

## Defining the Optimal Operation Point for A Rubber Tooth Threshing Unit in the Mechanized Harvesting of Sunflower nuts

PEDRAM GHIASI<sup>1\*</sup>, AMINOLAH MASOUMI<sup>1</sup>, ABBAS HEMMAT<sup>1</sup>, GHOLAMHASSAN NAJAFI<sup>2</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: Jan. 12, 2020- Revised: Aug. 5, 2020- Accepted: Oct. 5, 2020)

### ABSTRACT

Power consumption and threshing efficiency are important parameters in the mechanization process. In this study power consumption and threshing efficiency are modeled with Artificial Neural Network (ANN) and after that optimization operation point for the rubber tooth threshing unit was defined. Independent parameters included the threshing cylinder speed (TCS), the distance between the threshing cylinder and concave or threshing space (TS) and moisture content (MC). Azargol variety was used to evaluate the threshing unit. The tests were performed at 3 TCS levels (280, 380 and 480 rpm), 2 TS levels (8 and 10 cm) and 2 MCs of sunflower head proportional to crop condition (20 and 45% wet basis). Results of analysis of variance show that the effect of TCS, MC, and TS on power consumption are significant and the effect of MC and TS are not significant on the threshing efficiency but the effect of TCS is significant on it. with increasing in TCS, MC, and TS, power consumption was increased. But threshing efficiency was increased just with increasing in TCS. After defining the ANN model the optimal operation point for minimize power consumption and maximize threshing efficiency was determined that it was 10, 600 and 11.5 for MC, TCS and TS respectively.

**Keywords:** Sunflower thresher, Intelligent combine harvester, Threshing ANN model.

## بهینه سازی کارکرد واحد کوبش دندانه لاستیکی کمباین جهت برداشت مکانیزه آفتابگردان آجیلی

پدرام قیاسی<sup>\*</sup>، امین اله معصومی<sup>۱</sup>، عباس همت<sup>۱</sup>، غلامحسین نجفی<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۱۴)

### چکیده

توان مصرفی و بازده کوبش از متغیرهای مهم در فرآیند مکانیزه برداشت بشمار می‌آیند که در این پژوهش پس از ارائه مدل عصبی برای توان مصرفی و بازده کوبش، نقاط بهینه کاری این واحد کوبش معرفی شد. متغیرهای مستقل شامل سرعت سیلندر کوبنده، فاصله کوبش (فاصله کوبنده و ضد کوبنده در جلو) و رطوبت طبق آفتابگردان انتخاب شد. برای انجام آزمون‌ها از رقم آفتابگردان آذرگل، و از موتور محرک الکتریکی ۱۵ kw برای تامین توان استفاده شد. پس از انجام پیش آزمون‌ها برای دستیابی به محدوده مناسب، آزمایشات تجربی در ۳ تکرار، سرعت سیلندر کوبنده در ۳ سطح rpm ۲۸۰، ۳۸۰ و ۴۸۰، فاصله کوبنده در ۲ سطح cm ۸ و ۱۰ و رطوبت طبق آفتابگردان در ۲ سطح ۲۰ و ۴۵ درصد بر مبنای ماده تر انجام شد. افزایش سرعت سیلندر کوبنده، افزایش رطوبت طبق و کاهش فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده موجب افزایش توان مصرفی شد. اما افزایش بازده کوبش در پی افزایش سرعت سیلندر کوبنده روی داد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رطوبت طبق و فضای کوبش بر بازده کوبش موثر نیست در صورتی که آثار متقابل درجه دوم آنها بر بازده موثر است. پس از ارائه مدل عصبی نقاط بهینه کاری برای کمینه کردن توان مصرفی و بیشینه کردن بازده کوبش بر اساس این مدل عصبی ارائه شد که عبارت بود از درصد ۱۰، ۶۰ دور بر دقیقه و ۱/۵ سانتی متر به ترتیب برای رطوبت طبق، سرعت کوبنده و فاصله‌ی کوبش.

**واژه‌های کلیدی:** کوبش آفتابگردان، کمباین هوشمند، مدل عصبی کوبش.

### مقدمه

یکی از تولیدات مهم بخش کشاورزی، گیاهان صنعتی است. به طور سنتی منظور از گیاهان صنعتی گیاهانی است که محصولات آنها به طور وسیعی پس از طی فرآیند صنعتی مورد استفاده بشر قرار می‌گیرد. این گیاهان را به طور سنتی در گروه‌های گیاهان روغنی، لیفی، قندی، نشاسته‌ای و تخدیری قرار داده‌اند (Khajeh Poor, 2012). دانه‌های روغنی دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. بر اساس گزارش‌های سازمان خواربار جهانی میزان تولید روغن در طول سال‌های اخیر افزایش چشم گیری داشته است که بیشترین میزان افزایش روغن مربوط به روغن دانه آفتابگردان می‌باشد (Inna Punda, 2010). انواع بذر آفتابگردانی که کشت می‌شود به دو گونه آجیلی و روغنی می‌باشد که نوع آجیلی درشت تر و درصد روغن کمتری را نسبت به نوع روغنی دارد و برای مصارف مستقیم استفاده می‌شود. نوع روغنی، با هدف جدایش روغن از مغز تخمه آفتابگردان کشت می‌شود (Jahani et al., 2015). برداشت تخمه آفتابگردان از مباحث اصلی زراعت این گیاه بوده که شناخت و توضیح سازوکار سیستم‌های موجود

برداشت، از موارد مهمی است که باید به آن پرداخته شود (Farokhi et al., 2013). در عملیات برداشت توسط کمباین برای هر محصول، به طور کلی چهار عمل جمع آوری، کوبیدن، جدا کردن و تمیز کردن انجام می‌گیرد (Ajit et al., 2007). واحد کوبش در کمباین حساسترین و مهمترین عمل در کمباین می‌باشد. زیرا ایجاد اختلال در این قسمت موجب کاهش بازده برداشت، آسیب رسیدن به محصول و مختل کردن بخش‌های بعدی کمباین می‌شود و نیز بیشترین توان مصرفی را در بین واحدهای کمباین به خود اختصاص می‌دهد که بهینه سازی مصرف انرژی در این واحد می‌تواند نقش بسزایی را در کاهش مصرف سوخت موتور محرک کمباین داشته باشد (Baruah and Panesar, 2005). پژوهش‌هایی در خصوص مکانیزه کردن برداشت آفتابگردان صورت گرفته است که در آنها بازه کوبش و توان مصرفی از اهداف اصلی لحاظ شده است (Ghiasi et al., 2016; Sudajan et al., 2002b; Jahani et al., 2015; El-khateeb and Saad, 2008; Sudajan et al., 2002a). بازده کوبش مقدار موفقیت واحد کوبش در جدا کردن دانه‌ها از غلاف و یا پوست

بررسی شد (Salari et al., 2013). محققان دریافتند با افزایش سرعت کوبنده و کاهش نرخ تغذیه، فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده و رطوبت محصول، بازده کوبش افزایش می‌یابد.

با توجه به محدودیت‌های روش‌های تجربی برای تحلیل عملکرد واحد کوبش یک مدل عصبی می‌تواند با انعطاف بالایی رابطه میان ورودی و خروجی را پیش بینی کند. دو پارامتر مهم در ارزیابی واحد کوبش، بازده کوبش و توان مصرفی کوبنده می‌باشند که در این پژوهش مدل عصبی برای این دو پارامتر ارائه شد و بر اساس این مدل‌ها نقاط بهینه برای کمینه کردن توان مصرفی و بیشینه کردن بازده کوبش ارائه شد.

