نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۵ شماره ۱/ سال ۱۳۹۹/ صفحه‌های ۱۱۸-۱۱۱

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.44364.1149

تعیین مدل رگرسیونی تاثیر سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و دور دمنده بر میزان افت عقب کمباین Claas Tucano 320

حسن خلیلی کلی‌کند[۱*]، حسین نوید[۱]، حمیدرضا قاسم‌زاده[۱]، مختار اسدپور اصل[۲]، جواد ولی دوتپه‌سفلی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۵

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- شرکت کشت و صنعت مغان، مغان، ایران
*مسئول مکاتبه hassankhalili2696@gmail.com

چکیده

امروزه سعی تمام کاربران بر این است که کمباین‌ها در حداکثر ظرفیت کار کنند. این مهم زمانی قابل حصول است که رطوبت محصول در حد مطلوب بوده و کمباین به‌صورت بهینه تنظیم شده باشد. میزان کوبش، سرعت پیشروی و سرعت دمنده بایستی به‌درستی تنظیم گردند تا کوبش بهینه انجام گیرد، حداقل افت دانه اتفاق افتد و در عین حال حداکثر تمیزشدگی دانه‌ها و حداقل صدمه‌دیدگی دانه نیز لحاظ گردد. در این تحقیق، اثر پارامترهای سرعت پیشروی کمباین در سه سطح ۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت، سرعت دورانی کوبنده در سه سطح ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ دور بر دقیقه و سرعت دورانی دمنده در سه سطح ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ دور بر دقیقه به عنوان فاکتورهای مستقل، روی افت عقب کمباین به‌عنوان فاکتور وابسته بررسی شد. آزمایشات به‌صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار در اراضی مجتمع کشت و صنعت و دامپروری مغان صورت گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سرعت پیشروی و سرعت دورانی کوبنده روی افت عقب کمباین در سطح احتمال ۱٪ و اثر سرعت دورانی دمنده در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. با توجه به‌معنی‌دار بودن اثر این سه فاکتور روی افت و برای بیان رابطه ریاضی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته از رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد و مناسب‌ترین مدل به‌صورت $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$ برآورد گردید که در آن a_0، a_1، a_2 و a_3 ضرایب ثابت بوده و x_1، x_2 و x_3 به‌ترتیب نمایان‌گر سرعت پیشروی کمباین، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی دمنده هستند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که رابطه معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد و ضریب تبیین مدل نیز برابر با ۰/۸۴۷ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افت عقب، سرعت پیشروی، سرعت دورانی دمنده، سرعت دورانی کوبنده، رگرسیون

Regression Modeling of Combine Harvester Rear Loss as a Function of Travel Speed, Cylinder Rotation Speed and Fan Rotation Speed (Claas, Model Tucano 320)

Hassan Khalili Kolikand[1*], Hossein Navid[1], Hamidreza Ghassemzadeh[1], Mokhtar Asadpor Asl[2], Javad Vali Dotappehsofla[1]

Received: 7 Feb 2021 Accepted: 4 Apr 2021

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Moghan Agro-Industry Company
*Corresponding author: hassankhalili2696@gmail.com

Abstract

One of the most time-consuming and difficult stages of crop production is the harvesting stage, that almost more product losses occur at this stage. Adjustments are very important in increasing the efficiency of grain combine harvesters and subsequently decreasing product loss. However, good adjustments require the identification of the components of the harvester, quantifying the losses in these components. In this research, a model has been developed to measure the rear losses of combine harvester (total threshing and separation losses) based on machine parameters. In this research, the effects of different levels of forward speed (3, 4 and 5 km/h), cylinder rotating speed (1100, 1200 and 1300 rpm) and fan speed (600, 700 and 800 rpm) on rear losses of combine harvester in three replications were investigated. A factorial experiment based on a randomized complete block design generally results of ANOVA showed that the travel speed, cylinder rotating speed and fan speed had significant effect on rear loss. Multivariate linear regression was used to make model and determine the relationship between rear loss and investigated parameters. The results of the regression model analysis showed that there was a good fitting between the rear loss and the parameters at the probability level of 1 or 5%. In other words, this model can be used for prediction of combine harvester rear loss under different operational conditions. The coefficient determination of model was obtained 0.85, which shows that a significant part of the rear loss of combine harvester is justified by the three parameters examined in this study.

Keywords: Cylinder rotation speed, Fan speed, Rear loss, Regression, Travel speed

How to cite:
Khalili Kolikand, H., Navid, H., Ghassemzadeh, HR., Asadpor Asl, M., Vali Dotappehsofla J. 2020. *Regression Modeling of Combine Harvester Rear Loss as a Function of Travel Speed, Cylinder Rotation Speed and Fan Rotation Speed (Claas, Model Tucano 320).* Journal of Agricultural Mechanization 5 (1): 111-118

۱- مقدمه

یکی از زمان‌برترین و مشکل‌ترین مراحل تولید غلات، مرحله برداشت آن است و تقریباً بیش‌تر افت محصول در این مرحله اتفاق می‌افتد. تنظیمات کمباین اهمیت زیادی در افزایش بازدهی کمباین‌های غلات و متعاقب آن، کاهش افت محصول دارد. با وجود این، ایجاد تنظیمات جدید مستلزم تشخیص اجزای کاری کمباین و نیز کمی کردن میزان افت در این اجزاء و ارائه مدل ریاضی مناسب می‌باشد.

