D) روی میزان جداسازی کوبنده در جدول 2 نشان داده شده است. اثر هر چهار عامل به تنهایی و نیز اثرات متقابل  $A*B$ ،  $A*C$ ،  $B*C$ ،  $A*D$ ،  $B*D$ ،  $A*B*C$  و  $A*B*D$  در سطح احتمال 0/01 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 سه‌گانه معنی دار نشان دادند که اثرات متقابل از نوع تغییر در مقدار می‌باشد. از این رو با در نظر گرفتن عدم تغییر ترتیب قابل توجه سطوح یک عامل از یک سطح به سطح دیگر، نتایج مربوط به اثرات اصلی عوامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

متغیرهای‌های مستقل مورد نظر در این آزمایش‌ها 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)

بازده جداسازی مواد نیز به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های 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 می‌دهد.

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)	$D_1 = 1200(\text{rpm})$
	$D_2 = 1150(\text{rpm})$
	$D_3 = 1250(\text{rpm})$

#### اجرای آزمایش‌ها

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

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 های 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 1936 گرم در شدت تغذیه 42/86 کیلوگرم در دقیقه و کمترین میزان جداسازی با مقدار 1726 گرم در شدت تغذیه 100 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 همی سنبله ها به یک اندازه ضربه از طرف کوبنده دریافت می 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 1914 گرم در نسبت 4/33 و کمترین میزان جداسازی نیز با مقدار 1766 گرم در نسبت 2/83 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

میانگین جداسازی در کوبنده کمباین سهند 68s در سطوح مختلف عوامل مورد مطالعه در جدول 3 درج شده است. بیشترین میزان جداسازی با 2023 گرم در ارتفاع ساقه 45 سانتی متر و کمترین میزان جداسازی نیز با مقدار 1687 گرم در ارتفاع ساقه 85 سانتی متر بدست آمد. علت افزایش جداسازی در ارتفاع ساقه های پایین، عملکرد بهتر کوبنده روی سنبله های گندم می باشد.

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

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
138/822**	0/135	2	ارتفاع ساقه (A)
52/601**	0/051	2	شدت تغذیه (B)
28/304**	0/028	2	نسبت لقی (C)
87/487**	0/085	2	سرعت کوبنده (D)
5/455**	0/005	4	A*B
14/928**	0/015	4	A*C
4/066**	0/004	4	A*D
7/152**	0/007	4	B*C
3/859**	0/004	4	B*D
3/686**	0/004	4	C*D
3/314**	0/003	8	A*B*C
3/236**	0/003	8	A*B*D
1/449 <sup>ns</sup>	0/001	8	B*C*D
1/455 <sup>ns</sup>	0/001	24	A*B*C*D
	0/001	160	خطای آزمایشی

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

به طوری که با کاهش ارتفاع محصول، نسبت دانه به MOG افزایش یافته و در نتیجه ضربات کوبنده مستقیماً (با استهلاک اندک ضربه) با سنبله ها برخورد کرده و منجر به افزایش میزان کوبش و افزایش عبور مواد دانه ای از ضدکوبنده (توری) می شود. از دلایل دیگر نیز می توان به کاهش نسبت MOG به دانه در



عامل باعث می شود درصد بالاتری از دانه های آزاد از ضدکوبنده عبور کرده و دانه 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 2864 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 68s 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 1255 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 (1385)، 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 8 استفاده شد.

$$y_2 = b_0 e^{(b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4)} \quad [8]$$

که در آن:

$y_2$  = میزان جداسازی مواد در واحد کوبنده کمباین

سهند 68s (g)

آزاد منتج از عمل کوبش توسط کوبنده، فاصله ی 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 3- میانگین میزان جداسازی مواد در سطوح مختلف هر

کدام از عامل ها

عامل	سطوح عامل ها	میانگین
ارتفاع ساقه	85 cm	3/227c
	65 cm	3/251b
	45 cm	3/306a
شدت تغذیه	100 (kg/min)	3/237b
	60 (kg/min)	3/259b
	42/86 (kg/min)	3/287a
نسبت لقی کوبنده	3/75	3/255b
	4/33	3/282a
	2/83	3/247b
سرعت کوبنده	1200 (rpm)	3/260b
	1150 (rpm)	3/229c
	1250 (rpm)	3/294a

در هر فاکتور، میانگین های دارای حروف متفاوت اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 درصد دارند.