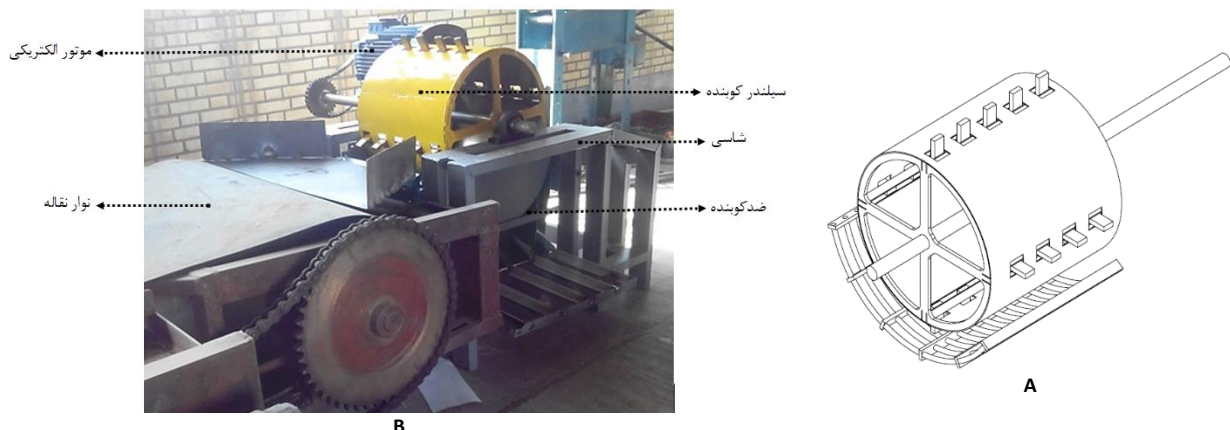
## مواد و روش‌ها

### نتایج تجربی

برای بررسی تأثیر پارامترهای متغیر کاری بر توان مصرفی و بازده کوبش واحد آزمایشگاهی کوبنده و ضد کوبنده دنداندار لاستیکی برای کوبش آفتابگردان، طراحی و ساخته و بر روی شاسی در محل قرار گیری جهت اتصال به نوار نقاله قرار داده شد. طرحواره و اجزاء واحد کوبش در شکل ۱ نشان داده شده است. استوانه کوبنده به قطر ۵۰ cm و یال ۵۰ cm و دارای ۴ ردیف لاستیک که یک ردیف در میان شامل ۴ و ۵ عدد لاستیک می‌باشد و بر روی محوری به قطر ۳۰ mm قرار داده شده است. ضد کوبنده شامل ۶ پروفیل موازی با محور کوبنده و ۱۲ عدد میلگرد عمود بر پروفیل‌ها است که بر اساس بررسی منابع انجام شده در کمان ۱۳۵ درجه به صورت قسمتی از استوانه در آمده است (Norris & Wall, 1986). از رقم آجیلی آذرگل برای انجام ارزیابی استفاده شد. بوته‌های سالم و با طبق‌هایی بدون قارچ و کپک در سطح رطوبتی متوسط مزرعه که در زمان رسیدگی محصول بود، انتخاب شدند و به کارگاه ساخت و تولید گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شدند.

معرفی می‌شود و از پارامترهای اساسی در ارزیابی عملکرد واحد کوبش و بطور کلی در فرآیند برداشت مکانیزه می‌باشد. از طرفی انرژی پارامتری مهم در کشاورزی می‌باشد و برداشت محصولات دانه‌ای عملیات مهمی است که به انرژی قابل توجهی نیاز دارد. بنابراین محاسبه‌های مصرف انرژی و بررسی عملکرد بهینه برای این عملیات در جهت بهبود کیفیت انجام آن ضروری می‌باشد (Abdollahpour et al., 2012).

مطالعه توان مصرفی واحد کوبش در پژوهش‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ارائه شده توسط (Srison et al., 2016) برای مقدار توان مصرفی کوبش ذرت، بیانگر این بود که با افزایش رطوبت محصول و سرعت کوبنده توان مصرفی واحد کوبش افزایش می‌یابد. افزایش ممان اینرسی سیلندر کوبنده و نرخ تغذیه سبب افزایش مقدار توان مصرفی واحد کوبش می‌شود که این عمل فارغ از نوع محصول ورودی به کوبنده است (Steponavicius et al., 2013). در پژوهشی، اثر سرعت دورانی سیلندر کوبنده، نرخ تغذیه و رطوبت محصول بر آسیب مکانیکی محصول گندم بررسی شد. نتایج حاکی از آن بودند که اثر رطوبت گندم و سرعت دورانی بر آسیب مکانیکی معنی دار بوده و با افزایش سرعت کوبنده و کاهش رطوبت گندم مقدار آسیب دانه ای افزایش می‌یابد (Imanmehr, 2015). Baruah and Panesar, (2005) با ارائه مدلی برای مقدار انرژی مصرفی توسط واحد های مختلف کمباین به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار مدول الاستیسیته و ضریب اصطکاک داخلی محصول مقدار انرژی مصرف شده توسط واحد کوبش افزایش می‌یابد. مدلی دینامیکی برای مواد داخل واحد کوبش توسط (Ning et al., 2015) ارائه شد. با مقایسه بین مدل عصبی و مدل رگرسیون دریافتند که مدل عصبی بهتر از مدل رگرسیون توانست رفتار غیر خطی مواد داخل واحد کوبش را پیش‌بینی کند. اثر فاصله کوبش، سرعت کوبنده، نرخ تغذیه و رطوبت محصول نخود بر مقدار جوانه زنی



شکل ۱- A. طرح‌واره سیلندر کوبنده و ضد کوبنده. B. اجزاء واحد کوبش

متفاوت بر حسب زمان فرآیند، برای نرخ‌های تغذیه  $4 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$  تا  $14$  بیشینه توان  $15 \text{ kW}$  گزارش شد. که در تحقیق حاضر نیز از موتور الکتریکی  $15 \text{ kW}$  برای انجام آزمون‌ها استفاده شد. برای تغییر دور کوبنده از اینورتور  $20 \text{ hp}$  مدل دلتا با ورودی و خروجی سه فاز و کنترلگر دیجیتال که با تغییر فرکانس دور موتور را تغییر می‌داد، استفاده شد. دور خروجی کوبنده با دور سنج اندازه‌گیری شد. فاصله اولین قوطی عمود بر جهت حرکت کمباین تا استوانه فاصله کوبش<sup>۲</sup> در دو سطح ( $8, 10$ ) تعیین شد. این فاصله، فاصله لبه قوطی ابتدایی ضد کوبنده تا استوانه کوبنده در نظر گرفته شد. برای هر آزمایش جریان مصرفی موتور با استفاده از آمپر متر القایی اندازه‌گیری شد. ولتاژ ورودی به موتور و  $\cos \theta$  موتور ثابت بود.  $\cos \theta$  ضریب توان است و نسبت بین توان واقعی به توان ظاهری موتور الکتریکی می‌باشد. حین کوبش جریان مصرفی از حالت ثابت به بیشینه و پس از کوبش دوباره به حالت ثابت می‌رسید. در هر ثانیه مقدار جریان مصرفی موتور الکتریکی ثبت شد و با استفاده از رابطه ۲ توان مصرفی محاسبه شد (Lesani, 1992).