یکی از فرآیندهای مهم در عملیات برداشت غلات توسط کمباین، فرآیند کوبش مواد می‌باشد که تاثیر بیشتری بر عملکرد کمباین دارد. در سرعت دورانی کم کوبنده تمام دانه‌ها از خوشه جدا نخواهند شد. از طرفی سرعت دورانی بالای کوبنده و فاصله کم بین کوبنده و ضدکوبنده باعث خرد شدن بیش‌تر کاه و کلش و بیش‌باری واحد جداکننده می‌شود (Behroozi Lar, 2001). حداکثر جداسازی دانه‌های کوبیده شده از طریق ضدکوبنده هم مهم می‌باشد، چرا که افزایش جداسازی از این طریق بار را روی غربال یا انواع دیگر واحدهای جداسازی کاهش می‌دهد. در نتیجه، افت واحد جداکننده کاهش می‌یابد (Behroozi Lar, 2000). پس هرچه بازده کوبنده بیشتر باشد، بازده قسمت جداکننده و تمیزکننده کمباین نیز بالا می‌رود. جداشدن دانه از جریان کاه تابعی نمایی از طول غربال است (Wang *et al*., 1987). افت واحد تمیز کننده با افزایش سرعت دمنده و شدت تغذیه، به صورت نمایی افزایش می‌یابد (Bottinger & Kutzbach, 1987). سرعت پیشروی مهم‌ترین عامل در به کمال رساندن عملکرد یک کمباین محسوب می‌شود. سرعت پیشروی کمباین با در نظر گرفتن عملکرد محصول و ظرفیت کمباین تعیین می‌شود. حداکثر سرعت پیشروی موثر، تحت تأثیر ظرفیت کمباین برای کوبیدن، جدا کردن، و تمیز کردن محصول قرار می‌گیرد. اگر سرعت پیشروی خیلی زیاد باشد و باعث افزایش بار کمباین شود، تلفات، بیش از حد معمول خواهد بود (Mansouri Rad, 2012).

مطالعات و تحقیقات بسیاری در مورد پارامترهای دخیل در فرآیندهای کوبیدن و جداسازی مواد در کمباین صورت گرفته است و روش‌های مختلف مدل‌سازی این فرآیندها در منابع آمده است. محققان طی پژوهشی نشان دادند که عملکرد کوبنده با دو معیار کوبش (درصد دانه‌های کوبیده شده نسبت به کل دانه‌های ورودی به کوبنده) و جداسازی (درصد دانه‌های جداشده در کوبنده نسبت به کل دانه‌های کوبیده شده) سنجیده می‌شود (Navid *et al*., 2009).

Miu & Kutzbach (2008a) از روابط (۱) و (۲) برای مدل‌سازی عوامل موثر بر کوبش و جداسازی در کوبنده استفاده نمودند:

$$f(x) = \lambda\, e^{-\lambda x} \quad (۱)$$

$$g(x) = \beta\, e^{-\beta x} \quad (۲)$$

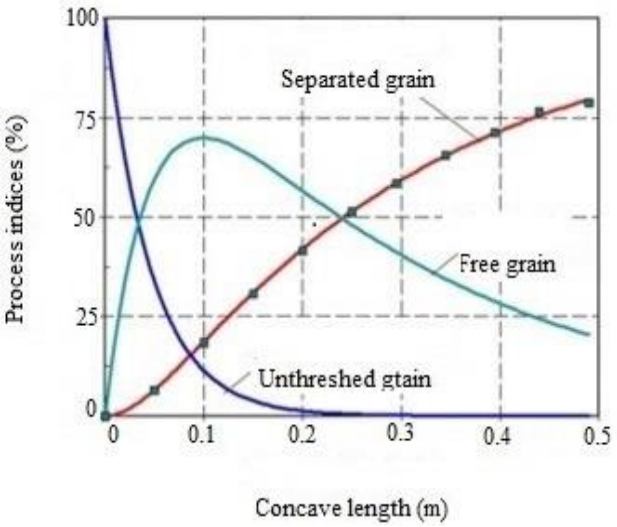
که در آن: $f(x)$ تابع چگالی احتمال کوبش؛ $g(x)$ تابع چگالی احتمال جداسازی؛ λ نرخ کوبش؛ β نرخ جداسازی و x طول فضای کوبش می‌باشد. مدل ارائه شده توسط آن‌ها عبارت است از:

$$s_n = 1 - \int f(x)\, d(x) = e^{-\lambda l} \quad (۳)$$

$$s_f = \frac{\lambda}{\lambda - \beta}\left(e^{-\beta l} - e^{-\lambda l}\right) \quad (۴)$$

که در آن: s_n درصد دانه‌های کوبیده نشده؛ s_f درصد دانه‌های آزاد و L طول ضد کوبنده (m) می‌باشد.