در ارتباط با اثر سرعت کوبنده و ضدکوبنده بر جداسازی مواد در کوبنده، بیشترین میزان جداسازی با مقدار 1968 گرم مربوط به سرعت 1250 دور در دقیقه و کمترین آن با مقدار 1694 گرم مربوط به سرعت 1150 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

تغذیه و و نسبت لقی) روی میزان جداسازی تقریباً برابر می‌باشد.

با توجه به ضرایب رگرسیون استاندارد مدل‌های ارائه شده برای جداسازی مواد، پیشنهاد می‌شود در صورتی که کلش محصول به عنوان یک ارزش اقتصادی در نظر گرفته نشود، جهت افزایش جداسازی مواد در واحد کوبنده کمباین سه‌سند 68s، ارتفاع ساقه محصول کاهش داده شود. در صورتی که کلش دارای ارزش اقتصادی باشد، پیشنهاد می‌شود برای کوبش و جداسازی 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 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، می‌توان فاصله کوبنده و ضدکوبنده را کم و یا شدت تغذیه محصول به کمباین را کاهش داد. که این کاهش‌ها باید با در نظر گرفتن احتمال صدمات مکانیکی وارده به مواد کوبیده شده، ظرفیت مزرعه ای کمباین و تعداد کمباین‌های در دسترس باشد.

جدول 4- ضرایب رگرسیون استاندارد نشده و استاندارد شده مدل ریاضی مربوط به میزان جداسازی در کوبنده کمباین سه‌سند

68s		
ضرایب استاندارد شده	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب رگرسیون
	13/3	عرض از مبدا ( $b_0$ )
-0/493	-0/0019924	ارتفاع ساقه ( $b_1$ )
0/401	$6/4861 \times 10^{-4}$	سرعت کوبنده ( $b_4$ )
-0/297	-8/201542	شدت تغذیه ( $b_2$ )
0/206	0/022065	نسبت لقی ( $b_3$ )

$X_1$  = 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 4 درج شده‌اند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون رابطه جداسازی مواد با متغیرهای مستقل در جدول 5 آورده شده است. بین جداسازی مواد کوبیده شده و فاکتورهای مورد مطالعه یک رابطه نمایی معنی دار در سطح احتمال 0/001 مشاهده شد. به عبارت دیگر می‌توان 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.

جدول 5- تجزیه واریانس رگرسیونی مدل ریاضی میزان جداسازی مواد در کوبنده کمباین سه‌سند 68s

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ناشی از رگرسیون	4	0/142***
باقیمانده	238	0/002
کل	242	

\*\*\*: معنی دار در سطح احتمال 0/001

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

## منابع مورد استفاده

- بهروزی لار م، 1379. اصول طراحی ماشین‌های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.
- بهروزی لار م، 1380. مدیریت تراکتور و ماشین‌های کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.
- بی‌نام. 1385. دفترچه راهنمای کمباین سه‌د 68s، شرکت گسترش و توسعه صنعت آذربایجان.
- طباطبایی کلور ر، شم‌آبادی، زا و نجات لرستانی ع، 1384. اصول ماشین‌های 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 ماشین‌های 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 جان‌دیر 1165. مجله دانش کشاورزی، شماره 2، جلد 16 صفحه های 277-284.
- ولی‌زاده م و مقدم م، 1386. طرح‌های آزمایشی در کشاورزی، ویراست چهارم. انتشارات پریور.
- Arnold RE, 1964. The significance of influence parameters on the work of a rasp bars cylinder. Landtechnik, 14 (21): 22-28.
- Anonymous, 2008. FAOSTAT data base. FAO, Rome. [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
- 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 unites, Part I. Journal of Computer and Electronics in Agriculture 96-104.
- Gregory JM, 1988. Mathematical relationship prediction grain separation in combines. Trans of the ASAE 30(6): 1600-1604.
- Rusanov AJ, 1971. Dependence of threshing unit separation of cylinder diameter and Concave Length. Mechanuzacija 29(8): 16-18.
- 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.