$$P_t = P_a + P_b + P_c = 3V_{rms}I_{rms} \cos \theta \quad (\text{رابطه ۲})$$

پس از انجام فرآیند کوبش مقدار طبق و دانه‌های کوبیده نشده در زیر و پشت کوبنده جمع‌آوری و جرم آن‌ها ثبت می‌شد و از رابطه ۳ برای محاسبه بازده کوبش برای هر آزمون استفاده می‌شد.

$$TE = \frac{W_{total} - W_{unthreshed}}{W_{total}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

از طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل ۳ فاکتور  $2 \times 2 \times 2$  به ترتیب با عامل‌های رطوبت طبق، سرعت سیلندر کوبنده و فاصله کوبنده و ضد کوبنده برای تجزیه واریانس اجرا شد. که به ترتیب شامل دو سطح رطوبت طبق ( $20$  و  $45\%$  بر مبنای ماده تر)، سه سطح سرعت کوبنده ( $380, 280$  rpm) و  $280$ )، دو سطح فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده ( $8$  و  $10$ ) و سه تکرار مورد بررسی آماری قرار گرفت.

#### شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های محاسباتی است که به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی بنام نرون تلاش می‌کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق العاده به هم پیوسته به نام نرون تشکیل شده که برای حل یک مسأله با

فاصله زمانی بین چیدن طبق‌ها و انجام اولین آزمون ارزیابی  $48$  ساعت طول کشید. رطوبت طبق<sup>۱</sup> ها در مزرعه  $45$  درصد بر مبنای ماده تر و سطح اول رطوبتی انتخاب شد و سطح بعدی رطوبت  $20$  درصد بر مبنای ماده تر نمونه انتخاب شدند. سطح رطوبت  $45$  درصد رطوبتی است که در آن پشت طبق‌های آفتابگردان زرد شده و اصطلاحاً به مرحله‌ی رسیدگی وارد می‌شوند و رطوبت  $20$  درصد رطوبتی است که طبق بصورت ظاهری خشک می‌باشد و کاهش رطوبت از این سطح به سختی انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری رطوبت، طبق‌ها آفتابگردان به مدت  $24$  ساعت در دمای  $10.4$  درجه سانتی‌گراد با  $5$  تکرار در آون قرار داده شد (Mohsenin, 1978). از رابطه ۱ برای محاسبه درصد رطوبت استفاده شد.

$$MC = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{wet}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

برای هر آزمون حدوداً  $12$  الی  $16$  عدد طبق که مجموع جرم طبق‌های تر حدوداً  $10$  کیلوگرم و مجموع جرم طبق‌های خشک  $5/5$  کیلوگرم، بصورت تصادفی بین طبق‌ها انتخاب می‌شد تا فرآیند کوبش بصورت پیوسته انجام شود یعنی کل سطح کوبنده در زمان کوبش، با طبق آفتابگردان پوشیده شود. پارامترهای متغیر دستگاه شامل سرعت کوبنده در سه سطح، فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده در دو سطح و رطوبت طبق آفتابگردان در دو سطح محصول انتخاب شدند و نرخ تغذیه دستگاه با استفاده از تنظیم سرعت نوار نقاله ثابت، و مقدار  $670 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  در نظر گرفته شد. این نرخ تغذیه بدین صورت انتخاب شد که با توجه به تراکم کشت آفتابگردان و مقدار محصول در هکتار، سرعت پیشروی کمباین ثابت و مقدار  $2/5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  فرض شد. در آزمون‌های مربوط به رطوبت  $45$  درصد،  $10$  کیلوگرم و در آزمون‌های مربوط به رطوبت  $20$  درصد،  $4$  کیلوگرم از طبق آفتابگردان بر روی نوار نقاله قرار داده می‌شد. برای تنظیم نرخ تغذیه، تغییر سرعت نوار نقاله طریق اینورتور  $10 \text{ hp}$  مدل دلتای سه فاز دارای کنترلگر دیجیتال انجام شد بدین صورت که پس از اندازه‌گیری کل طول نوار نقاله زمان طی شدن این طول محاسبه و پس از آن سرعت محاسبه گردید. سرعت سیلندر کوبنده<sup>۲</sup> در سه سطح، ( $380, 280$  rpm) و  $280$ ) تعیین شد. مقدار توانی که در کمباین به واحد کوبش اختصاص داده می‌شود بستگی به ابعاد، نوع و دیگر شرایط کوبنده دارد. (Steponavicius et al., 2013) در پژوهشی مقدار توان مورد نیاز برای کوبنده ذرت را به دست آوردند. بر اساس این پژوهش مقدار توان مورد نیاز واحد کوبنده برای نرخ تغذیه‌های

انتظار مقایسه شد و میانگین مربعات خطا محاسبه گردید در صورتی که MSE بیشتر از مقدار مقرر شده می‌بود میزان خطا از خروجی به ورودی باز پخش شده و وزن‌ها بر اساس آن اصلاح می‌گردید و تا زمانی این کار تکرار شد که یا خطا به محدوده مجاز برسد یا تعداد سعی و خطا به حداکثر تعداد سعی و خطای مشخص شده برسد. میانگین مربعات خطا در طول دوره آموزش پایش شد. در فاز اول آموزش خطا رو به کاهش گذاشت تا شبکه به کمینه خطا رسید و سپس با دادن داده‌های بیشتر مجدداً خطا رو به افزایش گذاشت در این مرحله آموزش شبکه متوقف شده و وزن‌ها در کمینه خطا بازگردانیده شد.

### تحلیل آماری و تعیین نقطه بهینه

پس از اعتبار سنجی مدل عصبی، به هر کدام از مدل‌ها ورودی-های جدید داده شد. انتخاب ورودی‌های جدید بر اساس ویژگی-های دستگاه و محصول بود. رطوبت طبق در سه سطح (۵۰ و ۳۰، ۱۰٪ بر اساس ماده تر) رطوبت ۵۰٪ رطوبتی است که طبق آفتابگردان را رسیده می‌نامند و رطوبت ۱۰٪ کمترین رطوبتی است که پس از رسیدگی در مزرعه می‌توان یافت. برای انتخاب سطوح مختلف متغیرهای مربوط به دستگاه، محدودیت‌هایی نظیر آسیب‌های احتمالی به محصول و قیود طراحی در نظر گرفته شد. لذا سرعت کوبنده (۶۰۰، ۴۰۰ و ۲۰۰ دور بر دقیقه) انتخاب شد. در پیش‌آزمون‌ها مشخص شد که فرآیند کوبش در سرعت‌های کمتر از ۲۰۰ دور بر دقیقه دچار اختلال شده و سرعت‌های بیش از ۶۰۰ دور بر دقیقه نیز ایجاد آسیب‌های ظاهری در دانه‌های آفتابگردان می‌کند. فاصله کوبنده و ضد کوبنده (۹/۵، ۱۱/۵ و ۷/۵ سانتی متر) که کمترین فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده در حالتی که لاستیک‌ها به ضد کوبنده برخورد نکنند انتخاب شد. این سطوح بصورت اعدادی به شبکه عصبی وارد شد و پس از تعیین خروجی شبکه از نرم افزار Design Expert 11 برای تعیین نقطه بهینه استفاده شد. بهینه‌سازی پارامترهای کاری واحد کوبش دندانه لاستیکی با هدف بیشینه کردن بازده کوبش و کمینه کردن توان مصرفی انجام شد. از آنجایی که اهمیت بازده کوبش برای واحد کوبش ۲ و ضریب اثر بیشتری است ضریب اثر بخشی بازده کوبش ۱ و ضریب اثر بخشی توان مصرفی ۱ برای بهینه سازی انتخاب شد.