شکل۱ نمودار معادلات (۳) و (۴) و درصد تجمعی دانه‌های جدا شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص می‌شود، بیش‌تر دانه‌ها در ابتدای ورود به فضای بین کوبنده و ضدکوبنده، کوبیده شده و مقدار دانه‌های کوبیده نشده در طول مسیر عبوری از بین کوبنده و ضدکوبنده کاهش پیدا می‌کند. دانه‌های آزاد نیز در طول همین مسیر ابتدا افزایش یافته و سپس به دلیل جداسازی دانه کاهش می‌یابد. در نهایت دانه‌های جدا شده نیز در طول مسیر روند افزایشی از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی‌های عملکرد کوبنده مماسی

Fig1. Performance graphs of tangential unit

Patel & Varshney(2014) اثر دو فاکتور سرعت پیشروی و محتوای رطوبتی دانه را بر افت کوبنده بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی تلفات کوبنده افزایش می‌یابد که ناشی از بیش‌باری واحد کوبنده است. آن‌ها در مطالعه خود از روش رگرسیون گام به گام برای بسط افت کوبنده استفاده نمودند.

Zongling *et al.*(2017) یک نوع دماغه جدید ذرت را مورد بررسی قرار دادند. این نوع دماغه به‌منظور برداشت ساقه و بلال ذرت طراحی شده بود. آن‌ها در تحقیق خود تاثیر سرعت‌های پیشروی مختلف (۴، ۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت) را بر میزان افت بلال ذرت، دانه‌های شکسته و افت دانه‌های ذرت بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دماغه طراحی شده در سرعت پیشروی پنج کیلومتر بر ساعت بهترین عملکرد (کم‌ترین افت) را دارد.

Zareei & Abdollahpour (2016) تاثیر عوامل شاخص جنبشی چرخ‌فلک، ارتفاع برش محصـــول و فاصـــله افقی و عمودی چرخ‌فلک از شانه برش را بر میزان افت هد کمباین کلاس مدل لکسیون ۵۱۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که پارامترهای شاخص جنبشـــی چرخ‌فلک و ارتفاع برش محصـــول بیش‌ترین تاثیر را بر میزان افت سکوی برش کمباین مورد نظر دارند. همچنین سطوح بهینه برای شاخص جنبشی چرخ‌فلک و ارتفاع برش محصول به‌ترتیب ۱/۲ (بدون واحد) و ۲۵ سانتی‌متر به‌دست آمد.

Zhao *et al.* (2011) در تحقیقی به‌منظور مدل‌ســـازی فرآیند جداســازی دانه در کوبنده حســگری را در زیر شــبکه ضــدکوبنده قرار دادند و با استفاده از مطالعات Miu & Kutzbach, 2008b و معادلات (۵)، (۶)، (۷) و تحلیل رگرســیونی داده‌های آزمایشــگاهی ارتباط بین افت جداسازی دانه و دانه جدا شده را به‌صورت رابطه (۸) مدل نمودند:

$$S_s(x) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda - \beta}\frac{x}{l}\left[\lambda\left(1 - e^{-\beta x} - \beta\left(1 - e^{-\lambda x}\right)\right]\right. & 0 \le x \le l \\ \frac{1}{\lambda - \beta}\left[\lambda\left(1 - e^{-\beta x} - \beta\left(1 - e^{-\lambda x}\right)\right]\right. & l \le x \le L \end{cases} \quad (۵)$$

$$S_r(r) = \frac{r}{D} e^{\chi r(D-r)} \quad 0 \le r \le D \quad (۶)$$

$$v_s = \frac{\lambda}{\lambda - \beta}\left(e^{-\beta x} - e^{-\lambda x}\right) \quad (۷)$$

$$f(x_0, y_0, a, b) = \frac{s_s(x)\Big|_{x_0-a/2}^{x_0+a/2} \times s_r(r)\Big|_{x_0-b/2}^{x_0+b/2}}{v_s} \quad (۸)$$

که در آن: x_0 و y_0 موقعیت مرکزی ناحیه پایش شده؛ a و b طول و عرض حسگر (m)؛ D قطر ضد کوبنده(m)؛ r جابه‌جایی شعاعی(m)؛ L طول ضد کوبنده (m)؛ v_s دانه‌های آزاد و β، λ و χ مقادیر ثابت می‌باشد.

