

## مدل سازی ریاضی نرخ کوبش در کمباین ۱۱۶۵ جاندر

حسین نوید<sup>۱\*</sup>، سید سعید محتسبی<sup>۲</sup> و منصور بهروزی لار<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: 86/1/24 تاریخ پذیرش: 88/8/15

1- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

\*مسئول مکاتبه E-mail:navid@tabrizu.ac.ir

### چکیده

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. مدل‌سازی نرخ کوبش، امکان پیش‌بینی کوبش (درصد دانه‌های کوبیده شده و افت کوبش) را فراهم می‌کند. کوبش و جداسازی پدیده‌هایی تصادفی بوده و برای بیان آنها توابع تصادفی بکار گرفته می‌شوند. در این تحقیق از مدل پواسون به عنوان تابع توزیع چگالی احتمال استفاده گردید. براساس روابط بدست آمده و نیز نتایج حاصل از آزمون مزرعه‌ای نرخ کوبش ( $\lambda$ ) برای وضعیت‌های مختلف در بازه 2/727 تا 3/821 تغییر کرد. این پارامتر به عوامل متعددی بستگی دارد که در این آزمایش اثر سه عامل شدت تغذیه محصول، سرعت محیطی کوبنده و محتوای رطوبتی دانه روی آن مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، نحوه تغییر  $\lambda$  با تغییر سه پارامتر فوق‌الذکر بررسی، تبیین و بصورت رابطه ریاضی نوشته شد و با استفاده از امکانات رگرسیون چند متغیره غیرخطی در نرم افزار SPSS مدل نهایی برای  $\lambda$  با ضریب تبیین 0/72 بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: کمباین، کوبش، مدل ریاضی

## Mathematical Modeling of Threshing Rate on John Deere Combine (Model 1165)

H Navid<sup>1\*</sup>, S Mohtasebi<sup>2</sup> and M Behrooz Lar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Mechanics of Agricultural Machinery, University of Tehran, Tehran, Iran

\*Corresponding author: [Navid@tabrizu.ac.ir](mailto:Navid@tabrizu.ac.ir)

### Abstract

Thresher performance in combine harvester is evaluated with two parameters: threshing (percentage of threshed grain to the total input grain to thresher) and separating (percentage of separated grain in threshing space to total threshed grain). Modeling of threshing rate makes possible estimating of threshing loss. Threshing and separating are stochastic events. In this research, a stochastic mathematical model was developed for threshing rate. This model uses an exponential function as probability density function (pdf) to describe the threshing rate with varying feed rate, thresher speed and grain moisture content. Based on data from field experiments, threshing rate was determined. Its range varied from 2.627 to 3.821 in different conditions. Using nonlinear regression of SPSS, coefficients of model achieved with  $R^2=0.72$ .

**Keywords:** Combine, Mathematical model, Threshing

عملکرد کوبنده، عمل کوبش را بصورت ریاضی تعریف نماید. کومار و جان (1979) بر اساس تحلیل‌های انجام شده روی داده‌های بدست آمده از آزمون‌های محققین متعدد، افت کوبنده را بصورت تابعی نمایی از متغیرهای متعدد نشان دادند. مرتنز و همکاران (2000) از ترکیب مدل‌های موجود برای کوبنده (ترولوپه 1982 و گرگوری و فدلر 1987) و تمیزکننده (هیونه و پاول 1978) مدلی را برای جریان محصول داخل کمباین نیوهلند با دواستوانه کوبنده ارائه دادند. همچنین مرتنز و همکاران (2001a,b) برای محاسبه میزان دانه های جدا شده، از تابع احتمال جداسازی موضعی،  $P_g(x, u_s(t))$  در طول سینی دانه انتگرال گرفت و نشان داد که تابع  $P_g$  علاوه