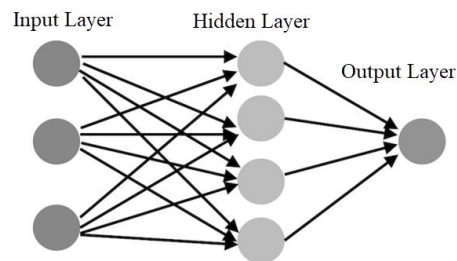
### نتایج و بحث

#### نتایج تجربی

#### توان مصرفی

چرخش سیلندر کوبنده مقدار ضربه لازم را جهت بیرون راندن

هم هماهنگ عمل می‌کند (Podstawczyk *et al.*, 2015). در این پژوهش، ورودی شبکه‌ها شامل رطوبت طبق آفتابگردان، سرعت کوبنده و فضای بین کوبنده و ضد کوبنده و خروجی‌ها نیز بازده کوبش و توان مصرفی تعیین شد. ۷۰٪ از داده‌ها صرف آموزش شبکه ۱۵٪ برای آزمون و ۱۵٪ برای اعتبار سنجی به کار رفت. در این مطالعه از Neural Network Toolbox نرم افزار R2019a Matlab برای پیش بینی توان و بازده کوبش استفاده شد. مدل عصبی برای بازده کوبش دارای ۳ لایه ۵ نرون برای لایه اول و ۱۰ نرون برای لایه دوم انتخاب شد. شکل ۲ طرحواره‌ای معماری شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۲. معماری شبکه عصبی مصنوعی

مدل عصبی توان مصرفی نیز ۳ لایه و ۷ نرون برای لایه اول و ۵ نرون برای لایه دوم بهترین عملکرد را نشان داد. تعداد نرون‌ها در لایه خروجی به تعداد پارامترهای خروجی بستگی دارد. در این تحقیق خروجی برای هر یک از مدل‌ها یک پارامتر می‌باشد و نیز تعداد نرون و لایه‌ها با استفاده از سعی و خطا بدست آمد. عملکرد شبکه عصبی از طریق میانگین مربعات خطا MSE و ضریب همبستگی ارزیابی می‌شود که در روابط ۴ و ۵ ارائه شده است.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O,i} - Y_{M,i})^2}{n} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O,i} - Y_{O,mean})(Y_{M,i} - Y_{M,mean})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{O,i} - Y_{O,mean})^2 (Y_{M,i} - Y_{M,mean})^2}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در معادلات فوق n تعداد داده‌ها،  $Y_{O,i}$  و  $Y_{M,i}$  به ترتیب مقدار خروجی پیش بینی شده توسط مدل و مقدار خروجی اندازه گیری شده است و  $Y_{O,mean}$  و  $Y_{M,mean}$  متوسط مقادیر خروجی اندازه گیری شده و متوسط مقدار پیش بینی شده توسط مدل است. برای آموزش شبکه از الگوریتم پس انتشار LMBP<sup>۲</sup> استفاده شد. عموماً در مسائل تخمین تابع با پارامتر شبکه کمتر از ۱۰۰ عدد این الگوریتم دارای سرعت بالا و دقت مناسب است (Shanmugaprakash & Sivakumar, 2013). در طول آموزش خروجی پیش بینی شده توسط مدل با خروجی مورد

کوبنده بصورت مستقیم توان مصرفی کوبنده افزایش می‌یابد.

$$P = \omega T \quad (\text{رابطه ۶})$$

در اثر کاهش فاصله بین سیلندر کوبنده و ضد کوبنده تراکم محصول افزایش یافته و جریان پذیری آن کاهش می‌یابد در نتیجه کاهش فاصله کوبش سبب افزایش توان مصرفی کوبش می‌شوند. محققین دیگر نیز دریافته‌اند که با کاهش رطوبت محصول و کاهش فاصله کوبش توان مصرفی واحد کوبش افزایش خواهد یافت (Salari *et al.*, 2013).

جدول ۱- نتیجه تجزیه واریانس اثر رطوبت طبق، سرعت سیلندر کوبنده و فاصله کوبش و آثار متقابل آنها بر توان مصرفی و بازده کوبش

پارامترها	درجه آزادی	F	توان مصرفی	بازده کوبش
رطوبت طبق (MC)	۱	۵۱/۱۸ <sup>**</sup>	۵۱/۱۸ <sup>**</sup>	۰/۱۴ <sup>ns</sup>
سرعت سیلندر کوبنده (TCS)	۲	۱۱۹۸/۱۰ <sup>**</sup>	۱۱۹۸/۱۰ <sup>**</sup>	۰/۱۴/۸۹ <sup>**</sup>
فاصله کوبش (TS)	۱	۱۵/۰۰ <sup>*</sup>	۱۵/۰۰ <sup>*</sup>	۱/۱۰ <sup>ns</sup>
MC×TCS	۲	۳۵/۹۲ <sup>**</sup>	۳۵/۹۲ <sup>**</sup>	۰/۴۲ <sup>ns</sup>
MC×TS	۱	۱/۱۸ <sup>ns</sup>	۱/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۸۹ <sup>ns</sup>
TCS×TS	۲	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۱/۵۰ <sup>ns</sup>
MC×TCS×TS	۲	۳/۶۷ <sup>*</sup>	۳/۶۷ <sup>*</sup>	۰/۴/۸۹ <sup>*</sup>
Total	۳۵			

\*\*معنی دار بودن در سطح احتمال ۱٪. \*معنی دار بودن در سطح

احتمال ۵٪. <sup>ns</sup> معنی دار نبودن در سطح احتمال ۵٪.

### بازده کوبش

بر اساس رابطه ۳، جرم طبق و دانه آفتابگردان کوبیده نشده مقدار بازده کوبش را بازگو می‌کند. در صورتی که طبق خرد شده و دانه‌ها از غلاف جدا شده باشد و یا در اثر ضربه دندانه‌ها دانه از طبق جدا شده باشد، طبق را اصطلاحاً کوبیده شده می‌نامند و هر مقدار دانه‌های جدا شده از غلاف بیشتری در پشت و زیر ضدکوبنده مشاهده شود بازده کوبش بیشتر می‌باشد.

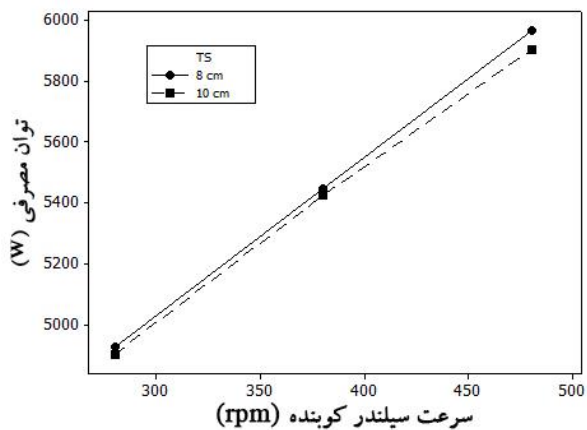
نتایج تجزیه واریانس انجام شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که عامل سرعت کوبنده بر بازده کوبش در سطح احتمال ۱٪ مؤثر است و اثر متقابل درجه دوم رطوبت طبق×سرعت کوبنده×فاصله کوبنده و ضد کوبنده در سطح احتمال ۵٪ بر بازده کوبش مؤثر است. رطوبت طبق، فاصله کوبنده و ضد کوبنده و آثار درجه اول این عوامل بر هم بر بازده کوبش مؤثر نمی‌باشند.