Myhan & Jachimczyk (2016) در پژوهشی به‌منظور مدل‌سازی فرآیند جدا سازی دانه در غربال پارامترهای ظرفیت غربال، زاویه تغییر فاز میل‌لنگ غربال، زاویه تمایل سطحی غربال و سرعت زاویه‌ای حرکت کاه در روی ســطح غربال را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که کیفیت جداسازی علاوه بر سرعت زاویه‌ای به پارامترهای ســینماتیکی غربال مانند زاویه تغییر فاز و شــدت پرتاب میل‌لنگ هم بستگی دارد. مدل پیشنهادی توسط آن‌ها می‌تواند برای کنترل عملکرد واحد غربال به‌منظور به حداقل ر ساندن تلفات دانه به کار رود. در این مدل مجموع جرم دانه جدا شــده (M_{gs}) به‌وســیله غربال (در بازده جداسازی ۱۰۰٪) معادل جرم دانه خارج شده از N امین لایه محصول (لایه پایین) است و مقدار آن برابر است با:

$$M_{gs} = S.L.\sum_{i=1}^{N}\left\{\int_{t=0}^{t=\frac{L}{v}}\left[\left(\prod_{j=i}^{N}\xi_{(j)}\right).m_{gs(i)}.(dt)^{(N-i+1)}\right]\right\} \quad (۹)$$

که در آن: M_{gs} وزن دانه جدا شــده به وســیله غربال (kg)؛ S عرض یک واحد غربال(m)؛ L طول یک واحد غربال (m)؛ $\xi_{(j)}$ نرخ جداســازی از i امین لایه (s^{-1})؛ $m_{gs(i)}$ وزن دانه جدا شــده از i امین لایه (kg) و v سرعت تئوری حرکت ($m\ s^{-1}$) می‌باشد.

Liang *et al.* (2016) به منظور پایش افت جداسازی دانه در کمباین برداشت برنج اقدام به طراحی و ارزیابی یک نوع حسگر پیزوالکتریک کردند. آن‌ها از روش اجزای گسسته (DEM) برای شبیه‌سازی رفتار برخورد دانه برنج و مواد غیردانه‌ای با حسگر استفاده کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی میزان تلفات جداسازی افزایش می‌یابد. آن‌ها در تحقیق خود از روابط (۱۰) و (۱۱) برای تعیین توزیع احتمالی نسبت جرمی افت دانه در امتداد محورهای x و y استفاده کردند:

$$S_f(x) = A\left(1 + e^{-(x - x_c)}\right) \quad (۱۰)$$

$$S_r(y) = B\, e^{-\frac{y}{t_1}} + y_0 \quad (۱۱)$$

و در نهایت با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱)، معادله (۱۲) را برای تعیین نسبت تلفات دانه در ناحیه پایش شده و افت کل دانه ارائه کردند.

$$r = S_f(x)\Big|_{x_0-a/2}^{x_0+a/2} \times S_r(y)\Big|_0^b \quad (۱۲)$$

که در آن: A، B، x_c، y_0 و t_1 : مقادیر ثابت؛ x_0 موقعیت مرکزی ناحیه پایش شده و a و b طول و عرض حسگر (m) می‌باشد.

در این تحقیقات اثر پارامترهای طراحی، عملکردی و شرایط محصول روی کوبش و جداسازی مواد بررسی شده است. اغلب مدل‌های ارائه شده جنبه‌های خاصی از فرآیند کوبش و جداسازی را شرح می‌دهند. در تحقیق حاضر سعی شده است، مدلی برای اندازه‌گیری افت عقب کمباین (مجموع افت کوبنده و جداکننده و تمیز کننده) براساس پارامترهای کاری ماشین ارائه گردد.

۲- مواد و روش‌ها

آزمون‌های مزرعه‌ای در استان اردبیل و در اراضی مجتمع کشت و صنعت مغان و در روزهای ۶، ۷ و ۸ تیر ماه سال زراعی ۱۳۹۶ انجام شد.کمباین مورد استفاده در این تحقیق یک دستگاه کمباین کلاس مدل توکانو ۳۲۰ بود که به تازگی وارد ناوگان ماشینی کشت و صنعت شده و مورد

ارزیابی قرار نگرفته بود. مزارع انتخاب شده در سال‌های اخیر تسطیح گردیده و اثر شیب تاثیرگذار نبود و به‌صورت منظم آبیاری شده بودند. رقم گندم کشت شده، اوکلید و رطوبت محصول در موقع برداشت ۱۳/۶ درصد اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق از طرح آماری فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده شد و تاثیر تیمارهای سرعت پیشروی در سه سطح ۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت، سرعت دورانی کوبنده در سه سطح ۱۱۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ دور بر دقیقه و سرعت دورانی دمنده در سه سطح ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ دور بر دقیقه بر میزان تلفات بررسی شد. انتخاب سطوح تیماری نیز براساس دفترچه راهنمای کمباین و تجربیات میدانی انجام گرفت. از آزمون دانکن نیز جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. ابعاد هر کرت، ۳۰× ۵/۴ متر در نظر گرفته شد. در ابتدای هر کرت بعد از اعمال تنظیمات موردنظر کمباین شروع به برداشت ۲۵ متر اول می‌کرد تا حرکت مواد به حالت پایدار برسد سپس نسبت به اندازه‌گیری افت عقب اقدام می‌شد.