### مقدمه

دانه‌های وارد شده به فضای کوبش در اثر دو عامل 1- ضربه<sup>1</sup> کوبنده به محصول (در ناحیه ورودی محصول به فضای کوبش) که ناشی از اختلاف سرعت کوبنده و محصول در لحظه ورود محصول به فضای کوبش می‌باشد و 2- مالش<sup>2</sup> محصول توسط کوبنده که در فضای کوبش صورت می‌گیرد، کوبیده شده، درصد بالایی از دانه‌های کوبیده شده جدا و از سوراخهای ضد کوبنده عبور کرده و روی سینی دانه می‌ریزند (ترولوپه 1982). ترولوپه (1982) سعی کرد برای پیش‌بینی اثر تغییر در منحنی‌های کوبنده و ضد کوبنده بر روی

<sup>1</sup>Impact

<sup>2</sup>Rubbing

تعریف می‌شوند. یکی از این توابع به توزیع پواسون مشهور است. در این توزیع، که به صورت زیر بیان می‌شود  $\lambda$  یک عدد بدون بعد بوده و نرخ پدیده مورد بحث نامیده می‌شود (میرزایی 1372):

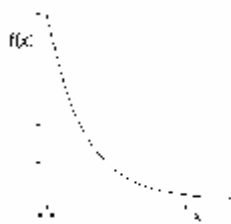
$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad [1]$$

هرچه مقدار پارامتر  $\lambda$  بیشتر باشد درصد بیشتری از دانه‌ها کوبیده شده و بازده کوبنده افزایش خواهد یافت. نتایج تحقیقات مرتنز و همکاران (2000) و نیز میو (1998a, b) حاکی از آن است که می‌توان برای کوبش و جداسازی از توابع زیر استفاده کرد. شکل 2 نمودار این تابع را نشان می‌دهد.

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

$$g(x) = \beta e^{-\beta x} \quad [3]$$

که در آن  $f(x)$  تابع چگالی احتمال کوبش،  $g(x)$  تابع چگالی احتمال جداسازی،  $\lambda$  نرخ کوبش ( $m^{-1}$ ) و  $\beta$  نرخ جداسازی ( $m^{-1}$ ) و  $x$  فاصله جزء از ورودی فضای کوبش می‌باشد.



شکل ۲ - نمودار تابع چگالی احتمال (توزیع پواسون)  
اگر از رابطه [1] در طول ضد کوبنده انتگرال گرفته شود، درصد دانه‌های کوبیده شده بدست می‌آید.

$$S_1 = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx$$

$$= \left[ -e^{-\lambda x} \right]_0^x \quad [4]$$

$$= 1 - e^{-\lambda x}$$

و با جایگزینی  $x=l$  (طول ضدکوبنده) در رابطه [4]، درصد کل دانه‌های کوبیده شده حاصل می‌شود:

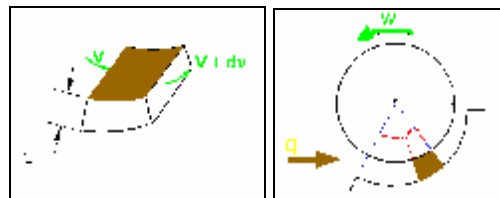
بر  $u_g(t)$  (شدت تغذیه محصول)، به عوامل دیگری مثل طول کاه، رطوبت و گونه محصول بستگی دارد.

میو (1998a,b) براساس کارهای قبلی خود و برپایه مدل‌های تصادفی، روابطی را برای پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی واحد کوبنده در کمباین‌های محوری (درصد دانه‌های کوبیده نشده، درصد دانه‌های جدا شده، افت کوبش و افت جدا سازی) ارائه نمود.

هدف از این تحقیق ارائه مدل ریاضی برای محاسبه نرخ کوبش ( $\lambda$ ) در کمباین جاندر مدل 1165 بود. این مدل محققان را در پیش‌بینی عملکرد کمباین بویژه کوبنده آن یاری می‌نماید.