مشابه پژوهش‌های پیشین با افزایش سرعت کوبنده شدت عمل فرآیند افزایش یافته و بازده کوبش افزایش داشته و این افزایش در بازده کوبش فارغ از فضای کوبش و رطوبت طبق می‌باشد (Mirzazadeh, Abdollahpour *et al* 2012). می‌توان دریافت که افزایش جرم دانه‌های کوبیده نشده با کاهش شدت

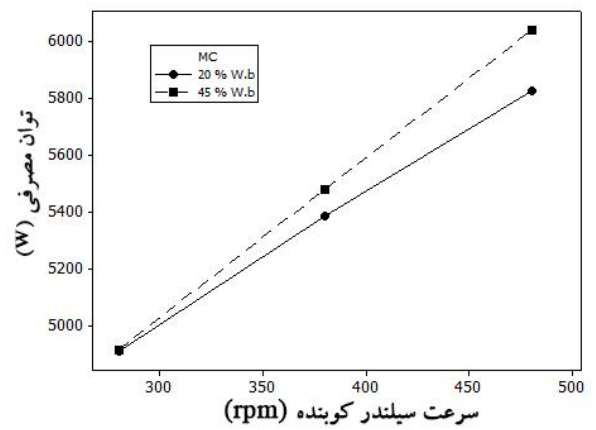
دانه از طبق آفتابگردان ایجاد می‌کند. مقاومت در برابر حرکت محصول ناشی از اصطکاک بین طبق‌های آفتابگردان و اصطکاک بین طبق آفتابگردان و سطح ضد کوبنده می‌باشد. از طرفی سیلندر کوبنده محصول محصور را مقداری نیز فشرده می‌سازد. بنابراین سیلندر کوبنده باید طوری باشد تا بر نیروی‌هایی غلبه کند که شامل: (۱) اعمال ضربه به محصول (۲) فشرده سازی محصول (۳) غلبه بر مقاومت در برابر حرکت توده محصول. در محدوده سرعت مورد ارزیابی مقدار انرژی اعمالی پس از غلبه بر مولفه‌های اصطکاک سبب کوبش و یا تکه کردن طبق‌های آفتابگردان می‌گردد. با ورود مواد به داخل فضای واحد کوبش پس از جذب ضربه و تبدیل شدن به قطعات کوچکتر و جریان مواد به بخش‌های انتهایی توان مصرفی زیاد شده و با گذشت زمان محصول بیشتری تغذیه شده و حرکت مواد به قسمت‌هایی که فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده کمتر است، سبب پیشینه شدن توان مصرفی می‌شود. نتیجه تجزیه واریانس برای بررسی پارامترها بر توان مصرفی کوبنده و ضد کوبنده، در جدول ۱ آمده است که بیانگر آن است تأثیر رطوبت طبق و سرعت سیلندر کوبنده بر مقدار توان مصرفی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار می‌باشد. تأثیر فاصله کوبش بر توان مصرفی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشد. تأثیر متقابل درجه اول رطوبت طبق × سرعت سیلندر کوبنده بر توان مصرفی، در سطح ۱٪ و تأثیر متقابل درجه دوم رطوبت طبق × سرعت سیلندر کوبنده × فاصله کوبش بر توان مصرفی نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشند اما اثرات متقابل درجه اول رطوبت طبق × فاصله کوبش و سرعت سیلندر کوبنده × فاصله کوبش بر توان مصرفی معنی دار نمی‌باشد. معنی دار بودن آثار متقابل نشان از اثر توأمان دو پارامتر مستقل بر پارامتر وابسته می‌باشد و یا به معنای این است که پارامترهای مستقل در یک روند بر پارامتر وابسته اثر می‌گذارند. شکل ۳ بخش A تا C مقدار توان مصرفی کوبنده و ضد کوبنده را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت طبق‌ها توان مورد نیاز کوبنده، افزایش می‌یابد. اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته طبق آفتابگردان به مقدار رطوبت محصول بستگی دارد از طرفی مقدار رطوبت تابعی است از رسیدگی محصول. بنابراین کوبش در زمان رسیدگی کامل محصول سبب کاهش ضریب اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته محصول می‌شود از طرفی توان مصرف شده توسط واحد کوبش نیز کاهش می‌یابد. در پژوهشی مشابه برای محصول لوبیا پژوهشگران دریافته‌اند که با افزایش رطوبت مواد ورودی به واحد کوبش توان مصرفی واحد کوبش افزایش می‌یابد (Zaalouk, 2009). با توجه به رابطه ۶، توان مصرفی با گشتاور و سرعت دورانی رابطه مستقیم دارد لذا با افزایش سرعت سیلندر

بازده کوبش در رطوبت ۲۰٪ در فاصله کوبش ۸ سانتی متر بیشتر بود. شکل ۳ قسمت‌های D تا F میانگین مقدار بازده کوبش را در هر آزمون برای وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد. با افزایش فضای کوبش از ۸ به ۱۰ سانتی متر در ابتدا، بطور میانگین بازده کوبش در سرعت‌های پایین کاهش داشت، اما در سرعت‌های بالا با افزایش فاصله کوبش بازده کوبش افزایش می‌یافت این مورد را در شکل ۳ قسمت E می‌توان مشاهده کرد.

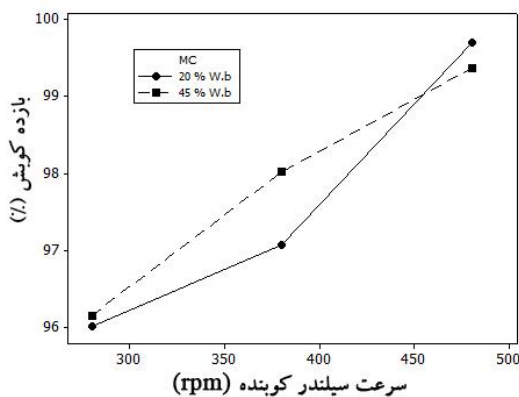
عمل فرآیند کوبش همراه است. جدایش دانه‌ها از طبق به مقدار اصطکاک بین دانه و غلاف بستگی دارد و این مورد را رسیدگی دانه و مقدار رطوبت طبق بازگو می‌کند. به عبارتی افزایش رطوبت می‌تواند موجب افزایش اصطکاک بین دانه و غلاف شود. تقابل رطوبت طبق، سرعت سیلندر کوبنده و فاصله کوبش می‌تواند نقش عمده‌ای را در بازده کوبش ایفا کند به طوری در سرعت‌های پایین کوبنده بازده کوبش در رطوبت ۴۵٪ بیشتر است و در فاصله کوبش بیشتر، این رطوبت بازده کوبش بیشتری را به همراه داشت اما