۲-۱- اندازه‌گیری نسبت دانه به مواد غیردانه‌ای

برای تعیین نسبت دانه به مواد غیردانه‌ای (MOG) ابتدا کادر با ابعاد داخلی ۰/۲۵ متر مربعی در چهار نقطه از مزرعه به‌طور تصادفی انداخته شد. سپس به‌وسیله داس بوته‌های گندم داخل کادر از ارتفاع برش هد کمباین بریده شده و جمع‌آوری گردید. پس از توزین این نمونه‌ها، دانه‌های گندم موجود درآن نیز توزین گشته و در نهایت با استفاده از رابطه (۱۳) نسبت دانه به مواد غیردانه‌ای محاسبه شد:

$$\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{MOG}} = \frac{\text{وزن دانه}}{\text{وزن دانه} - \text{وزن نمونه}} \times 100 \qquad (۱۳)$$

۲-۲- اندازه‌گیری عملکرد مزرعه

برای اندازه‌گیری عملکرد، یک عدد قاب ۱۰۰ × ۱۰۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی در نقاط مختلف مزرعه قرار داده شد. خوشه‌های گندم داخل قاب از ارتفاع برش هد کمباین بریده شده و در کیسه پلاستیکی قرار گرفتند. این آزمون سه بار تکرار شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه کوبیده شده و توزین گردید. . سپس با استفاده از رابطه (۱۴) عملکرد خالص در هکتار محاسبه شد.

$$\mathrm{NY} = (\mathrm{Y}\times 10000)/\mathrm{S} \qquad (۱۴)$$

که در آن: NY عملکرد خالص محصول (kg/ha)؛ S مساحت نمونه‌برداری شده (m^2) و Y عملکرد محصول در مساحت برداشت شده مورد نظر (kg) می‌باشد.

عملکرد خالص مزرعه مورد آزمون ۶۰۷۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در ضمن برای تعیین عملکرد واقعی یا ناخالص مزرعه باید تلفات صورت گرفته در مرحله برداشت را به عملکرد خالص مزرعه افزود.

۲-۳- اندازه گیری افت عقب

برای این منظور از یک عدد قاب توری‌دار ۱۰۰ × ۵۰ سانتی‌متری به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر (به‌طوری‌که دانه‌های کامل و شکسته گندم از سوراخ‌های آن عبور نکنند) استفاده گردید (شکل ۲، الف). به‌دین ترتیب که در هر تکرار، بعد از رسیدن جریان محصول داخل کمباین به حالت پایدار، قاب مورد نظر در زیر کمباین و حدفاصل محور عقب و جلو قرار داده شد به‌گونه‌ای که مواد خروجی از انتهای کمباین بر روی قاب ریخته شود (شکل ۲، ب). این کار سه بار تکرار شد. پس از جداکردن خوشه‌ها و دانه‌های داخل قاب از سایر مواد و توزین نمونه‌ها در آزمایشگاه و با توجه به عملکرد محصول در هر هکتار، افت عقب به‌صورت درصد بیان گردید. رابطه (۱۵) نحوه محاسبه افت عقب را نشان می‌دهد.

$$\text{Rear loss (\%)} = \frac{(10000 \times loss)/S}{NY} \times 100 \qquad (۱۵)$$

که در آن: NY عملکرد خالص محصول (kg/ha)؛ S مساحت نمونه‌برداری شده (m^2) و $loss$ افت محصول در مساحت برداشت شده مورد نظر (kg) می‌باشد.

(a)

(b)

شکل ۲ – الف) قاب استفاده شده و ب) مواد ریخته شده بر روی قاب، خارج شده از انتهای کمباین

Fig 2. a. frame used and **b.** output material from the back of the combine

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی دمنده روی افت عقب کمباین در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول اثر سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت دورانی دمنده در سطح احتمال ۱٪ و اثر سرعت دورانی دمنده در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شدند و اثرات متقابل سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی کوبنده، سرعت دورانی دمنده و هم‌چنین اثر متقابل سه‌گانه سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی دمنده غیر معنی‌دار گشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی دمنده روی افت عقب کمباین در برداشت گندم

Table 1. Analysis of variance of the effect of treatment on the back losses in harvesting of wheat

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares
بلوک Block	2	**0.38** ns
سرعت پیشروی Forward speed	2	20.16 **
سرعت دورانی کوبنده Cylinder rotation	2	10.48 **
سرعت دورانی دمنده Blower rotation	2	2.99 *
سرعت پیشروی× سرعت دورانی کوبنده Forward speed × Cylinder rotation	4	**1.02** ns
سرعت پیشروی× سرعت دورانی دمنده Forward speed × Blower rotation	4	6.48 **
سرعت دورانی کوبنده× سرعت دورانی دمنده Cylinder rotation × Blower rotation	4	**1.59** ns
سرعت پیشروی× سرعت دورانی کوبنده × سرعت دورانی دمنده Forward speed × Cylinder rotation × Blower rotation	8	**1.15** ns
خطا Error	52	**0.88**
کل Total	81	

ns، * و ** به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال۵٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