### مواد و روش‌ها

مطابق شکل 1، یک جزء حجمی در فضای بین کوبنده و ضدکوبنده در نظر گرفته می‌شود. اغلب دانه‌های داخل جزء یاد شده در اولین ضربه وارده از طرف کوبنده، کوبیده شده و در طول حرکت جزء در فضای کوبش از مواد غیر دانه‌ای جدا شده و بر روی سینی دانه می‌ریزد. باید دقت نمود هرچند که قسمت عمده کوبش در اولین ضربه صورت می‌گیرد لیکن این کار در طول فضای کوبش نیز ادامه می‌یابد. جداسازی نیز



شکل 1- فضای کوبش و جزء در نظر گرفته شده در کمباین

بعد از اولین ضربه شروع شده و تا آخر مسیر ادامه خواهد داشت. این اتفاقات در کوبنده یعنی کوبش و جدا سازی پدیده‌هایی تصادفی بوده و برای توضیح آنها می‌توان از توابع تصادفی استفاده نمود. در مدل‌های تصادفی متغیرهای پیوسته با تابع چگالی احتمال<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Probability Density Function

اگر این مقدار با مقدار بدست آمده از رابطه [5] مساوی قرار داده شود:

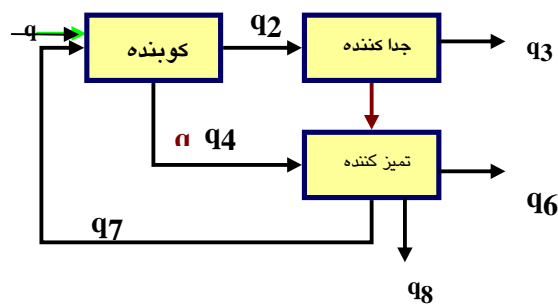
$$1 - e^{-\lambda l} = \frac{q_3 + q_6 + q_8}{q + q_7} \quad [8]$$

$$1 - e^{-l1} = Q_T \quad [9]$$

$$\begin{aligned} e^{-l1} &= 1 - Q_T \\ \text{Ln}(e^{-l1}) &= \text{Ln}(1 - Q_T) \\ -l1 &= \text{Ln}(1 - Q_T) \end{aligned} \quad [10]$$

$$l = -\frac{1}{1} \times \text{Ln}(1 - Q_T)$$

رابطه [10] نشان می دهد که با معلوم بودن مقدار  $Q_T$  می توان  $\lambda$  را برای کوبنده ای به طول  $l$  محاسبه نمود.



شکل ۴ - جریان مواد در کمباین

در این تحقیق تعیین مدل ریاضی برای محاسبه نرخ کوبش ( $\lambda$ ) در کمباین جاندر مدل 1165 مد نظر قرار گرفت. این مدل محققین را در پیش بینی عملکرد کمباین بویژه کوبنده آن یاری می نماید.

برای تعیین  $Q_T$  آزمونی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در منطقه اراک انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل شدت

$$S_{11} = 1 - e^{-l1} \quad [5]$$

درصد دانه های کوبیده نشده نیز برابر خواهد بود با :

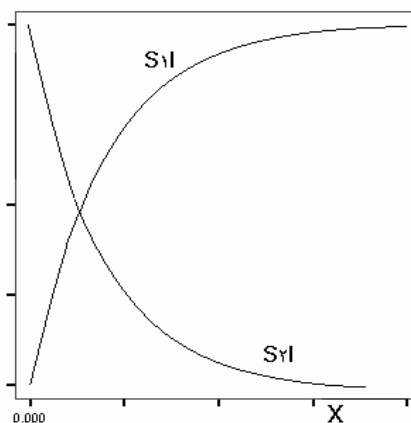
$$S_{21} = 1 - [1 - e^{-l1}] = e^{-l1} \quad [6]$$

نمودار مربوط به روابط [5] و [6] در شکل 3 مشاهده می شود.

از طرف دیگر براساس شکل 4، میزان کل دانه های ورودی به کوبنده برابر  $q + q_7$  و میزان دانه های کوبیده شده برابر  $q_3 + q_6 + q_8$  بوده و درصد دانه های کوبیده شده بصورت زیر محاسبه می شود :

$$Q_T = \frac{q_3 + q_6 + q_8}{q + q_7} \quad [7]$$

که در آن  $Q_T$  درصد دانه های کوبیده شده در کوبنده می باشد.