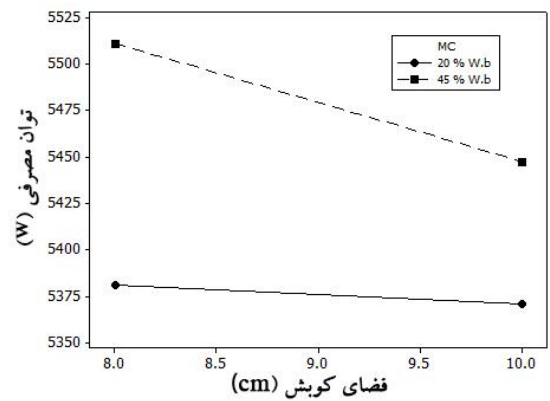
-- B



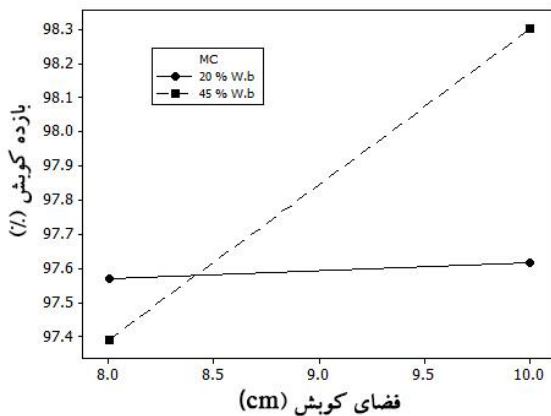
-- A



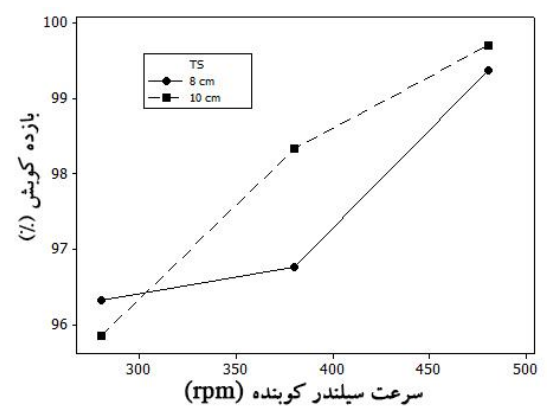
-- D



-- C



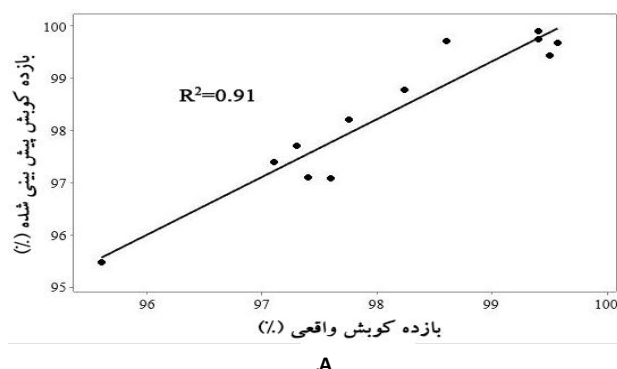
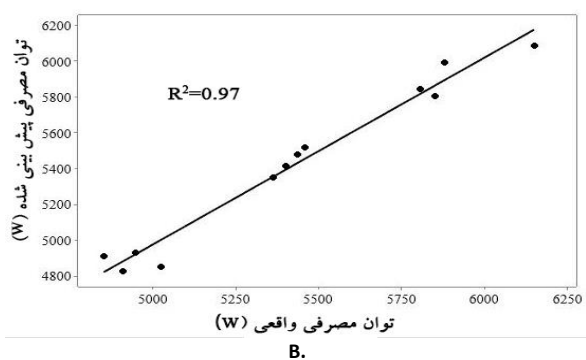
-- F



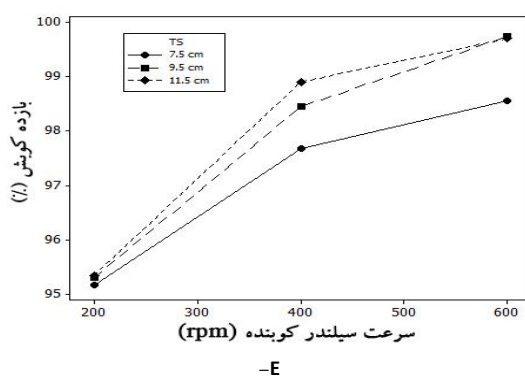
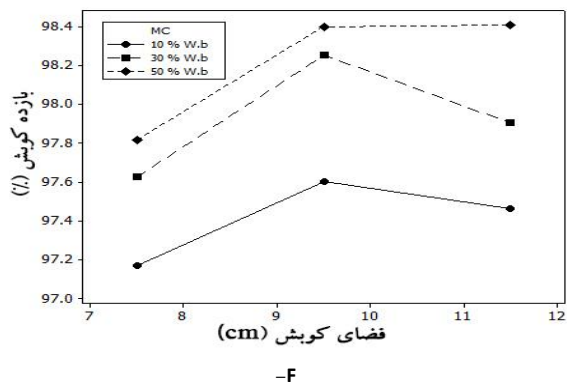
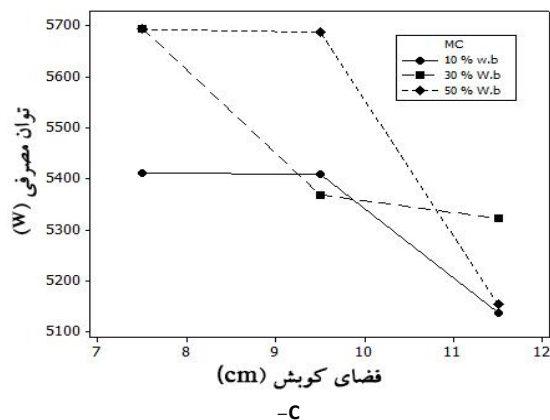
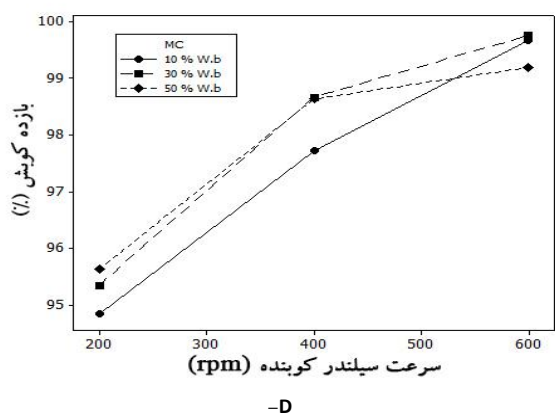
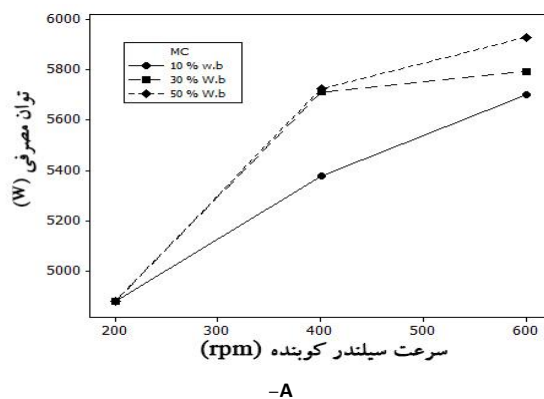
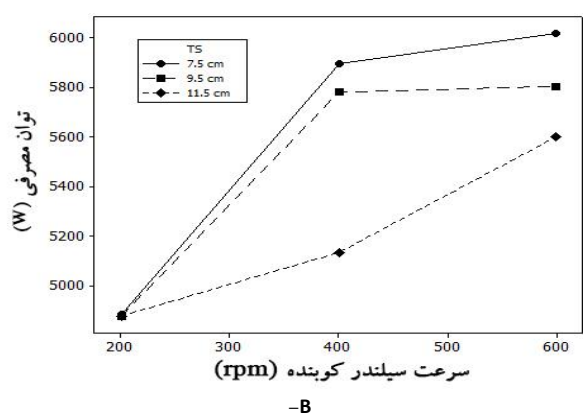
-- E