مقایسه میانگین‌های اثر سرعت پیشروی، سرعت دورانی کوبنده و دور دمنده بر درصد افت عقب کمباین در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بین سرعت‌های پیشروی از نظر تاثیر آن‌ها روی افت عقب کمباین اختلاف معنی‌دار وجود دارد و با افزایش سرعت پیشروی میزان تلفات هم افزایش می‌یابد که با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد(Patel & Varshney, 2014). کم‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۳۳۷ درصد در سرعت پیشروی ۳ کیلومتر در ساعت و بیش‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۷۳ درصد در سرعت پیشروی ۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد که از جمله دلایل آن می‌توان به‌افزایش مقدار تغذیه مواد به داخل کمباین در سرعت‌های بالا اشاره کرد که منجر به عملکرد ناقص کوبنده می‌شود و دانه‌ها کم‌تر در معرض ضربه مستقیم کوبنده و ضدکوبنده قرار می‌گیرند. در نتیجه امکان کوبش و جداسازی دانه در کوبنده کاهش می‌یابد. از طرف دیگر ارتفاع لایه محصول در غربال‌ها بیشتر شده و دانه‌ها در لابه‌لای حجم انبوهی از مواد غیر دانه‌ای قرار گرفته و همه دانه‌ها فرصت کافی برای عبور از میان کاه و کلش و نیز سوراخ‌های غربال را پیدا نمی‌کنند و تعدادی از آن‌ها از عقب کمباین به بیرون می‌ریزند. بررسی مقادیر میانگین افت عقب کمباین در سطوح مختلف سرعت دورانی کوبنده بیانگر آن است که با افزایش سرعت دورانی کوبنده، میزان افت ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۶۸۵ درصد در سرعت دورانی ۱۳۰۰

دور در دقیقه و کم‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۴۹۳ درصد در سرعت دورانی۱۲۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. می‌توان گفت در سرعت دورانی۱۱۰۰ دور بر دقیقه، با توجه به سرعت پیشروی کمباین و عملکرد بالای محصول در دور کوبنده مذکور همه محصول به‌خوبی کوبیده نشده و باعث افزایش تلفات می‌شود. از طرفی سرعت دورانی ۱۳۰۰ دور بر دقیقه باعث شکستگی دانه، افزایش افت کیفی، خرد شدن بیش‌تر کاه و کلش و بیش‌باری واحد جداکننده می‌شود؛ که منجر به بالا رفتن افت عقب می‌شود. در نهایت بین سرعت‌های دورانی دمنده نیز از نظر تاثیر آن‌ها روی افت عقب کمباین اختلاف معنی‌دار وجود دارد و با افزایش سرعت دورانی دمنده، میزان افت هم افزایش می‌یابد که با نتایج (Bottinger & Kutzbach, 1987) تطابق دارد. کم‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۴۳ درصد در سرعت دورانی دمنده ۶۰۰ دور در دقیقه و بیش‌ترین میزان افت با مقدار ۰/۶۱ درصد در سرعت دورانی دمنده ۸۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. سرعت بالای دمنده منجر به پرتاب شدن دانه‌ها به بیرون از کمباین و افزایش افت عقب می‌شود.

جدول ۲ – مقایسه میانگین تاثیر سرعت پیشروی، سرعت کوبنده و دور دمنده روی افت عقب کمباین در سطوح مختلف سه فاکتور

Table 2. Mean comparison of the effects of forward speed, cylinder rotation and blower rotation with different levels on the rear losses

فاکتورها Factors	سطوح Levels	میانگین* Mean
سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت) Forward speed (km $\mathbf{h^{-1}}$)	3 4 5	0.337c 0.562b 0.73a
سرعت دورانی کوبنده (دور بر دقیقه) Cylinder rotatin (rpm)	1100 1200 1300	0.61a 0.493b 0.685a
سرعت دورانی دمنده (دور بر دقیقه) Blower rotation (rpm)	600 700 800	0.43b 0.527a 0.61a

* در هر فاکتور، میانگین های دارای حروف متفاوت اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد دارند.

شکل ۳ اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت دورانی دمنده را بر میزان افت عقب کمباین نشان می‌دهد که از نوع تغیر در ترکیب می‌باشد. با توجه به شکل مشخص می‌شود کم‌ترین میزان افت مربوط به سرعت پیشروی ۳ کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی دمنده ۶۰۰ دور بر دقیقه و بیش‌ترین میزان افت مربوط به سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی دمنده ۸۰۰ دور بر دقیقه است.