شکل ۳- نمودار توابع  $S_1$  و  $S_2$

یکنواخت می‌باشد. بعبارتی لایه محصول در فضای کوبش یک محیط همگن در نظر گرفته می‌شود (ترولوپه 1982). بر این اساس درصد دانه‌های تمیز به کزل در هر دو خروجی کوبنده (به سینی دانه و جداکننده) یکسان خواهد بود. چرا که با فرض همگن بودن لایه محصول همه شرایط و عوامل موثر نظیر سرعت کوبنده و نیز اندازه سوراخ‌های ضد کوبنده طوری هستند که شانس دانه و همچنین کزل برای عبور از سوراخ‌های ضدکوبنده و یا حرکت به سوی غربال‌ها مساوی است. زمانی که سوراخ‌های جداکننده بسته شده است و هیچ دانه‌ای از جداکننده به تمیز کننده نمی‌ریزد می‌توان با توزین دانه‌های تمیز و کزل‌ها در خروجی جداکننده، نسبت دانه‌های تمیز به کزل را تعیین



شکل ۵- حسگر نصب شده روی بالابر کمباین جاندر ۱۱۶۵ و

موقعیت گیرنده GPS روی آن

تغذیه محصول به کمباین در سه سطح متناسب با دنده یک سنگین (A<sub>1</sub>)، یک سبک (A<sub>2</sub>) و دو سنگین (A<sub>3</sub>)، سرعت‌های محیطی مختلف کوبنده شامل سطوح  $B_1 = 82/29$ ،  $B_2 = 33/32$  و  $B_3 = 84/36$  متر بر ثانیه و درصد رطوبت دانه در سه سطح  $C_1 = 17$ ،  $C_2 = 14$  و  $C_3 = 12$  بودند. در این آزمایش‌ها خروجی‌های جداکننده (q<sub>3</sub>) و تمیزکننده (q<sub>6</sub>) در حالت عادی، خروجی جداکننده در حالت جداکننده بسته (q<sub>23</sub>) و خروجی بالابر دانه تمیز (q<sub>8</sub>) در شدت‌های مختلف تغذیه، سرعت‌های محیطی مختلف کوبنده و رطوبت‌های مختلف بررسی و اندازه‌گیری شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی  $4/8 \times 50$  متر مربع بود. بعد از تنظیم دور کوبنده، در ابتدای هر کرت آزمایشی، کمباین شروع به برداشت در طول 30 متر نمود تا اینکه حرکت مواد و سرعت پیشروی به حالت پایدار برسد. در ادامه کار اندازه‌گیری لازم در داخل هر کرت انجام شد.

مقادیر q<sub>3</sub>، q<sub>6</sub> و q<sub>8</sub> قابل اندازه‌گیری هستند. مجموع q<sub>3</sub> و q<sub>6</sub> همان میزان افت عقب کمباین می‌باشد و برای اندازه‌گیری آن از قاب‌های استاندارد استفاده می‌شود. بنابراین، دانه‌های داخل قاب توزین شده و با توجه به سرعت پیشروی، نرخ<sup>۱</sup> افت عقب کمباین محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری مقدار دانه‌های تمیز و نیز سرعت پیشروی از یک سیستم اندازه‌گیر عملکرد استفاده شد. این سیستم از یک حسگر عملکرد نوری که در قسمت بالای بالابر دانه تمیز نصب می‌شود (شکل 5) برای اندازه‌گیری شدت جریات دانه تمیز و از یک گیرنده GPS برای تعیین موقعیت زمانی و مکانی دستگاه و در نتیجه تعیین سرعت پیشروی کمباین استفاده می‌کند. q نیز که ورودی کمباین می‌باشد برابر خروجی دستگاه و  $q_3 + q_6 + q_8$  می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان دانه‌های کوبیده نشده (q<sub>7</sub>) فرض بر این است که پراکنندگی دانه‌ها و کزل در داخل لایه محصول

<sup>1</sup>Rate

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شدت تغذیه محصول به دماغه کمباین، سرعت دورانی کوبنده و درصد رطوبت دانه بر افت عقب کمباین (مجموع افت جداکننده و تمیزکننده)