شکل ۳ - نمایش اثر پارامترهای مستقل بر وابسته در سطوح مختلف (A) اثر TCS و MC بر توان مصرفی. (B) اثر TCS و TS بر توان مصرفی. (C) اثر MC و TS بر توان مصرفی. (D) اثر TCS و MC بر بازده کوبش. (E) اثر TCS و TS بر بازده کوبش. (F) اثر MC و TS بر بازده کوبش.





شکل ۴- A) ضریب تبیین بین مقدار بازده کوبش واقعی و پیش بینی شده B) ضریب تبیین بین مقدار توان مصرفی واقعی و پیش بینی شده



بر توان TS و MC اثر C بر توان مصرفی. اثر B بر توان مصرفی. اثر A (TS و MC) اثر ۵- نمایش اثر پارامترهای مستقل بر وابسته در سطوح مختلف بر بازده کوبش. اثر F (MC و TS) بر بازده کوبش. اثر E (TS و MC) بر بازده کوبش. اثر D (TS و MC) بر بازده کوبش. اثر A (TS و MC) بر توان مصرفی.



## مدلسازی

### توان مصرفی

پس از تشکیل ماتریس ورودی و خروجی برای شبکه عصبی اقدام به انتخاب مناسب ترین شبکه عصبی برای شبیه سازی مقدار توان مصرفی و بازده کوبش شد. شکل ۴ ضرایب تبیین مدل شبکه عصبی ارائه شده برای شبیه سازی مقدار بازده کوبش (A) و توان مصرفی (B) نشان می‌دهد. میانگین مربعات خطا برای بازده کوبش و توان مصرفی به ترتیب برابر ۰/۴۶ و ۰/۱۲ که حالت مناسب این مقادیر با استفاده از روش سعی و خطا بدست آمد.

پس از اطمینان از اعتبار شبکه، ورودی‌های جدید بر اساس دلایلی که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید به شبکه داده شدند و نتایج برای بازده کوبش و توان مصرفی بدست آمد. ورودی‌های جدیدی که به شبکه داده شد با هدف یافتن نقطه بهینه کاری واحد کوبش صورت گرفت به عبارتی برای یافتن این نقاط بازه ورودی‌ها گسترش یافت. شکل ۵ وضعیت‌های مختلف پارامترهای مستقل را بر توان مصرفی و بازده کوبش نشان می‌دهد. افزایش سرعت دورانی در هر وضعیت سبب افزایش توان مصرفی واحد کوبش شد این نتیجه را می‌توان از شکل ۵ قسمت A و B مشاهده کرد. کاهش رطوبت طبق آفتابگردان سبب ترد شدن و شکنندگی طبق‌ها شد و واحد کوبش با توان کمتری فرآیند کوبش را انجام داد. فضای باز کوبش از چگالی مواد داخل واحد کوبش کاسته و سبب حرکت راحت‌تر دندانه‌های لاستیکی میان مواد گردید که این حرکت راحت‌تر توان مصرفی کوبنده را در پی داشت. نتایج حاصله از مدل عصبی برای توان مصرفی مشابه نتایج آزمون‌های تجربی پژوهش حاضر و نیز مشابه پژوهش (Srison et al., 2016) می‌باشد.

### بازده کوبش

افزایش سرعت دورانی کوبنده به طور کلی باعث افزوده شدن به مقدار بازده کوبش می‌شود، اما این مقدار به شرایط دیگر نظیر رطوبت طبق و فاصله کوبش بستگی دارد. ترکیب سرعت‌های بالاتر کوبنده و رطوبت کم به دلیل شکنندگی طبق و تکانه بیشتر لاستیک‌ها موجب خرد شدن و جدایش دانه از غلاف شد و نهایتاً بازده کوبش تحت این شرایط افزایش یافت. رطوبت‌های بیشتر

جدول ۱- نقاط بهینه کاری واحد کوبش آفتابگردان

Desirability	توان مصرفی (W)	بازده کوبش (%)	TS (cm)	TCS (rpm)	MC(% w.b)	
۰/۹۰	۵۵۸۳/۰۸	۹۹/۷۳	۱۱/۵	۶۰۰	۱۰	۱
۰/۸۸	۵۳۷۷/۸۵	۹۸/۳۴	۱۱/۵	۴۰۰	۳۰	۲
۰/۸۱	۵۸۶۵/۸۳	۹۹/۷۳	۹/۵	۶۰۰	۳۰	۳

اصطکاک بیشتر دانه و غلاف را در پی دارد و در رطوبت کمتر جدایش دانه از غلاف بهتر صورت می‌گیرد.

در حالت میانگین سرعت سیلندر کوبنده، بازده کوبش بیشینه در فاصله کوبش ۹،۵ سانتی متر برای تمامی رطوبت‌های طبق اتفاق افتاده است این مورد در شکل ۵ بخش F مشاهده شد. در وضعیتی که فاصله کوبش بیشتر است، چگالی مواد در این مکان کمتر می‌شود و نفوذ دندانه‌های لاستیکی میان مواد راحت‌تر صورت می‌گیرد و این بیانگر ضربه دندانه‌ها به مواد بیشتر است. زمانی که چگالی مواد در فضای کوبش زیاد است لاستیک‌ها سخت‌تر در میان مواد نفوذ کرده و لاستیک‌ها بیشتر طول چرخش خود را در حالت خم می‌گذرانند. تغییرات بازده کوبش در تغییر فضای کوبش از ۷،۵ به ۹،۵ مشهود تر از تغییرات بازده کوبش در تغییر فضای کوبش از ۹،۵ به ۱۱،۵ است این مورد به خواص فیزیکی طبق آفتابگردان مربوط می‌شود. این نتایج در شکل ۵ قسمت F مشاهده می‌شود. بررسی فرآیند کوبش برای محصول لوبیا توسط کوبنده دندانه میخی نیز نشان داد که کاهش رطوبت و افزایش سرعت سیلندر کوبنده منجر به افزایش بازده کوبش می‌شود (Zaalouk, 2009).

### بهینه سازی شرایط کاری واحد کوبش

با توجه به معنی دار شدن آثار متقابل برای تجزیه واریانس توان مصرفی و بازده کوبش واحد کوبش دندانه لاستیکی آفتابگردان، بهینه سازی شرایط کاری با استفاده از نرم افزار Design Expert 11 صورت گرفت. ۱۰ نقطه بهینه با حداقل شاخص مطلوبیت ۰،۶ از نرم افزار استخراج شد که سه نقطه با بیشترین شاخص مطلوبیت ارائه شد. با استفاده از نتایج تجربی، مدل شبکه عصبی ارائه شد و بر اساس خروجی مدل عصبی برای توان مصرفی و بازده کوبش نقاط بهینه ارائه شد. از آنجایی که برای واحد کوبش در کمباین بازده کوبش مهم‌تر است از مقدار توان مصرفی، اثربخشی بازده کوبش ۲ و اثربخشی توان مصرفی ۱ در نظر گرفته شد. نقاط بهینه برای کمینه کردن توان مصرفی و بیشینه کردن بازده کوبش مطابق جدول ۲ ارائه شد. اولین نقطه بهینه معرفی شده در کمترین رطوبت و بیشترین فضا و سرعت کوبش قرار دارد که این مورد بر نتیجه گیری بیان شده بر اساس اثر این سه پارامتر مستقل بر بازده کوبش و توان مصرفی صحه می‌گذارد.