۳-۱- مدل‌سازی

در این تحقیق برای مدل‌سازی و تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. مدل‌های دیگری نیز در نرم‌افزار SPSS بررسی گردیدند. ولی ضریب تبیین این مدل‌ها در مقایسه با مدل خطی کمتر بود و در نهایت رابطه (۱۶) برای بیان و محاسبه میزان افت عقب کمباین بر اساس سرعت پیشروی کمباین، سرعت دورانی کوبنده و سرعت دورانی دمنده بدست آمد.

$$Y= -19.284+1.15x_1+0.012x_2+0.003x_3 \quad (۱۶)$$

که در آن:

y : میزان افت عقب کمباین (٪)؛

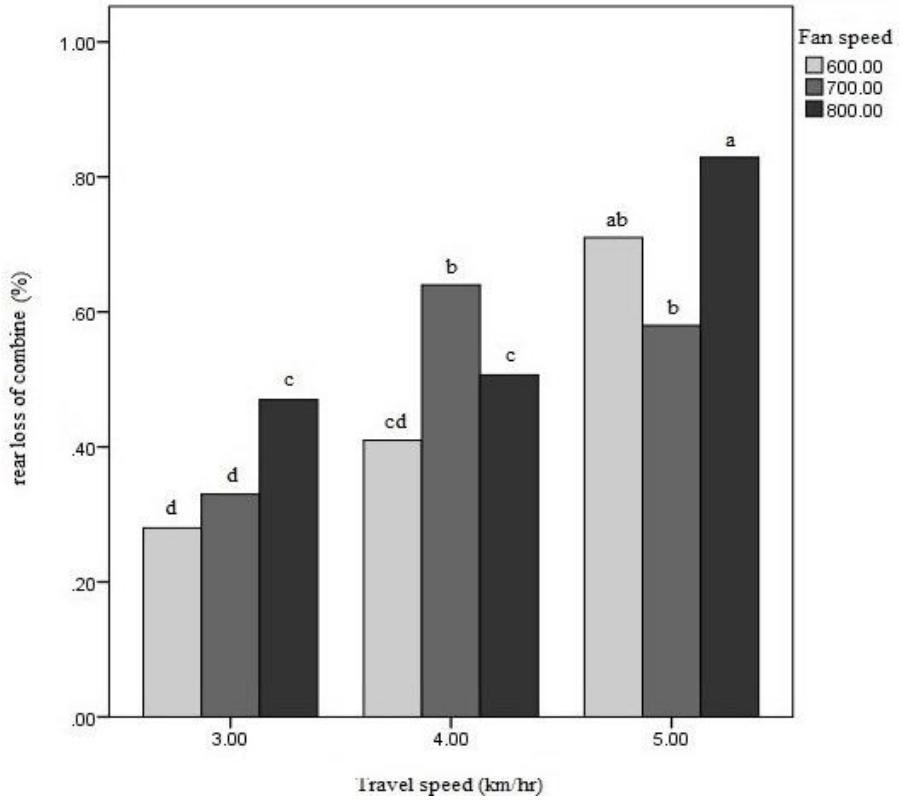
x_1 :سرعت پیشروی ($km\,.\,h^{-1}$)؛

x_2 :سرعت دورانی کوبنده (rpm)و

x_3 : سرعت دورانی دمنده (rpm) می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیونی در جدول شماره ۳ آورده شده است. مطابق نتایج بدست آمده بین درصد افت عقب کمباین و فاکتورهای مورد مطالعه یک رابطه جبری معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ مشاهده می‌شود. به‌عبارت دیگر می‌توان با استفاده از مدل فوق‌الذکر، درصد افت عقب کمباین را براساس مقادیر فاکتورهای مورد مطالعه پیش‌بینی نمود. هم‌چنین نتایج حاصل از تجزیه رگرسیونی مدل نشان داد که حدود ۸۵٪میزان افت عقب کمباین به‌وسیله سه متغیر مورد بررسی در این تحقیق قابل توجیه است. به‌عبارتی ۸۵٪ افت عقب کمباین وابسته به تغییرات سه پارامتر مذکور بوده و ۱۵٪ باقی‌مانده مربوط به سایر عوامل می‌باشد. که در این آزمایش لحاظ نشده است.

مقدار شـــاخص RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) که بیان‌گر تفاوت میان مقادیر شبیه سازی شده تو سط مدل و مقادیر واقعی یک متغیر می‌باشـــد، در این تحقیق ۰/۴۷ به‌دســـت آمد که حاکی از دقت بالای مدل در پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته (افت عقب) می‌باشد.



شکل ۳- اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت دورانی دمنده بر درصد افت عقب کمباین

Fig 3. Interaction of forward speed and lower rotation on the rear loss

جدول ۳- تجزیه واریانس رگرسیونی درصد افت عقب کمباین در سرعت‌های مختلف پیشروی، دور کوبنده و دور دمنده

Table 3. Regression analysis of the rear losses in different forward speed, cylinder rotation and blower rotation

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares
رگرسیون خطی Linear Regression	3	38.471 **
باقیمانده Residual	72	.416
کل Total	80	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

با توجه به جدول ۴، مقادیر ضرایب استاندارد شده مربوط به سرعت دورانی کوبنده و سرعت پیشروی، بیش‌ترین مقدار را در بین ضرایب دارند. بنابراین از بین عوامل مستقل فرض شده در این تحقیق، دو فاکتور مذکور بیش‌ترین تاثیر را روی میزان افت عقب کمباین دارند و سرعت دورانی دمنده در رده بعدی قرار می‌گیرد.