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
شدت تغذیه (A)	۲	۱۴/۳۱۹**
سرعت دورانی کوبنده (B)	۲	۱/۲۰۷**
درصد رطوبت دانه (C)	۲	۲/۵۵۳**
A × B	۴	۰/۰۴۵ns
A × C	۴	۰/۰۲۰ns
B × C	4	0/039ns
A × B × C	8	0/192 ns
خطای آزمایش	54	0/14
ضریب تغییرات %		9/41

ns غیر معنی دار و \* \* معنی دار در سطح احتمال 1%

### مدل سازی I

برای تعیین  $\lambda$  از رابطه [10] و مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشات استفاده شد که مقدار آن از 2/727 تا 3/821 تغییر کرد. QT یا بعبارتی درصد دانه های کوبیده شده، و در نتیجه  $\lambda$ ، تابعی از متغیرهای مختلف نظیر شدت تغذیه، سرعت محیطی کوبنده و درصد رطوبت دانه بوده و بنابراین می توان تغییرات  $\lambda$  را بر حسب تغییرات سه متغیر فوق مدل سازی و پیش بینی نمود. در طبقه بندی مواد از نظر خاصیت کشسانی، محصولات کشاورزی زمره مواد ویسکوالاستیک محسوب می شوند که با افزایش رطوبت، کشسانی (الاستیسیته) و سختی آنها کاهش می یابد و بنابراین در کوبش مواد با رطوبت بالا نه تنها دامنه ارتعاشات وارد شده به محصول کاهش می یابد بلکه فرکانس ارتعاش نیز کم می شود. همچنین در محصول مرطوب، جدا شدن دانه از خوشه نیروی زیادی را طلب می کند (محسنین 1980). در نتیجه کوبش محصول با محتوای رطوبتی بالا مشکل بوده و میزان کوبش کاهش خواهد یافت. در عین حال محتوای رطوبتی خیلی پایین نیز به علت خرد شدن

نمود. برای اندازه گیری جداگانه خروجی جداکننده از یک لایه برزنت که در زیر الکها و کمی عقب تر نصب می شود استفاده گردید. به هنگام نیاز نخهای بسته شده به انتهای برزنت کشیده شد که به موجب آن فضایی گونی مانند ایجاد شده و خروجی الکها را در خود جمع کرد. فاصله بستن خروجی غربال تا پر شدن حجم داخل برزنت، فرصتی بود تا بتوان با استفاده از قابهای استاندارد از خروجی غربال نمونه برداری نمود. مجموع دانه های تمیز و کزل و نیز دانه های تمیز داخل قابها بطور جداگانه توزین و پس از محاسبات لازم نسبت دانه های کوبیده نشده به کل دانه های داخل قاب محاسبه گردید که بین 10 تا 20 درصد در وضعیت های مختلف متغیر بود. نظر به همگن بودن لایه محصول، نسبت بین کزل و مجموع دانه ها در خروجی جدا کننده برابر نسبت بین کزل (q7) و شدت جریان ورودی به کوبنده (q+q7) خواهد بود. بر این اساس مقادیر QT مطابق رابطه [9] محاسبه گردید.

### نتایج و بحث

#### تجزیه واریانس افت عقب کمباین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر شدت تغذیه محصول به دماغه کمباین، سرعت دورانی کوبنده و درصد رطوبت دانه روی میزان افت عقب کمباین در جدول 1 نشان داده شده است. همانگونه که در جدول مشاهده می شود اثر هر سه فاکتور در سطح احتمال 1% معنی دار شده است ولی اثرات متقابل دوگانه و سه گانه فاکتورها معنی دار نبود. بدین معنی که فاکتورها مستقل از هم عمل کرده اند.