## نتیجه گیری

و در ماشین‌های برداشت هوشمند می‌توان مدل را برای رسیدن به نتیجه دلخواه بکار گرفت. همانطور که در شکل ۵ بخش A مشاهده می‌شود در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه، کمترین توان مصرفی مربوط به رطوبت ۱۰٪ است از طرفی بخش D در این شکل نشان می‌دهد که در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه و در رطوبت ۱۰٪ بازده کوبش نزدیک به ۱۰۰٪ رسیده است لذا با توجه به نقاط بهینه ارائه شده، رطوبت کمتر در سرعت‌های بالای سیلندر کوبنده مزیت صرف توان کمتر و بالاتر بودن بازده کوبش را در پی دارد اما برای برداشت مکانیزه آفتابگردان در رطوبت‌های پایین قسمت‌های دیگر کمباین نیز مانند هد و قسمت‌های جداکننده و تمیز کننده در نظر گرفته شود.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

روند بین پارامترهای مستقل و وابسته برای توان مصرفی واحد کوبش در مدل شبکه عصبی همان روند بین پارامترهای مستقل و وابسته در نتایج تجربی می‌باشد و ضریب همبستگی بین نتایج تجربی و خروجی مدل شبکه عصبی نشان از اعتبار مدل ارائه شده را می‌دهد. از آنجایی که اثر درجه اول رطوبت طبق و فاصله کوبش بر بازده کوبش معنا دار نبود تغییرات بازده کوبش با این دو پارامتر باید در آثار متقابل آن‌ها بررسی شود که آثار متقابل درجه دوم و سوم این دو پارامتر بر بازده کوبش در مدل شبکه عصبی و نتایج تجربی نشان داد که در سرعت‌های بالای سیلندر کوبنده، افزایش بازده کوبش در مقابل کاهش رطوبت و افزایش فاصله کوبش قرار می‌گیرد. از مدل می‌توان در پیش‌بینی مقادیر مذکور استفاده کرد

معرفی پارامترها:		
جرم ماده تر (g)	$\cos \theta$	ضریب توان
جرم ماده خشک (g)	$W_{total}$	جرم کل مواد ورودی (kg)
محتوای رطوبت (/.)	$W_{unthresed}$	جرم مواد کوبیده نشده (kg)
سرعت سیلندر کوبنده (rpm)	$TE$	بازده کوبش (/.)
فاصله کوبش (cm)	$MSE$	میانگین مربعات خطا
توان مصرفی موتور الکتریکی (w)	$R$	ضریب تبیین
توان مصرفی هر فاز (w)	$\omega$	سرعت دورانی (1/s)
ولتاژ خط (volt)	$T$	گشتاور (N.m)
جریان خط (A)	$P$	توان (w)
$W_{wet}$		
$W_{dry}$		
MC		
TCS		
TS		
$P_t$		
$P_a, P_b \text{ and } P_c$		
$V_{rms}$		
$I_{rms}$		

## REFERENCES

- Ajit, S., Gorink, K., & Rorbak, R. (2008). Design principles of agricultural machines. (Behrozi Lar. M, Mobli. H). Tehran: Islamic Azad University Press.
- Baruah, D. C., & Panesar, B. S. (2005). Energy requirement model for a combine harvester, part I: Development of component models. *Biosystems Engineering*, 90(1), 9–25.
- El-khateeb, H., & Saad, M. I. (2008). Operating factors affecting using two different threshing machines for threshing sunflower heads. *Agricultural Mechanization and Engineering*, 251–270.
- Farokhi, E., Nabipor, A., & Daneshian, J. (2013). Guidelines sunflower production in different regions of the country. agricultural and Natural resource research and education center.
- Ghiasi, P., Masoumi, A., & Hemmat, A. (2016). Design, development and evaluation of a threshing cylinder and concave for harvesting sunflower. *The 10th National Congress on Biosystems Eng. (Agr. Machinery)*. Mashhad, Iran.
- Imanmehr A. (2015). Evaluation of efficiency and energy productivity of alfalfa production. In: 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and mechanization, 22-23 April., University of Tehran, Karaj, Iran, (In Farsi).
- Inna Punda. (2010). Agribusiness handbook: Sunflower refined and crude oils. FAO Investment Centre Division, 40.
- Jahani, F., Nasiri, M., & Raofat, M. (2015). Design, development and evaluation of a sunflower grain detacher. The Ninth National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Mechanical Biosystems) and Mechanization. Tehran.
- K, Z. A. (2009). Evaluation of local machine performance for threshing bean. *Misr J. Ag. Eng*, 26(4), 1696–1709.
- KhajePor, M. (2012). Industrial plants. Isfahan: Isfahan University of Technology Publication Center.
- Lesani, H. (1992). electric machines. Tehran: Cultural and Scientific Publications.
- Mohsenin N.N. (1978). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher, New York-London-Paris.
- Ning, X., Chen, J., Li, Y., Wang, K., Wang, Y., & Wang, X. (2015). Kinetic model of combine harvester threshing system and simulation and experiment of speed control. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*.

- Podstawczyk, D., Witek-Krowiak, A., Dawiec, A., & Bhatnagar, A. (2015). Biosorption of copper(II) ions by flax meal: Empirical modeling and process optimization by response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) simulation. *Ecological Engineering*.
- Salari, K., Amiri Chayjan, R., Khazaei, J., & Amiri Parian, J. (2013). Optimization of Independent Parameters for Chickpea Threshing Using Response Surface Method (RSM). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(3), 467–477.
- Abdollahpour, SH, HR Ghassemzadeh; S Zaree. (2012). Modeling and Calculation of Power Consumption of Sahand 68s Combine for Harvesting Wheat (Alvand Variety). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 20(3), 41–59.
- Shanmugaprasath, M., & Sivakumar, V. (2013). Development of experimental design approach and ANN-based models for determination of Cr(VI) ions uptake rate from aqueous solution onto the solid biodiesel waste residue. *Bioresource Technology*.
- Srison, W., Chuan-Udom, S., & Saengprachatanarak, K. (2016). Effects of operating factors for an axial-flow corn shelling unit on losses and power consumption. *Agriculture and Natural Resources*, 50(5), 421–425.
- Steponavicius, D., Butkus, V., Kiniulis, V., & Karionas, T. (2013). influence of inertia momentum of cylinder on power consumption. 66–72.
- Sudajan, S., Salokhe, V. M., & Triratanasirichai, K. (2002a). effect of type of drum, drum speed and feed rate on sunflower threshing. *Biosystems Engineering*, 83(4), 413–421.
- Sudajan, S., Salokhe, V. M., & Triratanasirichai, K. (2002b). PM—Power and Machinery. *Biosystems Engineering*, 83(4), 413–421.