جدول ۴- ضرایب استاندارد نشده و استاندارد شده مدل رگرسیونی درصد افت عقب کمباین Claas Tucano 320

Table 4. Unstandardized and standardized coefficients of mathematical model of the rear losses on Claas combine (Model Tucano 320)

ضرایب رگرسیون Regression Coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized Coefficients	ضرایب استاندارد شده Standardized Coefficients
عرض از مبدا (a_0) Constant	-19.284	
سرعت دورانی کوبنده (x_2) Cylinder rotatin	0.012	0.621
سرعت پیشروی (x_1) Forward speed	1.15	0.591
سرعت دورانی دمنده (x_3) Blower rotation	0.003	0.139
ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده $R^2$and $\bar{R}^2$	0.847	0.838

۴- نتیجه‌گیری

قسمت اعظم ضایعات گندم در مرحله برداشت می‌باشد که در ایران افت برداشت به‌وسیله کمباین دو تا سه برابر مقدار مجاز آن است. لذا تحقیق و پژوهش در زمینه کاهش این گونه تلفات کاملاً ضروری است. در بین ماشین‌های کشاورزی کمباین یکی از پیچیده‌ترین ماشین‌ها از نظر تنوع عملکرد و تنظیمات می‌باشد که تلاش‌های زیادی برای بهبود عملکرد آن در زمینه طراحی‌های جدید و تنظیمات بهینه صورت گرفته است. در این تحقیق به‌منظور مدل‌سازی افت عقب کمباین، تاثیر عوامل سرعت پیشروی، دور کوبنده و دور دمنده بر افت عقب کمباین بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر هر سه عامل و اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت دورانی دمنده روی افت کمباین معنی‌دار بوده و یک رابطه جبری معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بین افت عقب کمباین و فاکتورهای مورد مطالعه وجود دارد و فاکتورهای دور کوبنده و سرعت پیشروی بیش‌ترین تاثیر را بر افت عقب کمباین دارند. ضریب تبیین مدل برابر ۰/۸۵ به‌دست آمد که نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از افت عقب کمباین به‌وسیله سه پارامتر مورد بررسی در این تحقیق قابل توجیه است. هم‌چنین مقدار معیار خطا (RMSE) مدل برابر ۰/۴۷ شد که بیانگر دقت بالای مدل در برآورد مقادیر افت عقب کمباین می‌باشد.

۵- منابع

Navid, H., Mohtasebi, S., and Behroozi Lar, M. (2009). *Mathematical modeling of threshing rate on John Deere combine (model 1165).* Agricultural Knowledge 19 (2):197-205. (In Persian).

Patel, S. K., and Varshney, B. P. (2014). *Modeling of wheat crop harvesting losses.* Agric Eng Int: CIGR, 16 (2): 97-102.

Wang, G., G. C. Zoerb., and F. W. Bigsby.(1987). *A New Concept in Combine Separation Analysis.* Transactions of the ASAE 30 (4): 899-903.

Zareei, S., and Abdollahpour, S. (2016). *Simulation of neuro-fuzzy model for optimization of combine header setting.* Journal of Agricultural Machinery 6(2): 406-416. (In Persian).

Zongling, Z., Shujun, L. Zengde, H. Xiaopeng, B. Teng, L., and Binbin, Z. (2017). *Design and test of a new type header of corn harvester for reaping both corn stalk and spike.* ASABE Annual International Meeting.

Zhao, Z. Li, Y. Chen, J., and Xu, J. (2011). *Grain separation loss monitoring system in combine harvester.* Computers and Electronics in Agriculture 76: 183-188.

Behroozi Lar, M. (2001). *Farm Power and Machinery Management.* Published. Tehran, Iran. (In Persian).

Behroozi Lar, M. (2000). *Engineering Principles of Agricultural Machines.* Azad Islamic University Press. Tehran, Iran. (In Persian).

Bottinger, S., and Kutzbach, H. D. (1987). *cleaning unit under various crop conditions*. ASAE Paper No. 87-1512.

Liang, Z. Li,Y. Xu, L., and Zhao, Z. (2016). *Sensor for monitoring rice grain sieve losses in combine harvesters.* Biosystems Engineering, 47: 51-66.

Mansouri Rad, D. (2012). *Farm Machinery and Tractors.* Bouali Sina University Press. Hamadan, Iran.

Miu, P. I., and Kutzbach, H. D. (2008a). *Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units-Part I.* Computers and Electronics in Agriculture, 60: 96-104.

Miu, P. I., and Kutzbach, H. D. (2008b). *Modeling and simulation of grain threshing and separation in axial threshing units Part II. Application to tangential feeding.* Computers and Electronics in Agriculture, 60: 105-109.

Myhan, R., and Jachimczyk, E. (2016). *Grain separation in a straw walker unit of a combine harvester: Process model.* Biosystems Engineering, 45: 93-107.