محیطی کوبنده را بصورت مستقیم و اثرات شدت تغذیه و نوع محصول را بصورت غیر مستقیم نشان می دهد.

$$\begin{aligned} I &= K_1 m^p . e^{-a_1 m} \\ &= K_2 m^p . v^q e^{-a_2 v} \times e^{-a_1 m} \\ &= K_2 v^q . m^p . e^{-a_2 v - a_1 m} \end{aligned} \quad [13]$$

از طرف دیگر، اثر شدت تغذیه محصول نیز روی عملکرد کوبنده بسیار مهم می باشد. اگر شدت تغذیه محصول به کوبنده کم باشد لایه نسبتاً نازکی از محصول از فضای کوبش با سرعت بیشتری عبور کرده و در نتیجه کوبش زیاد شده ولی جداسازی دانه در کوبنده کاهش می یابد. در شدت تغذیه های بالاتر، لایه محصول در فضای باریک کوبش فشرده شده و ضربات وارده از طرف میله های ضدکوبنده را خنثی می کند. در نتیجه، افزایش میزان تغذیه اثر منفی روی کوبش و جداسازی دانه در کوبنده دارد. بنابراین برای داشتن کوبش و جداسازی بهینه در کوبنده مقدار بهینه میزان تغذیه را باید بدست آورد و کاهش یا افزایش میزان تغذیه از این مقدار بهینه باعث کاهش بازده کوبنده خواهد شد. برای اینکه مدل بدست آمده برای کوبش شکل یکنواخت تری داشته باشد برای بیان اثر شدت تغذیه روی کوبش نیز از تابع نمایی استفاده شد:

$$\begin{aligned} K_2 &\approx f^r . e^{-a_3 f} \\ K_2 &= K_3 . f^r . e^{-a_3 f} \end{aligned} \quad [14]$$

که در آن  $f$ ، شدت تغذیه ( $\text{kg}/\text{min}$ )؛  $a_3$  ضریب ثابت؛  $r$ ، ضریب ثابت و  $K_3$ ، اثرات نوع محصول را نشان می دهد. با جا گذاری رابطه [14] در رابطه [13] رابطه نهایی برای کوبش در کوبنده حاصل می شود:

دانه ها و کاهش کیفیت محصول، مطلوب نیست. براساس سعی و خطای انجام گرفته، مشاهده شد که می توان تغییرات کوبش در کوبنده را بشکل تابعی نمایی بر حسب محتوای رطوبتی دانه و بصورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} I &\approx m^p e^{-a_1 m} \\ I &= K_1 m^p . e^{-a_1 m} \end{aligned} \quad [11]$$

که در آن  $m$ ، محتوای رطوبتی دانه (%)،  $a_1$ ، ضریب ثابت؛  $p$ ، ضریب ثابت و  $K_1$ ، ضریبی است که اثرات بقیه متغیرها را نشان می دهد.

کوبش دانه ها بطور اساسی در اثر ضربه میله های کوبنده و جذب انرژی ناشی از آن صورت می گیرد. برای طول کوبنده، میزان تغذیه و محتوای رطوبتی مشخص، هرچه سرعت محیطی کوبنده بیشتر باشد عمل اجزای کوبنده نظیر میله های آن قویتر خواهد بود. باید در نظر داشت که با افزایش سرعت دورانی کوبنده صدمه دیدگی دانه ها و خرد شده آنها افزایش می یابد. این افزایش متناسب با توان دوم سرعت نسبی کوبنده و محصول می باشد. با توجه به اینکه مقادیر بدست آمده برای  $\lambda$  در سرعت های دورانی مختلف کوبنده با رابطه نمایی همبستگی بیشتری نشان داد،  $K_1$  بصورت زیر فرض شد:

$$\begin{aligned} K_1 &\approx v^q e^{-a_2 v} \\ K_1 &= K_2 v^q e^{-a_2 v} \end{aligned} \quad [12]$$

که در آن  $v$ ، سرعت محیطی کوبنده ( $\text{m/s}$ )؛  $a_2$ ، ضریب ثابت؛  $q$ ، ضریب ثابت و  $K_2$ ، ضریبی است که اثرات شدت تغذیه و نوع محصول را نشان می دهد. با جاگذاری رابطه [12] در رابطه [11]، رابطه ای به دست می آید که اثرات محتوای رطوبتی محصول و سرعت

داری در سطح احتمال 5% و با ضریب تبیین حدود 0/72 مطابق با رابطه [15] مشاهده می‌شود، بدین معنی که 72% تغییرات شدت کوبش را می‌توان با سه عامل شدت تغذیه، سرعت محیطی کوبنده و درصد رطوبت دانه و براساس رابطه فوق پیش بینی نمود. علاوه بر مدل نمایی بدست آمده، مدل های دیگری نیز با استفاده از امکانات نرم افزار SPSS بررسی گردیدند ولی هیچکدام از آنها ضریب تبیینی قابل مقایسه با ضریب تبیین مدل نمایی نداشتند. مدل بدست آمده قابل مقایسه با معدود مدل های در دسترس می‌باشد. مدل میو (b, 1999a) نرخ کوبش را برای کمباین های معمولی 4 و برای کمباین های محوری 2/20 پیش بینی می کند. به نظر می رسد تفاوت بین مدل میو و آزمایشات انجام یافته در تحقیق حاضر به نوع کمباین، نوع محصول و شرایط محیطی برمی‌گردد.

$$I = K_2 v^q . m^p . e^{(-a_2 v - a_1 m)}$$

$$I = K_3 . f^r . e^{-a_3 f} \times v^q . m^p . e^{-a_2 v - a_1 m} \quad [15]$$

$$I = K_3 . m^p . v^q . f^r . e^{(-a_2 v - a_1 m - a_3 f)}$$

برای تعیین ضرایب از رگرسیون چندمتغیره غیر خطی در نرم افزار SPSS استفاده گردید. این ضرایب عبارتند از:

$$a_1 = 12/5274086$$

$$a_2 = 0/042664132$$

$$a_3 = 0/030210862$$

$$K_3 = 0/023987900$$

$$r \text{ و } q, p = 8/1$$

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون در جدول 2 آمده است. مطابق نتایج بدست آمده بین نرخ کوبش و متغیرهای مورد مطالعه (شدت تغذیه، سرعت محیطی کوبنده و نیز درصد رطوبت) یک رابطه نمایی معنی-

جدول ۲- تجزیه واریانس رگرسیون شدت کوبش در سطوح مختلف

شدت تغذیه، سرعت محیطی کوبنده و درصد رطوبت		
میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۷۱/۳۱۹۱۴*	۴	ناشی از رگرسیون غیر خطی نمایی
۰/۰۳۲۵۹	۲۳	باقیمانده
	۲۷	کل

\* معنی دار در سطح احتمال 5%



## منابع مورد استفاده

میرزائی ا، 1372. مدل سازی ریاضی. ترجمه. تهران.

Gregory JM and Fedler CB, 1987. Mathematical relationship predicting grain separation in combines. Transactions of the ASAE 30: 1600-1604.

Kumar R and John RG, 1979. Analysis and modeling of alfalfa seed harvest losses. Transactions of the ASAE 22: 237-242.

Huynh VM and Powell TE, 1978. Cleaning shoe performance prediction. ASAE Paper No. 78-1565.

Maertens K, Baerdemaeker JD, Ramon H and Keyser RD, 2001a. An analytical grain flow model for a combine harvester. Part 1: Design of the model. Journal of Agricultural Engineering Research 79 (1): 55-63.

Maertens K, Baerdemaeker JD, Ramon H and Keyser RD, 2001b. An analytical grain flow model for a combine harvester. Part 2: Analysis and application of the model. Journal of Agricultural Engineering Research 79 (2): 187-193.

Maertens K, Reyniers M and Baedemaeker JD, 2000. Design of a grain flow model for a combine harvester. The CIGR Journal of Scientific Research and Development . 99(2): 187-193.

Miu PI, 1998a. A comprehensive simulation model of threshing and separating process in axial units. Part 1. Further model development. Paper AE98-A1-475.

Miu PI, 1998b. A comprehensive simulation model of threshing and separating process in axial units. Part 2. Model validation. Paper AE98-A1-354.

Mohsenin N, 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Third edition. Gordon and Breach Science Publisher Ltd. New York.

Trollope JR, 1982. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine thresher. Journal of Agricultural Engineering Research 27: 119-130.